



**ЭНЕРГЕТИКА:  
ЭФФЕКТИВНОСТЬ,  
НАДЕЖНОСТЬ,  
БЕЗОПАСНОСТЬ**

**МАТЕРИАЛЫ ТРУДОВ  
XIX ВСЕРОССИЙСКОЙ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

**Том 1**

**Томск  
4-6 декабря 2013 г.**

ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ТОМСКОЕ ПРОФЕССОРСКОЕ СОБРАНИЕ  
СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
МЕЖДУНАРОДНАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ  
МЕЖДУНАРОДНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК ЭКОЛОГИИ И БЕЗОПАСНОСТИ  
ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

**МАТЕРИАЛЫ ТРУДОВ ДЕВЯТНАДЦАТОЙ  
ВСЕРОССИЙСКОЙ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

**«ЭНЕРГЕТИКА:  
ЭФФЕКТИВНОСТЬ, НАДЕЖНОСТЬ, БЕЗОПАСНОСТЬ»**

В двух томах

**Том I**



Томск - 2013

УДК 620.9+(621.311+621.039):504+621.039.058+621.311.019.3  
Э65

Энергетика: Эффективность, надежность, безопасность:  
Э65 материалы трудов XIX Всероссийской научно-технической  
конференции / Томский политехнический университет, 4-6 декабря 2013 –  
Томск: Изд-во ООО «Скан», 2013. Т. I. – 425 с.

Настоящий сборник содержит материалы девятнадцатой Всероссийской научно-технической конференции “Энергетика: эффективность, надежность, безопасность”, проведенной 4-6 декабря 2013 г. на базе ГОУ ВПО «Национальный исследовательский томский политехнический университет». В пленарных и секционных докладах обсуждаются проблемы эффективности и безопасности электроэнергетических и теплоэнергетических установок и систем, вопросы энергосбережения и проблемы ядерной энергетики. Рассматриваются научные проблемы и задачи экологии и защиты окружающей среды, медико-биологические аспекты техногенного влияния среды на организм.

**УДК 620.9+(621.311+621.039):  
504+621.039.058+621.311.019.3**

*Редакционная коллегия:*

Литвак В.В. (председатель), доктор технических наук, профессор ТПУ  
Кузнецов Г.В., доктор физико-математических наук, профессор ТПУ  
Панин В.Ф., доктор технических наук, профессор ТПУ  
Сечин А.И., доктор технических наук, профессор ТПУ

*XIX научно-техническая конференция “Энергетика: эффективность,  
надежность, безопасность” проводится по гранту РФФИ 13-08-06144-г.*

© Авторы 2013

Состав организационного и научного комитета  
**ХІХ-й Всероссийской научно-технической конференции:**  
**«Энергетика: эффективность, надежность, безопасность»**

Чубик Петр Савельевич	ректор ТПУ, профессор, председатель оргкомитета;
Пестряков Алексей Николаевич	проректор по НРИИ, профессор, сопредседатель оргкомитета;
Боровиков Юрий Сергеевич	проректор-директор ЭНИН, доцент, сопредседатель оргкомитета;
Кузнецов Гений Владимирович	зав. кафедрой ТПТ, профессор, зам. председателя оргкомитета;
Ушаков Василий Яковлевич	директор РЦР ТПУ; профессор, сопредседатель оргкомитета;
Литвак Валерий Владимирович	профессор каф. АТЭС ЭНИН, зам. председателя оргкомитета;
Коханенко Лидия Павловна	начальник отдела ОНТИ, член оргкомитета;
Богданова Елена Васильевна	секретарь конференции, ведущий инженер РЦР ЭНИН;
Заворин Александр Сергеевич	зав. кафедрой ПГС и ГТУ ЭНИН, профессор, председатель секции;
Хрущев Юрий Васильевич	профессор каф. ЭСиЭ ЭНИН, председатель секции;
Матковская Тамара Васильевна	зав. кафедрой СГМУ, профессор, председатель секции
Романенко Сергей Владимирович	зав. кафедрой ЭБЖ ИНК, профессор, председатель секции;
Лукутин Борис Владимирович	зав. кафедрой ЭПП ЭНИН, профессор, председатель секции;
Сечин Александр Иванович	профессор каф. ЭБЖ ИНК, член оргкомитета;
Богданов Евгений Петрович	доцент каф. ЭКМ ЭНИН, член оргкомитета.

## Секция 1

## Эффективность электроэнергетических установок и систем

УДК 621.314:536.12

## Типы конструкции обмоток масляного трансформатора в отношении тепловых параметров работы

Трякин А.О., Бахарев Н.П.\*

Самарский государственный технический университет, Россия, г. Самара  
 Поволжский государственный технический университет сервиса, г. Тольятти  
 voenca@yadex.ru

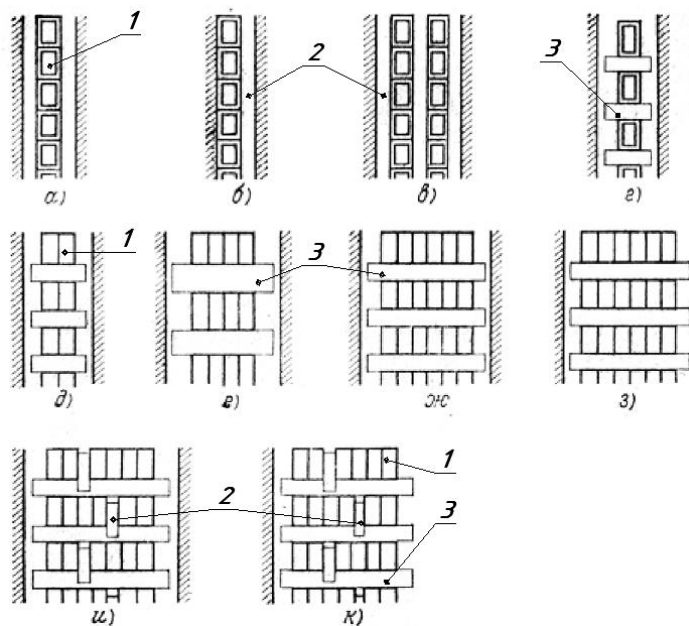
Аннотация: в статье рассмотрены основные типы обмоток силовых масляных трансформаторов класса напряжений 35÷750 кВ и мощностью 2500÷400000 кВА, а также влияние их конструкции на тепловое состояние трансформатора при установившемся режиме работы.

Ключевые слова: трансформатор; тепло-гидродинамика; обмотка; циркуляция масла.

Проблемы охлаждения играют важнейшую роль в деле создания экономичной и надежной конструкции трансформатора классов напряжений 35÷750 кВ и мощностью 2500÷400000 кВА с естественной и принудительной циркуляцией охлаждающей жидкости (системы типа «М», «Д» или «НДЦ»). Температура перегрева трансформатора - основная причина, ограничивающая его мощность при нагрузках.

Поверхности теплообмена в трансформаторе имеют разнообразные конфигурации и расположения относительно друг друга, часть поверхностей недоступна свободному доступу охлаждающей среды. Тепловой поток, возникающий в обмотках и магнитопроводе, отводится в окружающую среду по сложному пути, состоящему из нескольких участков. На участке от внутренних точек обмотки или магнитопровода до их наружных поверхностей, омываемых маслом, передача тепла происходит путем теплопроводности. [1].

В зависимости от конструкции обмотки, наблюдаются различные условия теплообмена, так как они достаточно сильно влияют на его интенсификацию. В ряде случаев необходимо применять специальные меры по изменению конструкции обмоток для улучшения условий теплообмена. Необходимо стремиться к уменьшению температуры наиболее нагретой точки обмоток, так как значительные перегревы ведут к наиболее интенсивному износу изоляции и, следовательно, к уменьшению срока службы.



С точки зрения конструкции и условий теплообмена различают два типа обмоток [2], - катушечные и цилиндрические.

Рис. 1. Сечения обмоток различной конструкции.

а)-в) Слоевые обмотки; г)-з) Катушечные обмотки; и),к) Катушечные обмотки с осевыми каналами. Обозначения: 1- катушка; 2- осевой канал; 3- горизонтальный канал, образованный межкатушечными прокладками.

В катушечных обмотках группы проводов из обычного, подразделённого или транспонированного типа

дистанцируются между собой по высоте обмотки с помощью прокладок из электрокартона (рис. 1,г-к). Прокладки размещены с определённым шагом по окружности обмотки на поверхности катушек, создавая горизонтальные охлаждающие каналы. Вертикальные охлаждающие каналы

образуются расположенными возле обмотки вертикальными изоляционными цилиндрами из электрокартона или бакелита. Между изоляционными цилиндрами и поверхностью обмоток устанавливаются вертикальные рейки из клееного электрокартона, фиксирующие также положение прокладок между катушками.

Для направления охлаждающего масла внутри обмотки применяют два решения: первое - без направляющих элементов, второе - с направляющими элементами. Если для группы катушек между поверхностью прилегающих цилиндров и катушками устанавливаются дополнительные перегородки, то это означает, что в обмотке созданы условия для улучшенного теплообмена за счёт лабиринтного движения масла (рис. 2, б). Также для улучшения теплообмена по всей высоте обмоток выполняют дополнительные осевые каналы (рис. 1(и-к) и 3).

Решение без направляющих элементов может выполняться для обмоток, имеющих симметричное и несимметричное конструктивные исполнения. При этом ввод осевых каналов благоприятно сказывается на охлаждении каналов.

Используются следующих типы обмоток [1]:

а) Обмотки без перегородок. Катушечные обмотки без перегородок имеют направленное движение масла только в вертикальных охлаждающих каналах между обмоткой и изоляционными цилиндрами (рис. 1(а) и 2) без направленного движения масла в прилегающим в катушкам горизонтальных охлаждающих каналах.

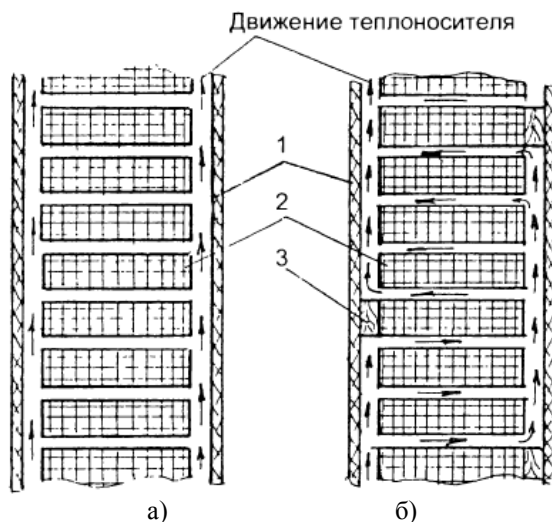


Рис. 2. Схема принудительной направленной циркуляции масла в обмотках: а) конструкция без перегородок; б) конструкция с перегородками. Обозначения: 1- цилиндр; 2- обмотка; 3- перегородка.

б) Обмотки с направляющими перегородками. Катушечные обмотки, в которых для интенсификации теплообмена установлены направляющие перегородки, поочередно перекрывающие внутренний и наружный вертикальные охлаждающие каналы между обмоткой и изоляционными цилиндрами (рис. 2(б)). Таким образом, поток масла попадает из одного вертикального канала в другой через горизонтальные охлаждающие, создавая в них направленное движение.

В горизонтальных каналах каждого хода (совокупности горизонтальных каналов между двумя перегородками) масло движется в одном направлении. Высота горизонтального канала между перегородкой и прилегающей к ней катушкой не менее 2 мм [1].

Решение с направляющими элементами имеет следующие недостатки: производство усложняется; затраты увеличиваются; уплотнение для масла, обеспечиваемое направляющими элементами, не совершенное, так как из-за усадки обмотки может произойти повреждение этих элементов, увеличивается гидродинамическое сопротивление обмотки. Преимуществом этого решения является то, что число параллельных ходов для масла можно изменять в широком диапазоне, т. е. становится возможным регулирование гидравлических характеристик, в результате чего коэффициент теплоотдачи и коэффициент заполнения обмотки могут быть увеличены.

Охлаждающее масло можно подавать в обмотку снизу или посередине и снизу. Первое решение наиболее простое, и обычно оно и используется.

в) Обмотка с дополнительными осевыми каналами. Катушечные обмотки, в которых для интенсификации теплообмена имеются дополнительные осевые каналы шириной не менее 5,5 мм по радиальной ширине катушек [1]. Количество дополнительных каналов зависит от радиальной ширины катушек (рис. 1 (и-к), 3). Катушки с дополнительными каналами могут располагаться не по всей высоте обмоток, а только в зоне катушек с наибольшими потерями для снижения превышения температур наиболее нагретых точек.

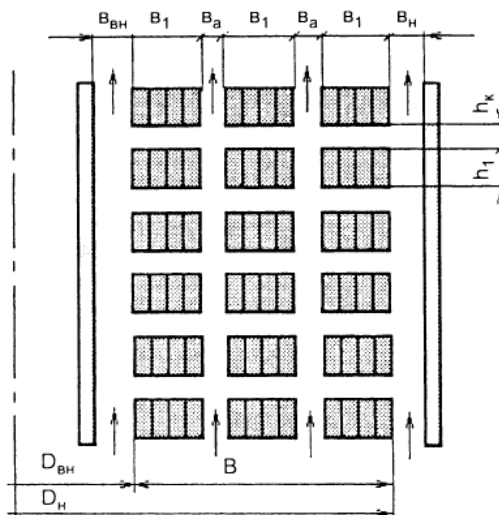


Рис. 3. Катушечная обмотка с дополнительными осевыми каналами.

г) Обмотка без вертикальных охлаждающих каналов между обмоткой и цилиндрами. Исполнение катушечных обмоток в которых для интенсификации теплообмена и создания высоких скоростей движения масла отсутствуют вертикальные охлаждающие каналы между обмоткой и цилиндрами. Масло движется по обмотке от катушки к катушке через осевые каналы шириной не более 5,5 мм, смещенные по радиальной ширине катушки или расположенные в «коридорном порядке».

д) Цилиндрические обмотки не имеют горизонтальных каналов. При этом прилегающие цилиндры могут дистанцироваться изоляционными рейками с одной или с двух сторон поверхности обмотки, создавая условия одно – или двухстороннего охлаждения, (рис. 1 (а-в)).

Обобщая вышесказанное, можно заключить, что наиболее перспективные конструктивные решения в отношении уменьшения температуры наиболее нагретой точки обмотки это применение барьеров для направленной циркуляции масла и ввод дополнительных осевых каналов для наилучшего охлаждения обмоток.

#### Список литературы:

1. Киш Л. Нагрев и охлаждение трансформаторов.- Москва «Энергия», 1980. с.
2. С.Д. Лизунов, А.К. Лоханин. Силовые трансформаторы. Справочная книга.- Москва «Энергоиздат», 2004. – 616 с.
3. Трансформаторы силовые масляные. Тепловой расчет систем охлаждения М и Д. Руководящий документ РД16 476-88. — Запорожье: ВИТ, 1988.

УДК 621.314:536.12

#### Влияние параметров установки радиаторов на тепловое состояние силовых масляных трансформаторов в установившемся режиме работы

Трякин А.О., Бахарев Н.П. \*

Самарский государственный технический университет, Россия, г. Самара  
Поволжский государственный технический университет сервиса, г. Тольятти  
voenca@yadex.ru

Аннотация: в статье рассмотрено влияние высоты установки радиаторов в силовых масляных трансформаторах класса напряжений 35÷750 кВ и мощностью 2500÷400000 кВА с системами охлаждения типов «М» или «Д» относительно высоты середины обмоток на тепловое состояние трансформатора в установившемся режиме работы.

Ключевые слова: трансформатор; катушечные обмотки; тепло-гидродинамика; модель обмотки.

Температура нагрева трансформатора зависит от тепловых потерь энергии и интенсивности охлаждения. Чем интенсивнее охлаждение трансформатора, тем большей может быть допустимая номинальная мощность.

Так как при модернизации силового масляного трансформатора (СМТ) классов напряжения 35÷750 кВ и диапазона мощности 2500÷400000 кВ·Ас естественной циркуляцией масла в направлении увеличения его мощности основные конструктивные параметры уже заданы, тонаиболее простым способом уменьшения температуры масла является подбор и регулировка параметров расположения и количества радиаторов. Имеется необходимость определения оптимальных условий установки радиаторов системы охлаждения как при проектировании трансформатора, так и при необходимости его модернизации [1].

Условная схема СМТ с обозначением основных высот обмоток и радиаторов показана на рис.1. Основные данные трансформатора ТДН-40000/110 (38,5), необходимые для расчета системы охлаждения указаны в табл.1.

Получены и исследованы математические зависимости параметров теплового режима работы модели СМТ ТДН-40000/110(38,5)(модерн.) от следующих параметров системы охлаждения: высоты установки относительно середины высот обмоток ( $H_1$ ). При расчете и построении зависимостей вида  $\Delta\theta_{всм}=f(H_1)$ ,  $\Delta\theta_0=f(H_1)$ ,  $\Delta\theta_{нн/вн}=f(H_1)$ , принято, что остальные конструкционные параметры СМТ, радиаторов и их количества остаются без изменений (таблица 1.).

Где  $H_1$  - высоты установки радиаторов относительно середины высот обмоток, м:

$\Delta\theta_{всм}$  -превышение температуры верхних слоев масла над температурой охлаждающей среды, °С;

$\Delta\theta_0$ - осевой перепад температуры в радиаторах, °С;

$\Delta\theta_{нн/вн}$ - осевой перепад температуры в обмотках, °С.

Методика теплового расчета, на базе которого проведено исследование влияния высоты установки радиаторов в СМТ на его тепловое состояние, описана в литературе [1, 2].

Таблица 1. Данные трансформатора ТДН-40000/110(38,5)(модерн.).

Трансформатор	ТДН-40000/110(38,5)(модерн.)
Число фаз	3
Гидравлическое сопротивление обмотки, [Па·с/кг]:	
-НН	24,313
-ВН	50,983
Коэффициент нагрузки	1
Режим работы	nom
Полные потери обмотки, [Вт]:	
-НН	66603,99
-ВН	82309,04
Потери в баке и элементах конструкции, [Вт]	10087,34
Суммарные потери, [Вт]	159000,37
Площадь бака для охлаждения, [м <sup>2</sup> ]	46,9
Средняя высота обмоток, [м]	1,82
Тип системы охлаждения	Д
Кол-во радиаторов×кол-во панелей в радиаторе (стандартное исполнение)	8×5
Усреднённый опытный коэффициент теплопередачи, [Вт/(м <sup>2</sup> ·К)]	13,923
Расстояние между патрубками радиатора, [м]	2,3
Расстояние между серединами высот обмотки и радиатора (в стандартном положении), [м]	0,355
Площадь панели радиатора, [м <sup>2</sup> ]	2,598
Температура охлаждающей среды, [°С]	20
Тип трансформаторного масла	10GBN



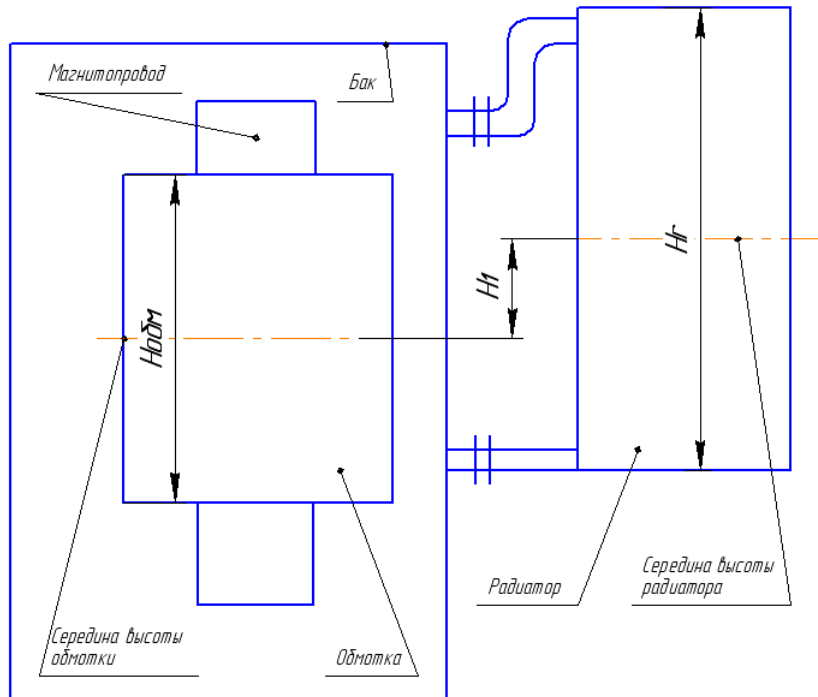


Рис 1. Условная схема трансформатора с обозначениями основных высот обмоток и радиаторов.

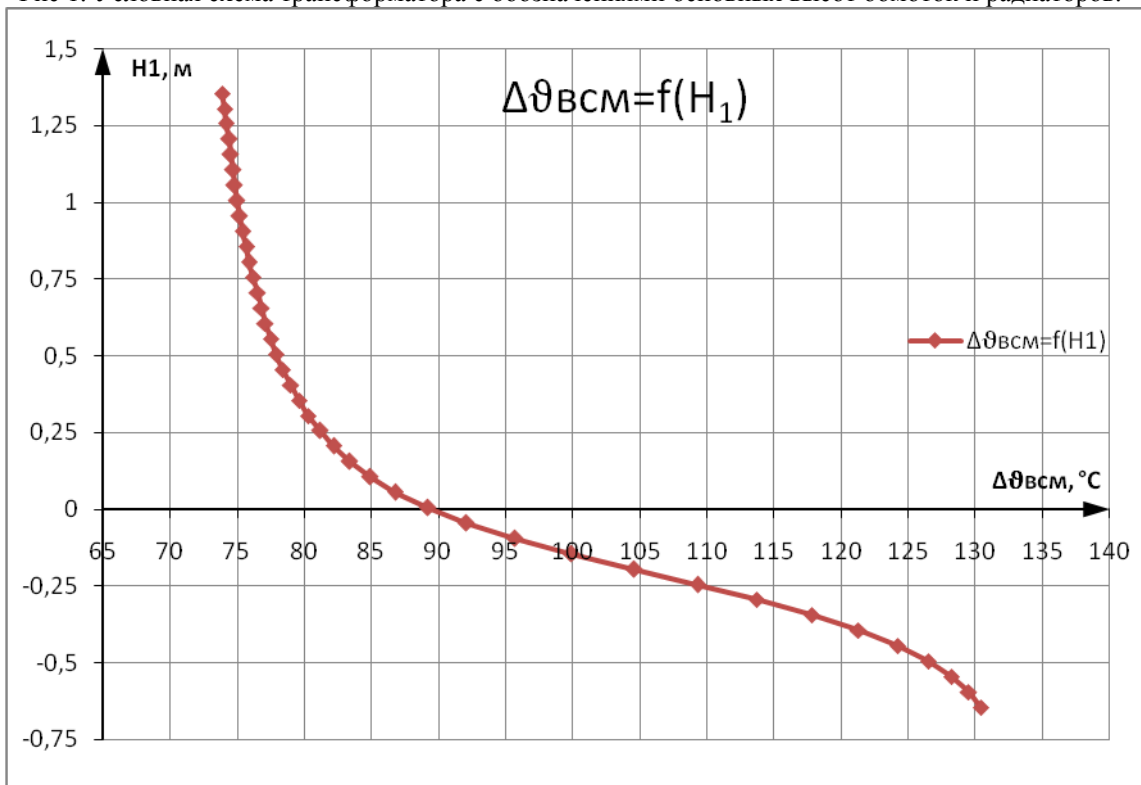


Рис.2. Зависимость превышения температуры верхних слоев масла над температурой охлаждающей среды от высоты установки радиатора относительно середины средних высот обмоток (трансформатор ТДН-40000/110(38,5)(модерн.))

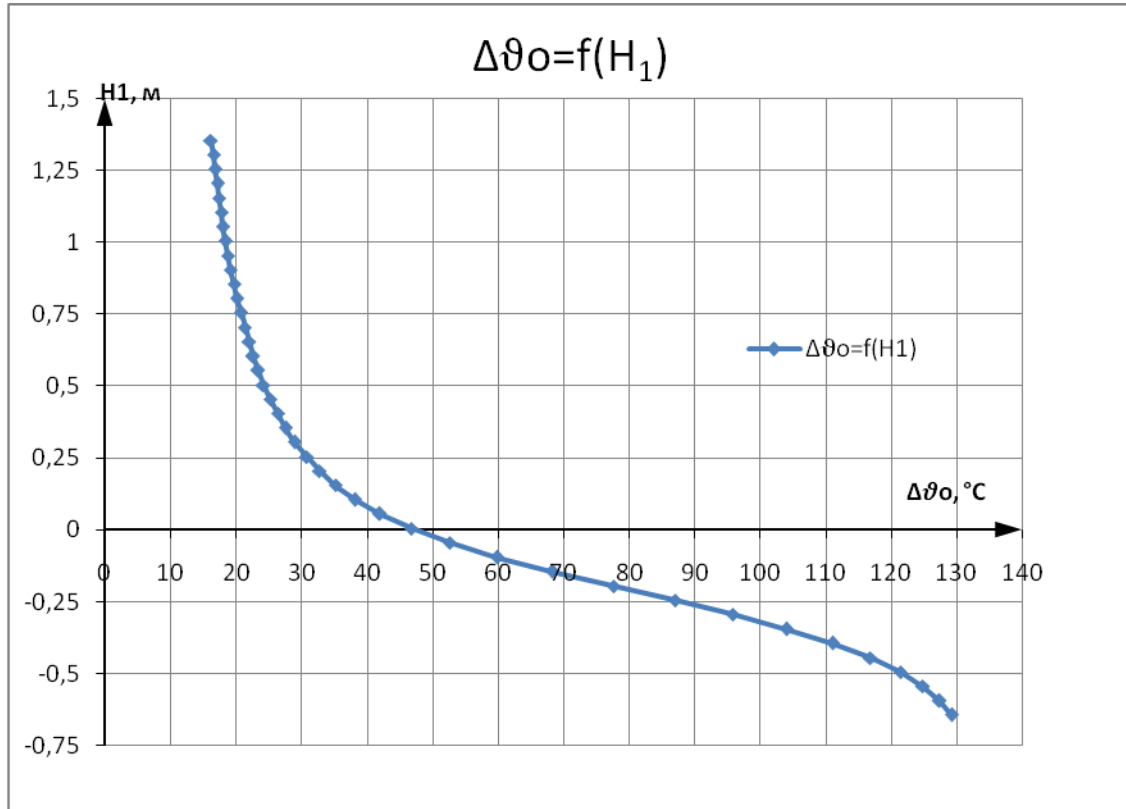


Рис. 3. Зависимость осевого перепада температуры в радиаторах от высоты установки радиатора относительно середины средних высот обмоток (трансформатор ТДН-40000/110(38,5)(модерн.))

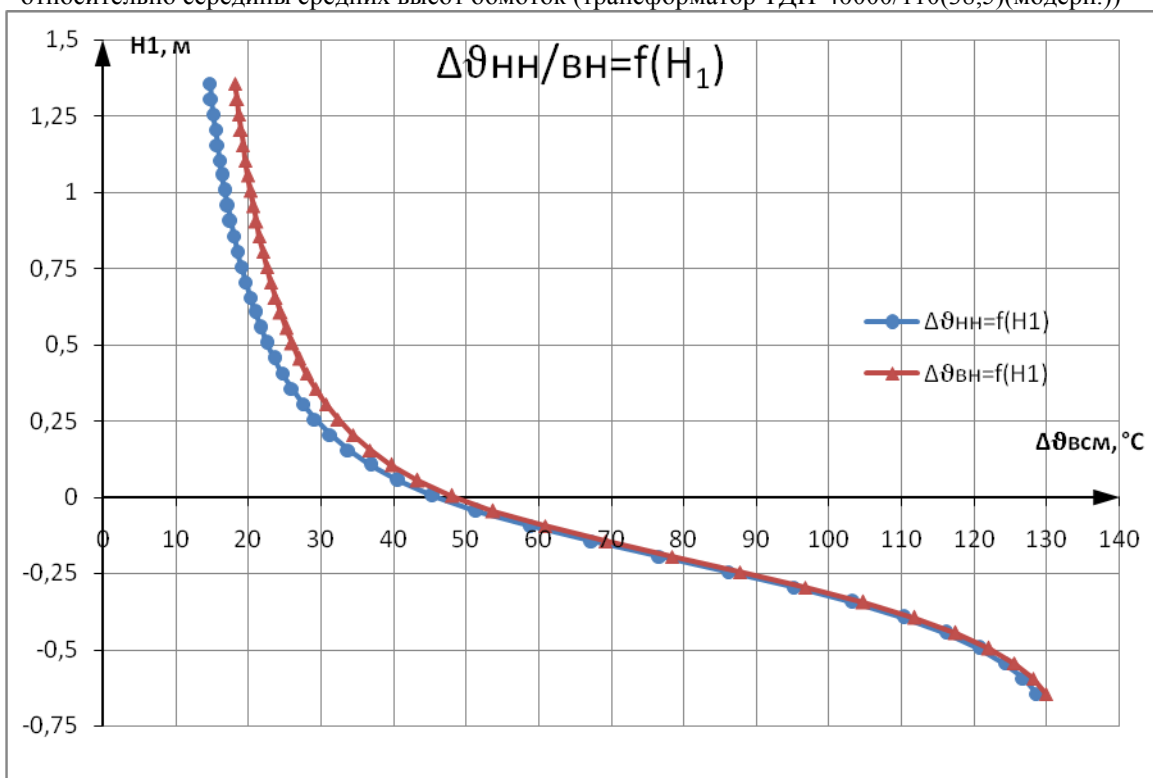


Рис. 4. Зависимость осевого перепада температуры в обмотках от высоты установки радиатора относительно середины средних высот обмоток (трансформатор ТДН-40000/110(38,5)(модерн.))

Как видно из ряда зависимостей, представленных на рис.2, 3 и 4, высота установки радиаторов относительно центра обмоток оказывает существенное влияние на превышения температур верхних слоев масла и температур осевого перепада в радиаторах. Температура средних слоев масла постоянна, независимо от высоты установки радиатора, и в данной модели равна 85,8 °С.

Можно заключить, что установка радиатора на высоту 0,25÷0,75 м выше середины высот обмоток дает наиболее оптимальное значение температур масла, как превышений верхних слоев масла над охлаждающей средой, так и осевое падение температуры в обмотках и системе охлаждения. При установке ниже середины высот обмоток приводит к наиболее сильным перегревам масла, за счет неэффективности работы радиаторной системы охлаждения. При установке выше определенного значения (0,75 м) выигрыш в охлаждающей способности радиаторов незначителен.

#### Список литературы:

1. Киш Л. Нагрев и охлаждение трансформаторов.- Москва « Энергия», 1980. с. 109-167.
2. Трякин А. О., Бушев А. В. Методика расчета радиаторной системы охлаждения масляного трансформатора. – Москва, «Энергетик», 2013г., 8 выпуск.с. 45-47.

#### Solar power generation technology

*Kasobov L.S.*

*Tajik Technical University, Republic of Tajikistan, Dushanbe City*

*loiknstu@mail.ru*

Scientists make solar cells so that sunlight can be converted to electricity.

Solar Panels and Solar Cell. A solar cell or photovoltaic cells, directly produce an electrical voltage from illumination of the sunlight on them. The mechanism of the solar cell is photovoltaic effects originating from the energy conversion from light (photon) to electrons and holes in a semiconductor, which is caused by light absorption. The conventional solar cell has a p-n junction of a semiconductor, so called photodiode. The short-circuit current (ISC) is the current through the panel when the voltage across the panel is zero. That is when the solar cell is short circuited. The open circuit voltage (Voc) is the voltage through the panel when the current drawn from the panel is zero. Current Voltage Characteristics of single solar panel. We used solar panel (No. 06, 07, 08,) exposed to sunshine at 10 A.M. in July 17 and 18, 2012 under the clear sunny day. Fig. 1. shows the current versus voltage of each solar panel as illustrated in the same figure. For Panel No 02, the open-circuit voltage is observed to be 9.19 V and short circuit current 2.38 A. The maximum power is 16 W at 6.8 V and the ambient temperature is 27°C.

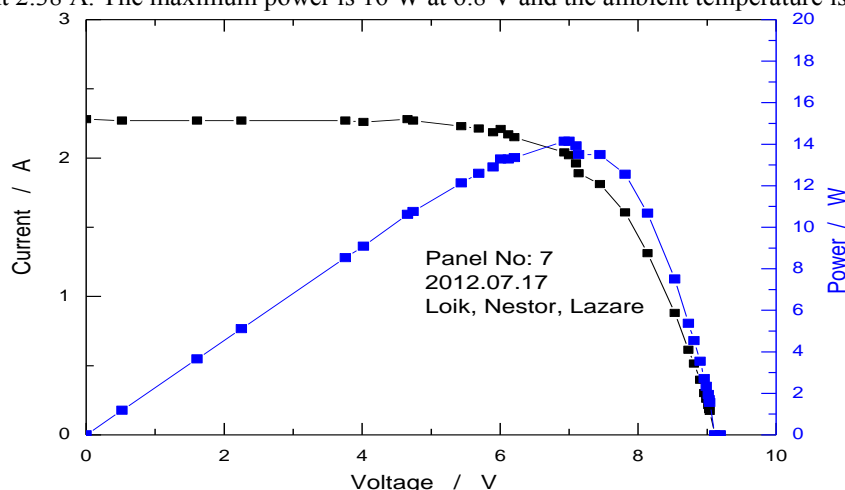


Fig. 1. The current vs. voltage plots of solar panel No. 7 measured on July 18, 2012.

We also connected two panels in parallel, panel No 3 and 4 exposed to sunshine at 11AM in July 18 2012. As for parallel connection the current for both panels will be double whereas the voltage will be equal to the voltage of a single panel. The I-V curve for parallel connection of solar panel shows the voltage output is the same, but the current is double. Temperature effect on single solar panel. Open

circuit voltage ( $V_{oc}$ ) is highly dependent on temperature. As temperature increases, the open circuit voltage ( $V_{oc}$ ) decreases. The voltage drop in  $V_{oc}$  is due to the heating of panel under sunshine result in loss of voltage. So the peak power will be decreased, because it highly depending on temperature. The short circuit current ( $I_{SC}$ ) is proportional to irradiance therefore it increases slightly due to the increase in temperature. Shadow effect. Since all cells in a panel are connected in a series, the cell with less amount of current will bring the others down to its reduced power output level. When shadow occurs, the voltage decreases. The more cells covered by shadow, the voltage decreases more.

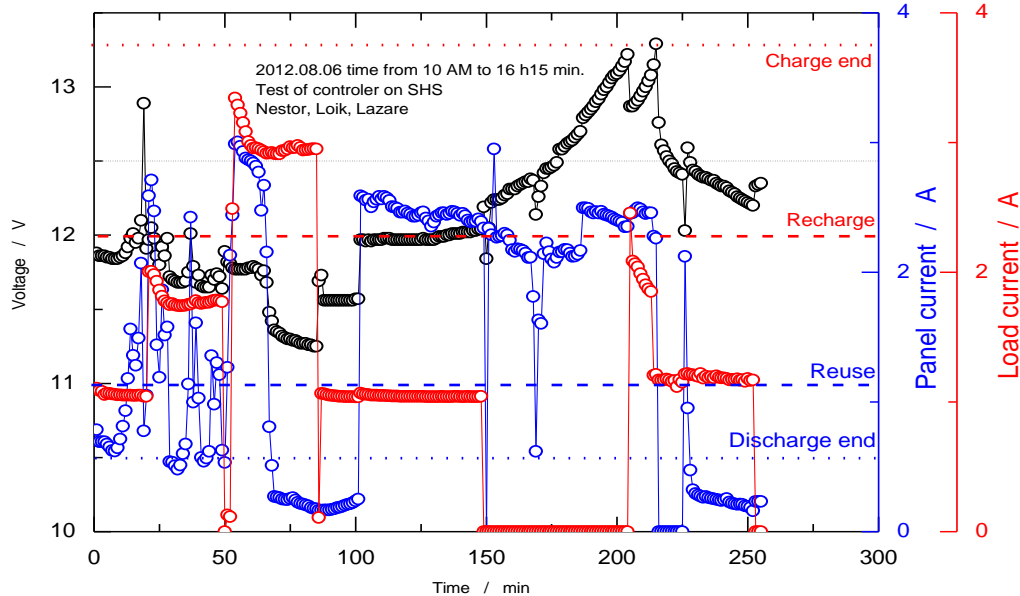
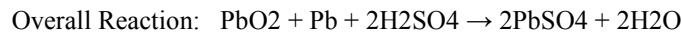


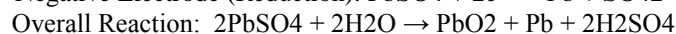
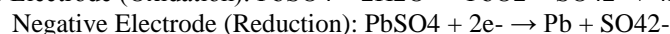
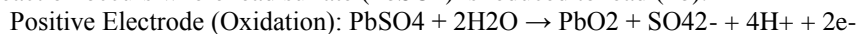
Fig.3. Operation on battery controller

**Battery Controller.** The primary function of a charge controller in a stand-alone PV system is to maintain the battery at highest possible state of charge while protecting it from overcharge by the panel and from over discharge by the loads. Important functions of battery charge controllers and system controls are prevent battery overcharge and over discharge. During the training we have the opportunity to make a battery controller by three groups. We connected the battery controller circuit and setting the: Charging Voltage, Recharge Voltage, Re discharge Voltage and Discharge Voltage. Finally we checked the controller by connecting with panel and battery (Lithium ion). This shows by figure 3.

**Batteries.** Battery stores the electricity from the solar panel via the charge controller. Even the energy from the sun is not stable the output from the panel is not predictable. So, we need battery to store the electricity. This electricity can then be used at night or in periods of bad weather. Solar systems are the most demanding applications for the battery and the correct choice of battery is fundamental to the integrity of the entire system. **Lead acid Battery.** The structure of battery: Lead acid battery is composed by Lead, Lead Oxide and dilute sulfuric acid solution. Positive electrode is Lead Oxide plate. Negative electrode is Lead plate. The electrolyte is dilute Sulfuric acid ( $H_2SO_4$ ). When discharging occurs, reduction reaction occurs at positive electrode. Lead dioxide ( $PbO_2$ ) reacts with sulfuric acid ( $H_2SO_4$ ) to produce lead sulfate ( $PbSO_4$ ) and water ( $H_2O$ ). For negative electrode, oxidation reaction occurs where lead ( $Pb$ ) reacts with sulfuric acid to produce lead sulfate ( $PbSO_4$ ). Positive Electrode (Reduction):  $PbO_2 + SO_4^{2-} + 4H^+ + 2e^- \rightarrow PbSO_4 + 2H_2O$  Negative Electrode (Oxidation):  $Pb + SO_4^{2-} \rightarrow PbSO_4 + 2e^-$



During charging occur, oxidation reaction occur at (+) electrode where lead sulfate ( $PbSO_4$ ) reacts with water to produce lead dioxide ( $PbO_2$ ) and Sulfuric acid ( $H_2SO_4$ ). For the negative electrode, a reduction reaction occurs where lead sulfate ( $PbSO_4$ ) is reduced to lead ( $Pb$ ).



**2V Lead acid battery.** 2V lead acid battery consist of working electrode (WE), counter electrode (CE) and reference electrode (RE). The electrolyte is 5M of Sulfuric acid ( $H_2SO_4$ ). From reference

electrode, we can measure the voltage of the working electrode but not from the counter electrode. And then we vary the voltage and see how it operates.

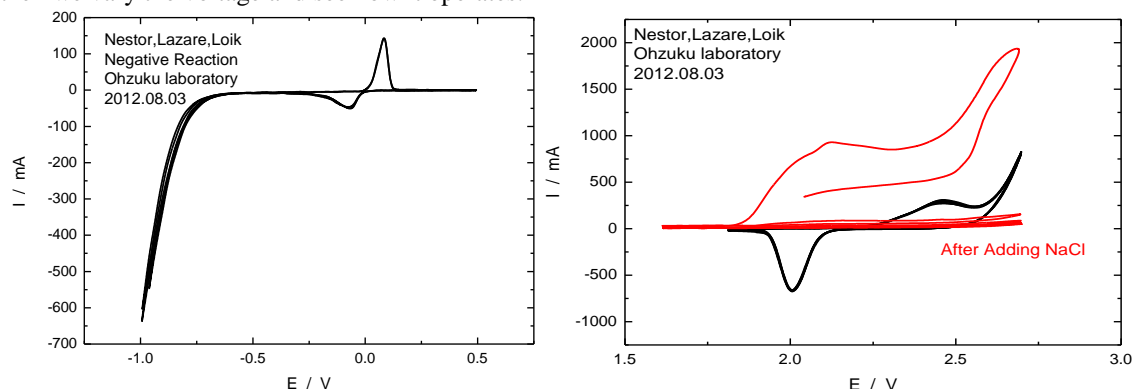


Fig. 4. a) Characteristic of lead acid cell (negative reaction) b) Effect of NaCl for lead acid cell.

According to Figure 4 a, on the negative electrode side have two peaks corresponding respectively to the reaction of oxidation of Pb to PbSO<sub>4</sub> and the reduction of the lead sulfate (PbSO<sub>4</sub>) to Pb. On the right side of this figure, the positive electrode, there are two other peaks corresponding to the oxidation of lead sulfate (PbSO<sub>4</sub>) to lead dioxide (PbO<sub>2</sub>) and the reaction of the reduction of PbO<sub>2</sub> to PbSO<sub>4</sub>.

Overcharge state causes the generation of gases in both electrodes, H<sub>2</sub> gas in the negative electrode and O<sub>2</sub> gas in the positive electrode. In the charge state we have the reduction of lead sulfate (PbSO<sub>4</sub>) to Pb in the negative electrode and the oxidation of lead sulfate (PbSO<sub>4</sub>) to lead dioxide (PbO<sub>2</sub>) in the positive electrode. In the discharge state we have the oxidation of Pb to PbSO<sub>4</sub> in the negative electrode and the reduction of PbO<sub>2</sub> to PbSO<sub>4</sub> in the positive electrode. When adding sea water (NaCl) to the dilute Sulfuric acid, result in no reaction at all as shown in figure 4 b. Lead free battery. Lead free battery is still in final and mid state of basic study, but it will be the best replacement of lead acid battery for solar power generation. What I have learned is that Lead free battery is maintenance free, longer life time and its very light in weight. These were all compared to lead acid battery. For lead free battery, it has about 3500 cycles. 1st generation battery Positive Electrode: Lithium Aluminum Manganese Oxide (LAMO). Negative Electrode: LTO. For the first generation battery, the volume is about 7.5 liters and the energy density is 160 Wh dm<sup>-3</sup>. The density of batteries range from 2 - 2.5g cm<sup>-3</sup> and the Energy density range from 65 – 80 Wh/kg. Five cells connected in series to give twelve volts. It is on the final stage of OCU basic study. 2nd generation battery Positive Electrode: Lithium Nickel Manganese Oxide (LiNiMO) Negative Electrode: LTO For the second generation battery, the volume is about 4.8 liters and the energy density is 250 Wh.dm<sup>-3</sup>. The density of batteries range from 2 - 2.5g cm<sup>-3</sup> and the Energy density range from 100 – 125 Wh/kg. Four cells connected in series to give twelve volts.

#### Reference

1. Solar Power Generation Technology (04.06.2013-14.08.2012 Osaka- Japan-JICA) (final report) / Loik Kasobov, Kipola So'otanga, Nestor Tongo and Lazare, - Osaka City University, 13.08.2012.

#### Исследование возможности применения преобразователей частоты в smartgrid системах

*Абрамова Я.А., Чиж А.В., Армеев Д.В.*

*Новосибирский государственный технический университет,*

*УНЛ ФФ НГУ, «Центр энергоэффективных технологий», Россия, г. Новосибирск*

[lampo4ka1701@gmail.com](mailto:lampo4ka1701@gmail.com)

В последнее десятилетие в передовых странах мира развивается технология SmartGrid (интеллектуальная сеть). В России она получила название Интеллектуальной электроэнергетической системы с активно-адаптивной сетью (ИЭС ААС) [1]. В составе ИЭС электрическая сеть из пассивного устройства транспорта и распределения электроэнергии превращается в активный элемент, параметры и характеристики которого изменяются в реальном времени в зависимости от режимов работы энергосистемы.

Отличительными чертами энергосистем нового поколения являются: децентрализованное управление, активная роль потребителя на электроэнергетическом рынке, а также широкое применение устройств FACTS, к коим можно отнести и преобразователь частоты (ПЧ).

Благодаря развитию систем управления, которое стало возможным с появлением силовой электроники и микропроцессорной техники, повышается эффективность работы асинхронных приводов [2]. Оно осуществляется с помощью преобразователя частоты, типичная структурная схема которого приведена на рисунке 1.

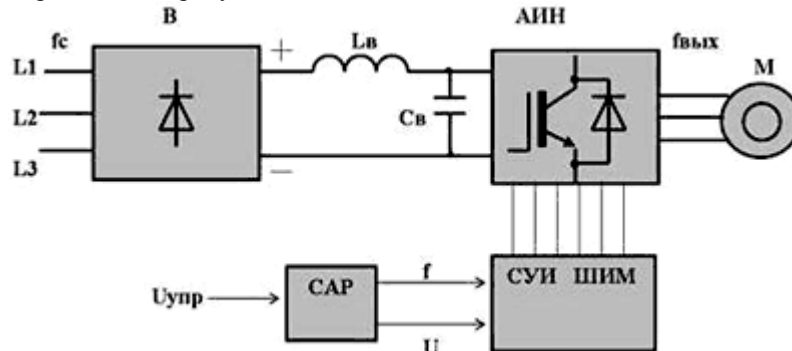


Рис. 1. – Структурная схема преобразователя частоты

Основная область применения преобразователей частоты – это питающие насосы в электроэнергетике, вентиляторы, циркуляционные насосы систем отопления, лифты, конвейеры и т.д. [3] Однако ПЧ также применяется и для управления синхронного частотно-регулируемого электропривода [4].

В данной работе авторы рассматривают возможность применения преобразователей частоты для синхронизации энергосистем в динамическом режиме. Актуальность этого вопроса диктуется последними тенденциями в России: все больше и больше появляется энергорайонов и предприятий, потребители которых получают питание как от энергосистемы, так и от собственных дизельных и газотурбинных установок. На практике такая необходимость возникает в случае эпизодического или постоянного превышения мощности нагрузки над выделенной мощностью сетевого ввода. В таких сетях при потере питания от системы электроснабжение электроприемников потребителей может быть продолжено, но на пониженной частоте.

При значительном снижении частоты возникает опасность возникновения лавины частоты, возможно, и лавины напряжения [5]. Лавины частоты и напряжения вызывают массовое отключение потребителей действием их защит и стимулируют нарушение параллельной работы энергосистем. Ликвидация аварий и восстановление нормального режима работы системы могут длиться несколько часов.

Явления лавины частоты и лавины напряжения протекают в течение нескольких сотен миллисекунд или секунд. В такое короткое время дежурному персоналу трудно правильно оценить создавшееся положение и провести необходимые мероприятия. Во избежание подобной ситуации необходимо автоматически отключать потребителей с целью восстановления балансов активной и реактивной мощностей и вернуть напряжение и частоту в допустимые диапазоны. Однако это мероприятие нарушает электроснабжение потребителей.

При потере питания от системы, такие энергорайоны выделяются на изолированную работу. Поскольку требования к частоте в изолированной энергосистеме ниже [6], то в такой ситуации, наличие ПЧ позволяет мгновенно снизить частоту и напряжение питающей сети до соответствующих значений на шинах энергорайона, в результате чего будут выполнены основные условия синхронизации, и за максимально короткий срок включить энергорайон на параллельную работу с системой. После этого остается вернуть частоту шин энергорайона до номинального значения.

Преимущество данного способа в том, что отпадает необходимость отключать нагрузку и появляется возможность восстановить режим работы энергорайона за минимальное время, сразу после восстановления напряжения питающей сети.

Данная теория была экспериментально подтверждена на электро-динамической модели НГТУ в лаборатории кафедры автоматизированных электроэнергетических систем. Для этого была составлена схема на физической модели сети (Рис. 2).

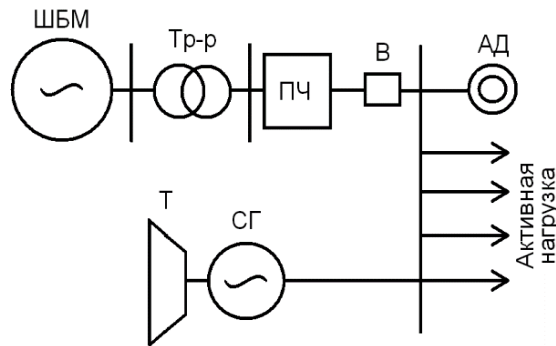


Рис. 2. Принципиальная схема физической модели

Были использованы элементы: шины энергосистемы (ШБМ), понижающий трансформатор (Тр-р), преобразователь частоты (ПЧ), синхронный генератор (СГ), активная и двигательная нагрузка. Эксперимент проводился в два этапа.

На первом этапе происходил запуск СГ и его синхронизация с энергосистемой. После этого выполнялось включение активной нагрузки (в виде осветительных приборов) и запуск двигательной нагрузки.

В результате часть нагрузки получала питание от СГ, а остальная часть – от энергосистемы.

Обычно перераспределение потоков активной мощности происходит путем воздействия на первичный двигатель. В данной же схеме это стало возможно путем изменения режима работы ПЧ на вводе энергосистемы, что доказало принципиальную возможность применения ПЧ для управления нормальными режимами энергосистем.

Второй этап заключался в следующем.

Эмитировалась потеря электропитания со стороны энергосистемы и энергорайон переходил в режим изолированной работы. В этот момент нарушался баланс мощностей и, вследствие того, что характеристики СГ не позволяли его восстановить, происходило снижение частоты (более, чем на 5 или 10 Гц в зависимости от величины нагрузки) и напряжения на шинах нагрузки.

Даже при быстром восстановлении напряжения на вводе энергосистемы, для восстановления нормальных значений режимных параметров обычно требовалось бы отключение части нагрузки, выполнение условий синхронизации, затем включение сети на параллельную работу и повторное включение нагрузки. Это потребовало бы времени и сложной согласованной работы всей коммутационной аппаратуры, и регулирующих устройств в изолированной сети.

Вместо этого, как только напряжение на вводе энергосистемы было восстановлено, ПЧ снижал частоту напряжения на вводе, и энергорайон тут же включался на параллельную работу без отключения нагрузки и управления системами регулирования скорости и напряжения СГ. Это стало возможным благодаря тому, что все условия синхронизации были возложены и выполнены с помощью ПЧ. После синхронизации частота и напряжение в схеме плавно поднимались до номинальных (или допустимо близких) значений.

Проведенные исследования в области применения преобразователей частоты показали принципиальную возможность использования ПЧ для управления выделенным энергорайоном сети как в статических, так и динамических режимах. Экспериментально было определено следующее:

- использование ПЧ позволяет уменьшить ущерб за счет отсутствия необходимости отключения части нагрузки на время перерыва питания;
- ПЧ делает возможным синхронизацию частей электрических систем переменного тока с разными частотами и напряжениями;
- в нормальных режимах с помощью ПЧ можно управлять потоками активной мощности без прямого воздействия на первичные двигатели машин.

#### Список литературы:

1. Сайт ОАО «ФСК ЕЭС» [электронный ресурс] / Основные положения концепции интеллектуальной энергосистемы с активно-адаптивной сетью, - Электр. дан., 2012. – Режим доступа: <http://www.fsk-ees.ru>, свободный.
2. Булгаков А.А. Частотное управление асинхронными двигателями. – 3е перераб. изд. – М.:

- Энергоатомиздат. 1982, –216 с.
3. [http://www.privod.ru/products/inverters/high/index\\_vcrp.htm#usage](http://www.privod.ru/products/inverters/high/index_vcrp.htm#usage)
  4. Кузин, К. А. Разработка и исследование систем и алгоритмов управления синхронным частотно-регулируемым электроприводом турбомеханизмов: автореф. дис. ...канд. тех. наук: 05.09.03 / Кузин Кирилл Андреевич. – Москва, 2012. – 20.
  5. Веников В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах. Учебник для электроэнергетич. специальностей вузов. Изд. 3-е, переработ. И доп. М., «Высш.школа», 1978.
  6. ГОСТ Р 54149–2010 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Введ. Впервые; дата введ. 21.12.2010. – М.: Стандартинформ, 2012. – 20 с
  7. Microgrid: Exploring Business Scenario Models for APEC Economies [электронный ресурс] / проект, рук. проекта: Мурадов К., – сайт. – Режим доступа: <http://localenergy-apec.ru/index.php/ru/o-nas>, свободный.

**Разработка методики проверки работоспособности метода «электрического эквивалента» для электродинамической модели**

**П.А. Акульшина \*, О.А. Васильева**

*Новосибирский государственный технический университет, Россия, г. Новосибирск*

[polina.akulshina@gmail.com](mailto:polina.akulshina@gmail.com)

В работе рассмотрен новый метод совмещения моделей анализа технологического и производственного процессов, основанный на взаимном структурном подобии базовых систем уравнений установившегося режима ЭЭС - метод «электрического эквивалента». Общий способ моделирования технико-экономического состояния ЭЭС с помощью электрического эквивалента позволяет свести два критерия минимума затрат по системе (минимум потерь мощности и энергии в сетях и минимум расхода топлива на станциях) в единый критерий – минимум потерь  $\Delta P = \min$ , найти оптимальный режим системы при соблюдении баланса спроса и предложений в денежном выражении. Таким образом, оптимизация режима существенно упрощается.

«Электрический эквивалент» - это специальное операторное преобразование электрических, энергетических и экономических (стоимостных) характеристик электрических станций в параметры схемы замещения электрической сети ЭЭС.

Каждый элемент энергосистемы есть элемент, в котором происходит преобразование (или потеря) энергии и изменение ее стоимости. Следовательно, объекту ЭЭС можно поставить в соответствие некоторые сопротивления (аналог электрического сопротивления), отражающие экономическое состояние системы (экономическое сопротивление) и энергетические преобразования на станциях (энергетическое сопротивление) Таким образом, в схеме замещения ЭЭС будут сопротивления трех видов: классические электрические сопротивления, энергетические сопротивления и экономические сопротивления. Единообразное представление электрических, энергетических и экономических процессов позволяет модифицировать уравнения состояния ЭЭС, дополнив их энергетическим и экономическим сопротивлениями и параметрами, и адаптировать существующие алгоритмы оптимизации режима ЭЭС к учету его стоимости.

Преимущества модели электрического эквивалента системы:

Модель электрического эквивалента теоретическая. Ее работоспособность проверялась только на тестовых примерах, которые показали ее работоспособность и преимущества по сравнению с моделями электроэнергетическими.

Отпадает необходимость масштабирования переменных и учета различных единиц измерения параметров. При оптимизации независимыми переменными являются мощности (в МВт), а критерием стоимостные оценки (в руб.). Это заставляет применять процедуры сопоставления разных единиц измерения. В модели электрического эквивалента переменные мощности и критерий (потери мощности) измеряются в одинаковых единицах (в МВт) и это снимает многие вычислительные трудности. Особенно большие преимущества это дает в тех случаях, когда учитываются параметрические свойства переменных и их разнообразие.

Появляется возможность многокритериальной оптимизации по схеме однокритериальной задачи, так как все оценки приводятся к потерям мощности. Стоимостная значимость параметров мощности учитывается через потери.



Возможность получения результатов оптимизации в затратах, ценах, технических единицах.

Возможность построения и использования при оптимизации нормативных энергетических характеристик станций и сетей в потерях мощности (в МВт). Без этого оценить эффективность оптимизации нельзя.

Электродинамическая модель - установка, представляющая собой совокупность специального оборудования, имитирующего работу основных элементов электрической системы и предназначенного для физического моделирования ЭЭС. На установке можно создать условия, максимально приближенные к реальным условиям эксплуатации.

Для работы с методом выбрана простейшая система «генератор-трансформатор-ЛЭП-ШБМ» (рис.1).

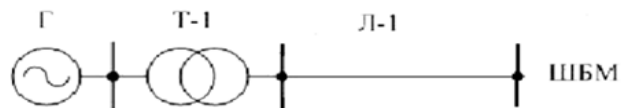


Рис.1. Выбранная схема для исследования метода

Параметры моделируемой ЛЭП:

номинальное ЛЭП напряжение	380 В
активное сопротивление	1.2 Ом
реактивное сопротивление	16 Ом
ёмкостная проводимость	38 мкФ

Параметры трансформатора:

тип	МТО-1,7
номинальная мощность	1,7 кВА
номинальное напряжение ВН	380 В
номинальное напряжение НН	220 В

Синхронный генератор:

тип	МК-3
полная мощность	3 кВА
номинальный cosφ	0,9
номинальное напряжение	220В

Авторами статьи создана ее модель в программном пакете National Instruments Lookout (рис.2).

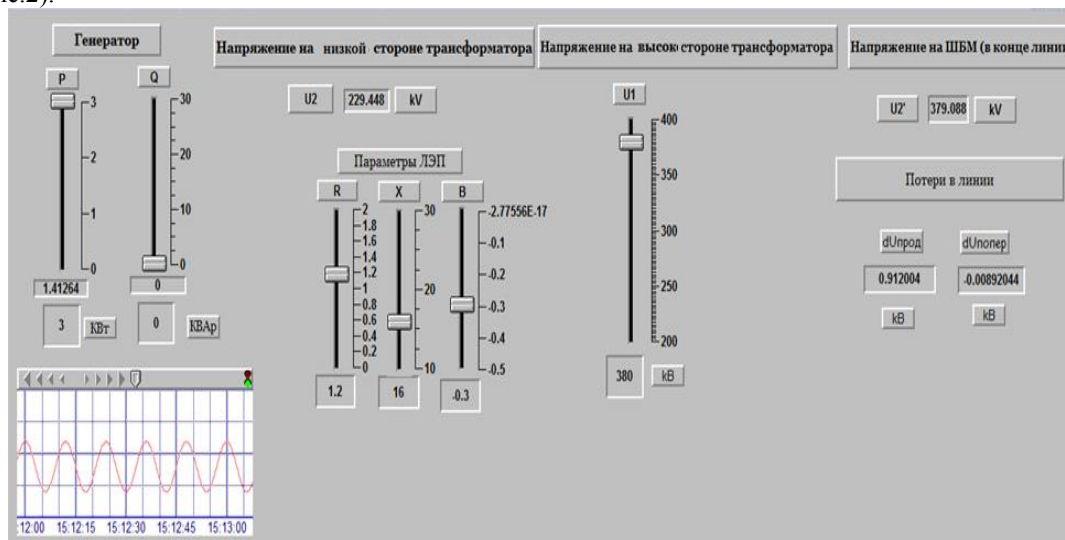


Рис. 2. Модель исследуемой схемы

Благодаря широким возможностям данной программы можно не только визуализировать схемы, но и меняя параметры получать различные графики тока, напряжения и мощности во времени.

«Электрический эквивалент» замоделирован тремя электрическими лампочками, имеющими нелинейную характеристику. В схему они подключаются параллельно, выдавая

величину не сопротивления, а проводимости. Для снятия показателей мощности и напряжения после генератора и после «электрического эквивалента» поставлены два измерительных прибора K505 (рис.3).

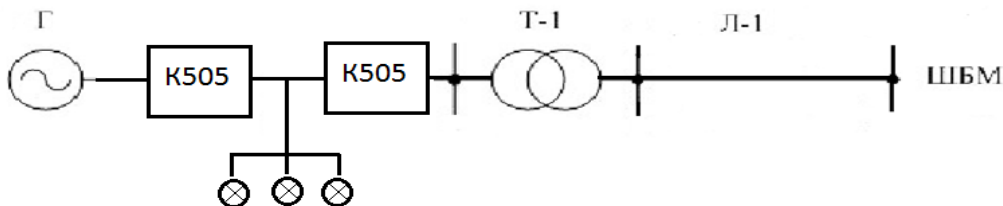


Рис. 3. Схема для расчета величины «электрического эквивалента»

$$R(P_{\text{подв}}) = \frac{(P_{\text{подв}} - P_{\text{пол}}) * U^2}{P_{\text{пол}}^2} \quad (1)$$

В результате эксперимента авторами статьи получен диапазон подводимых ( $P_{\text{подв}}$ ) и полезных мощностей ( $P_{\text{ползн}}$ ), используя которые можно согласно (1) получить величину «электрического эквивалента» (Таблица 1):

Таблица 1. Диапазон полученных напряжений, мощностей и «эквивалента»

U1	110	121	127	126	132	132
$P_{\text{подв}}$	440	680	690	700	500	430
U2	110	125	125	124	133	133
$P_{\text{ползн}}$	40	570	450	650	160	210
$R_{\text{экв}}$	3025	5,3	18,5	1,8	234,9	88,2

где U1,  $P_{\text{подв}}$  – показания первого прибора K505; U2,  $P_{\text{пол}}$  – показания второго прибора;  $R_{\text{экв}}$  – значения «электрического эквивалента».

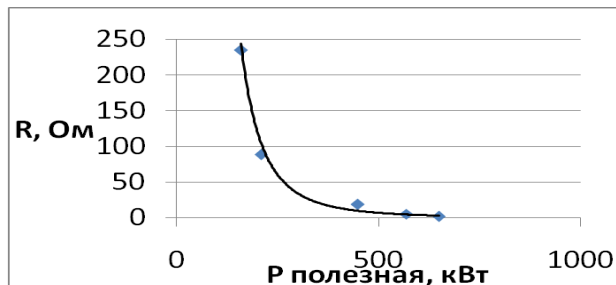


Рис. 4. График зависимости «эквивалента» от полезной мощности

**Заключение.** Произведен расчет нормального режима методом «в два этапа» с учетом одного из полученных значений  $R_{\text{экв}}$ , его результаты требуют анализа и сравнения с экспериментальными. Для расчета исследуемой схемы в компьютерной программе необходимо выполнить перевод исходных значений согласно используемым в программах единицам измерения (вольты в киловольты и т.д.; программно-вычислительный комплекс RastrWin рассчитывает схемы от 0,4 кВ, в то время как данное напряжение только 0,22 кВ). После этого необходимо определить диапазон числовых значений «эквивалента», чтобы они были соизмеримы с сопротивлениями остальных элементов схемы. Таким образом, будет проверена работоспособность предложенного метода.

#### Список литературы:

1. Лыкин А. В. Электрические системы и сети [Текст] : учеб.пособие / А. В. Лыкин. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2002. – 248 с
2. Русина Н. О. Управление энергетикой исследование проблем и разработка подходов и методов для их решения : отчет о науч.-иссл. работа / Н. О. Русина. – Новосибирск, 1996. – 67 с.

## Модульный состав – путь к созданию энергоэффективных грузовых поездов

И.К. Александров

Вологодский государственный технический университет

[alex@mh.vstu.edu.ru](mailto:alex@mh.vstu.edu.ru)

Существующая теория локомотивной тяги [1] рассматривает движение поезда, являющегося системой материальных тел (локомотив и состав вагонов), как движение материальной точки, в которой сосредоточена вся масса поезда. Эта весьма упрощенная математическая модель поезда позволила применить для анализа его поступательного движения закономерности, установленные Ньютоном. При этом, естественно, автоматически игнорируются энергетические процессы в самой системе материальных тел. В частности, не принимаются во внимание фрикционные потери в сцепном устройстве и других элементах поезда, участвующих в передаче потока мощности от локомотива к колесным парам, что противоречит законам науки трибологии.

Нами впервые предложен принципиально иной подход к выполнению энергетического анализа, а именно поезд представляется в виде последовательно-параллельной кинематической цепи (КЦ). При этом сразу однозначно определяется наиболее эффективный вариант КЦ.

В качестве альтернативы традиционной схеме железнодорожного состава с головным локомотивом (рис. 1а) рассматривается вариант, где кинематические связи существенно упрощены и частично заменены электрическими (рис. 1б). Назовём такую схему комплектования железнодорожного состава модульной. Модуль представляет собой комплексную единицу подвижного состава, состоящую из снабжённого приводным электродвигателем тягового вагона, к которому подсоединяются один или несколько обычных (неприводных) вагонов.

В соответствии с методикой составления блок-схем [2] введено понятие собирательное звено (СЗ). Это такой элемент КЦ, который объединяет (собирает) несколько потоков мощности. Каждое СЗ маркируется по уровню удаления его от энергетической установки (ЭУ) и ему присуждается порядковый номер на данном уровне. СЗ соединяются между собой внутренними КЦ. От любого СЗ могут ответвляться внешние КЦ, которые заканчиваются рабочим органом, непосредственно совершающим полезную работу. В данном случае таким «рабочим органом» является колёсная пара. Следовательно, применительно к схеме железнодорожного состава: СЗ 1-го уровня – система сцепных устройств поезда (сцепка); СЗ 2-го уровня – вагоны; СЗ 3-го уровня – вагонные тележки, которые объединяют колёсные пары.

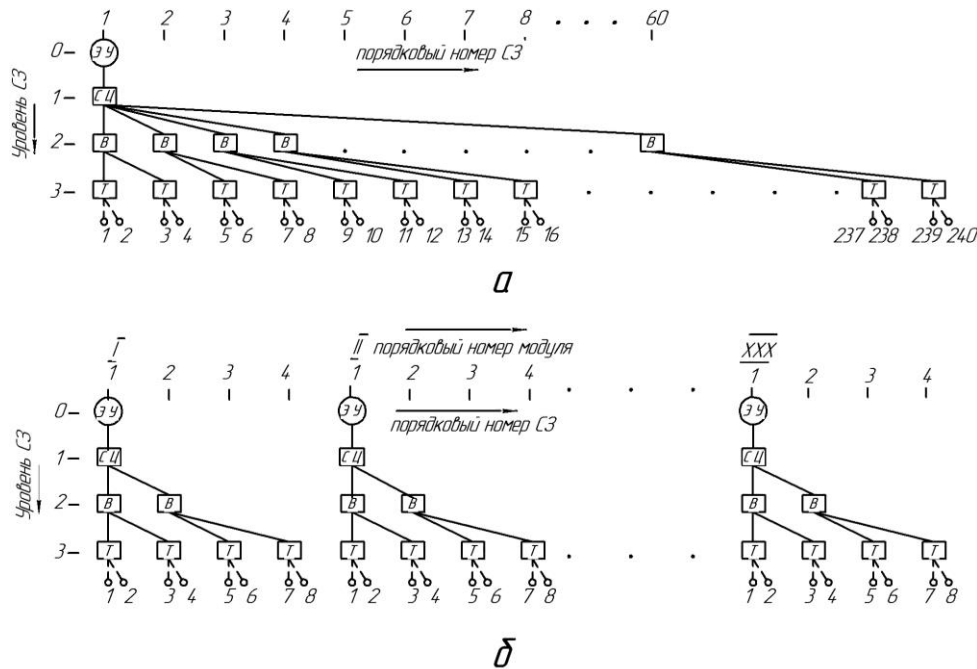
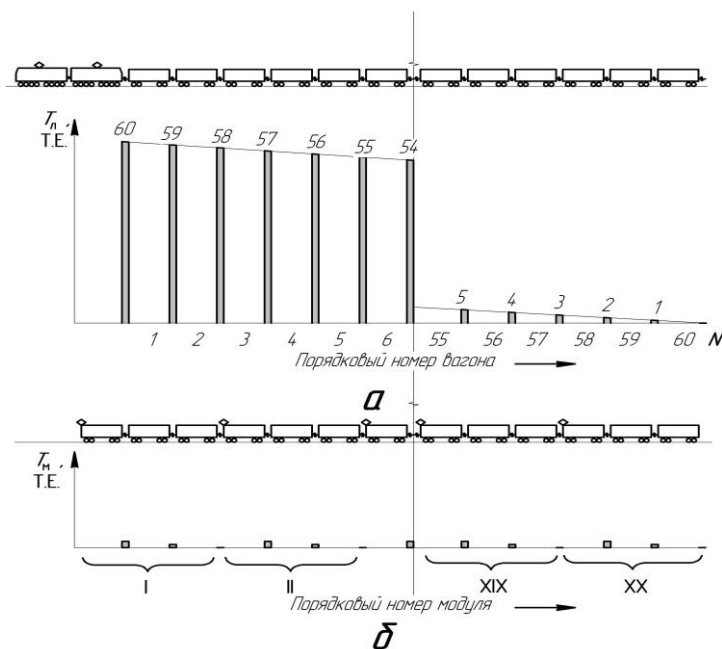


Рис. 1. Блок-схема кинематической цепи: а - поезд с локомотивом; б – поезд, составленный из двухвагонных модулей

Из представленных блок-схем очевидно, что энергоэффективность КЦ модуля всегда выше, чем КЦ поезда с локомотивом, так как в последнем случае используется значительно большее количество внутренних КЦ, каждая из которых создает дополнительные энергетические потери. Это увеличение внутренних КЦ определяется особенностью конструктивного вида сцепного устройства (СУ) поезда с головным локомотивом

Для оценки энергоэффективности СУ удобно использовать условную тяговую единицу (Т.Е.) измерения. Т.Е. есть безразмерная величина, символизирующая значение тягового усилия, необходимого для транспортирования одного гружёного вагона с заданной скоростью по горизонтальному участку пути с учётом потерь: на перекачивание колёсных пар по рельсу, в подшипниках колёсных пар, в подрессоренной вагонной тележке, аэродинамического сопротивления.

При сопоставлении двух схем комплектования состава (см. рис.1,2) видны преимущества модульной технологии: 1) в модульной схеме значительная часть внутренних КЦ заменена электрическими связями, за счёт прямого соединения ЭУ тягового вагона с контактной сетью; 2) каждый «тяговый» вагон перемещение самого себя осуществляет самостоятельно, без использования сцепного устройства; 3) в сцепке между модулями также отсутствует тяговое усилие; 4) максимальное тяговое усилие в модуле – всего 2 Т.Е., тогда как тяговое усилие, передаваемое на первый вагон поезда с локомотивом, составляет 60 Т.Е.



передаваемое на первый вагон поезда с локомотивом, составляет 60 Т.Е.

Рис. 2. Изменение тягового усилия (определяемого в условных тяговых единицах) в сцепке между вагонами для состав, содержащего 60 вагонов:

- а - поезд с локомотивом;
- б – поезд, составленный из трёхвагонных модулей

Три первых условия обеспечивают снижение энергопотребления модульным поездом за счёт уменьшения непроизводительных потерь в сцепном устройстве. Четвёртое условие принципиально меняет требования к конструкции

вагона. Дело в том, что разрывное усилие, а соответственно и ударная нагрузка, передаваемая на нижнюю раму первого вагона (а в составе с локомотивом любой вагон может оказаться первым) в 30 раз больше, чем максимальное значение этого усилия в модуле! Следовательно, может быть существенно уменьшена металлоёмкость нижней рамы модульного вагона, воспринимающей пониженное разрывное (ударное) усилие, что позволит пропорционально увеличить массу перевозимого вагоном груза (нетто).

Для ориентировочного энергетического анализа используем экспресс-метод.

Проанализируем эффект снижения энергоёмкости СУ за счет уменьшения усилий, действующих в нем, при использовании модульной схемы. Суммарное количество  $T_{л}$  тяговых единиц, передаваемое через СУ поезда с локомотивом, определяется зависимостью:

$$T_{л} = \frac{N(N + 1)}{2}, \quad \text{Т.Е.}, \quad (1)$$

где  $N$  - количество вагонов в составе, шт.

Суммарное количество  $T_{м}$  тяговых единиц, передаваемое через СУ поезда модульного типа, определяет формула:

$$T_M = \frac{N}{n} \cdot Z, \quad \text{Т.Е.} \quad (2)$$

где  $n$  - количество вагонов в модуле;  $Z$  - суммарное количество тяговых единиц в модуле, Т.Е. Дискретная функция  $Z = f(n)$  определяется соотношением  $Z_{i+1} = Z_i + n_i$

В первом приближении энергетическую эффективность от применения модульной схемы можно оценить коэффициентом  $K_{CH}$  снижения нагрузки на сцепное устройство

$$K_{CH} = \frac{T_L}{T_M} = \frac{n(N+1)}{2Z} \quad (3)$$

Чтобы определить величину фрикционных потерь в сцепке поезда необходимо экспериментально установить КПД ( $\eta_{сц}$ ) сцепного устройства (одна из задач предстоящих экспериментальных исследований). Соответственно получаем два выражения:

а) для сцепного устройства с локомотивом  $T_{Фрл} = (1 - \eta_{сц}) \cdot T_L$ , Т.Е. (4)

б) для сцепного устройства с модулем  $T_{Фрм} = (1 - \eta_{сц}) \cdot T_M$ , Т.Е. (5)

К сожалению, автор до настоящего времени не получил возможность для проведения натурных исследований по определению фрикционных потерь в сцепном устройстве поезда. Поэтому при проведении расчетов примем минимально возможную величину относительных фрикционных потерь для элемента КЦ. Согласно курсу «Детали машин», минимальной величиной относительных потерь на трение обладает шарикоподшипник, имеющий КПД 0,99. Допустим, что СУ вагонов настолько совершенно, что имеет аналогичную энергетическую эффективность.

В табл. 1 показано влияние на коэффициент снижения нагрузки на СУ и величину фрикционных потерь в сцепке числа вагонов в модуле с учётом общего количества вагонов в составе.

Таблица 1. Влияние числа вагонов в модуле на коэффициент снижения нагрузки на сцепное устройство и величину фрикционных потерь в сцепке в составе из 60 вагонов при  $\eta_{сц} = 0,99$

Количество вагонов в модуле $n$	Количество вагонов в составе $N$	Количество тяговых единиц в модуле $Z$	Коэффициент снижения нагрузки на сцепное устройство $K_{CH}$	Фрикционные потери в сцепке поезда с локомотивом, $(1 - \eta_{сц}) \cdot T_L$ Т.Е.	Фрикционные потери в сцепке модульного поезда, $(1 - \eta_{сц}) \cdot T_M$ Т.Е.
2	60	1	61	18,3	0,3
3	60	3	30,2	18,3	0,6
4	60	6	20,3	18,3	0,9
5	60	10	15,3	18,3	1,2
6	60	15	12,2	18,3	1,5

В рамках упрощённого экспресс-метода сопоставительный анализ может быть представлен также в виде интегрального критерия, названного нами коэффициентом энергетической эффективности (КЭЭ) сцепного устройства, который достаточно близок к значению КПД СУ (см. ниже). За величину полезной работы, совершаемой ЭУ, принимаем тяговое усилие, необходимое для транспортирования всех вагонов поезда, которое численно равно количеству вагонов в поезде, умноженному на условную тяговую единицу:  $T_{пол} = N \times I$ , Т.Е. За величину непроизводительных потерь принимаем фрикционные потери в сцепке поезда. Тогда по аналогии с понятием КПД предложенный критерий для СУ поезда с локомотивом определится по выражению:

$$KЭЭ_{\text{Л}} = \frac{T_{\text{пол}}}{T_{\text{пол}} + T_{\text{ФР}}} = \frac{N}{N + (1 - \eta_{\text{сц}})T_{\text{Л}}} = \frac{1}{1 + (1 - \eta_{\text{сц}}) \frac{N+1}{2}} \quad (6)$$

Соответственно коэффициент энергетической эффективности СУ для поезда, скомплектованного из модулей:

$$KЭЭ_{\text{М}} = \frac{N}{N + (1 - \eta_{\text{сц}})T_{\text{М}}} = \frac{N}{N + (1 - \eta_{\text{сц}}) \frac{N}{n} Z} = \frac{1}{1 + (1 - \eta_{\text{сц}}) \frac{Z}{n}} \quad (7)$$

Формула (7) позволяет убедиться в том, что КПД КЦ модульного состава не зависит от количества вагонов в поезде.

В табл. 2 приведены результаты расчёта КЭЭ для различных вариантов комплектаций состава при условии  $\eta_{\text{сц}} = 0,99$ .

Таблица 2. Зависимость коэффициента энергетической эффективности сцепного устройства

Варианты комплектации состава	Поезд с локомотивом 60 вагонов	поезда от числа вагонов в модуле при $\eta_{\text{сц}} = 0,99$				
		2-х-вагонный модуль	3-х-вагонный модуль	4-х-вагонный модуль	5-ти-вагонный модуль	6-ти-вагонный модуль
КЭЭ	0,766	0,995	0,99	0,985	0,98	0,975

На первый взгляд, очевидно энергетическое преимущество двухвагонного модуля. Однако решение по выбору оптимального вида модуля может быть выполнено только на основе экономического обоснования с учетом технологии комплектования, энергоснабжения и обслуживания грузового поезда. Что потребует серьёзного комплексного исследования и обоснования с привлечением специалистов разного профиля.

#### Дополнительные преимущества модульной технологии

Бесспорное преимущество модульной схемы заключается в существенном повышении эксплуатационного КПД ЭУ поезда.

Любой локомотив имеет вполне определённую (конечную) установленную мощность, которая реализуется на 100% только при условии транспортирования большегрузного поезда, что в реальных условиях эксплуатации подвижного состава бывает далеко не всегда. Таким образом, зачастую энергетическая установка локомотива оказывается недогруженной, и пропорционально снижению нагрузки на локомотив уменьшается его эксплуатационный КПД, который достигает нулевого значения при холостом перегоне локомотива. При использовании же модульной схемы этот недостаток автоматически исключается, так как суммарная установленная мощность всех тяговых вагонов не является фиксированной величиной, а определяется прямо пропорционально количеству вагонов в составе. Таким образом, эксплуатационный КПД модульного состава независимо от его (состава) общей грузоподъемности стабильно остается равным единице.

Опять же по причине отсутствия фиксированной суммарной установленной мощности ЭУ модульного состава его (состав) можно комплектовать любой желаемой грузоподъемности. В энергетическом отношении суммарная мощность ЭУ поезда ограничивается только максимальной электрической мощностью контактной сети.

И еще. При формировании модульного супертяжеловесного состава исключается локомотив, имеющий массу до 300 т и создающий динамическую сосредоточенную нагрузку, разрушающую железнодорожные мосты, пути и окружающие строения!

Однако следует признать, что реализация моторвагонной схемы (рис. 2б) представляет значительную техническую сложность ввиду наличия большого числа потребителей электрической энергии в составе поезда. Тем не менее, моторвагонная схема получила развитие на пассажирских электропоездах, и накоплен огромный опыт по ее эксплуатации. В связи с этим, по мнению автора, все же не следует абсолютно категорично отвергать возможность применения в перспективе моторвагонной схемы для грузовых поездов. Однако на первом этапе внедрения модульной схемы грузовых перевозок представляется более рациональной комплектация модуля как самостоятельной секции с головной энергоустановкой (ГЭУ) в виде электровоза малой (или средней) мощности. Это позволит достаточно оперативно осуществить реализацию модульной технологии на основе существующего парка электровозов. Но при разработке секции

необходимо непременно соблюсти следующее требование: сила сцепления с полотном дороги и энергетические характеристики ГЭУ должны обеспечивать электродинамическое торможение модуля. Это может быть достигнуто путем подбора соответствующего параметрам ГЭУ количества вагонов. Тогда за счёт электродинамического торможения будет обеспечено преобразование кинетической энергии модуля (а соответственно и поезда в целом) в электрическую и рекуперация последней в контактную сеть постоянного тока.

#### **Преимущества тормозной системы модульного поезда**

В отличие от модульной схемы рекуперация кинетической энергии тяжеловесного состава в купе с головным локомотивом не может быть реализована в первую очередь ввиду недостаточности сил сцепления локомотива с железнодорожным полотном. Поэтому остановка традиционного грузового поезда производится исключительно за счёт механической системы торможения вагонов состава. В этом отношении хотелось бы обратить внимание разработчиков электрооборудования для энергообеспечения железных дорог [3] на то, что процесс торможения поезда в разы более скоротечен, чем процесс его разгона, а инерционные силы, как известно, определяются величиной ускорения. И простейшим расчетом можно показать, что силы инерции, возникающие при торможении супертяжелого поезда, многократно превышают силы сцепления головного локомотива с железнодорожным полотном, а значит, электродинамическое торможение в данном случае не может быть реализовано в принципе по законам физики.

Тормозить состав за счет головного локомотива нельзя и по условиям безопасности движения, так как при таком торможении (особенно при движении по кривой) поезд может потерять продольную устойчивость.

При использовании модульной схемы указанные недостатки полностью исключаются. Поскольку: во-первых, как было указано, при разработке модуля ставится цель четко увязать допустимую суммарную массу вагонов со сцепными свойствами энергетического блока; а во-вторых, при модульной схеме имеется возможность при торможении управлять процессом стабилизации продольной устойчивости не только отдельного модуля, но и поезда в целом. Для этой цели, видимо, рационально будет энергетический блок последнего модуля разместить ближе к хвостовой части состава. И именно с хвоста поезда начинать управляемый процесс электродинамического торможения!

Укажем, что супердлинный состав, ведомый головным локомотивом, реально имеет очень серьезную проблему при торможении по причине потери продольной устойчивости поезда. В результате чего существенно увеличивается тормозной путь и снижается производительность перевозочного процесса. В связи с этим разрабатываются специальные сложные системы управления тормозами (СУТП) (см. подробнее [4,5]).

Дело в том, что при прямом включении тормозной системы поезда непосредственно из головного локомотива, не происходит мгновенное падение давления сразу во всей тормозной магистрали поезда. Таким образом, сначала обеспечивается торможение локомотива и передних вагонов и только со значительным запаздыванием это происходит со средними и хвостовыми вагонами, инерционные силы которых «наваливаются» на тормоза локомотива и передних вагонов и возникает высокая вероятность разрыва и опрокидывания состава. Это явление сразу же проявилось на тяжеловесных поездах [4,5,6]. Поэтому для надежного и безопасного торможения на них стали устанавливать дополнительный локомотив с машинистом для управления тормозами!!!

#### **Уточненная методика оценки энергетической эффективности КЦ поезда**

Выше в качестве интегрального критерия был применен КЭЭ, который позволил использовать упрощённую (экспрессную) методику сопоставительного анализа и определить тенденции энергетической эффективности моторвагонной схемы формирования железнодорожного состава в сравнении с традиционной. Этот приближенный показатель вполне приемлем для анализа коротких КЦ, но при увеличении их длины достоверность КЭЭ существенно снижается. Представим более строгое доказательство зависимости, определяющей энергетические потери в сцепном устройстве поезда.

Экспериментальными и теоретическими исследованиями [2,7,8] установлено, что в последовательной кинематической цепи имеет место нелинейное нарастание фрикционных потерь. Эта нелинейность очень существенно проявляется при значительном увеличении длины КЦ. На рис.3 изображена схема, по которой можно понять, как изменяется соотношение между усилием тяги, обеспечивающим работу по транспортированию вагонов, и суммарным усилием тяги на локомотиве с учётом непроизводительных (фрикционных) потерь в сцепке.

Усилие тяги, необходимое для транспортирования N вагонов, будем считать показателем, определяющим полезную работу, выполняемую локомотивом:  $T_{пол} = N \times 1$ , Т.Е. Поэтому в расчётах принимаем условие:

$$T_{пол} = N \tag{8}$$

Суммарное тяговое усилие  $T_{\Sigma}$  на локомотиве определяется суммой усилий  $T_i$  на транспортирование каждого (i-го) вагона с учётом фрикционных потерь, возникающих в сцепном устройстве под действием этого (i-го) усилия при передаче его по данному элементу кинематической цепи. С учётом понятия  $T_i$ , принимая величину  $\eta_{сц}$  в качестве КПД сцепного устройства, запишем зависимость для определения суммарного тягового усилия на локомотиве:

$$T_{\Sigma} = T_1 + T_2 + T_3 + \dots + T_i + \dots + T_N = \frac{1}{\eta_{сц}} + \frac{1}{\eta_{сц}^2} + \frac{1}{\eta_{сц}^3} + \dots + \frac{1}{\eta_{сц}^i} + \dots + \frac{1}{\eta_{сц}^N} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{\eta_{сц}^i} \tag{9}$$

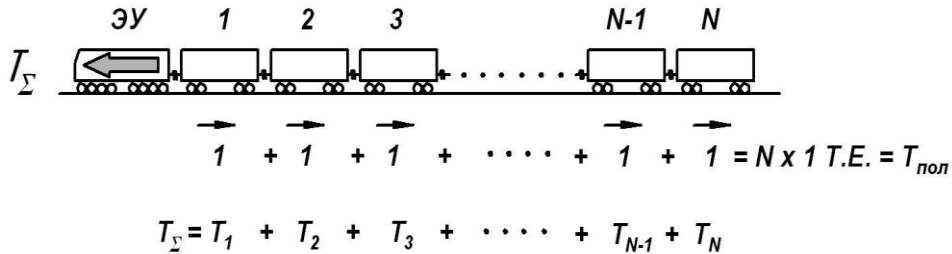


Рис. 3. К определению  $T_{пол}$  и  $T_{\Sigma}$

На основе зависимостей (8) и (9) определяем КПД сцепного устройства поезда

$$\eta_{л} = \frac{N}{T_{\Sigma}} = N / \sum_{i=1}^N \frac{1}{\eta_{сц}^i} \tag{10}$$

В табл. 3 и на рис. 4 приведены результаты энергетического расчёта сцепного устройства грузового поезда, проведённого на основе зависимостей (9), (10).

Таблица 3. Энергетические характеристики сцепного устройства грузового поезда при КПД  $\eta_{сц} = 0,99$

Количество вагонов в составе	5	10	20	30	40	50	60	Газотурбовоз ГТ1-001 170
Суммарное тяговое усилие, Т.Е.	5,15	10,57	22,26	35,19	49,48	65,29	82,76	452,1
КПД сцепного устройства	0,970	0,946	0,898	0,833	0,808	0,766	0,725	0,376

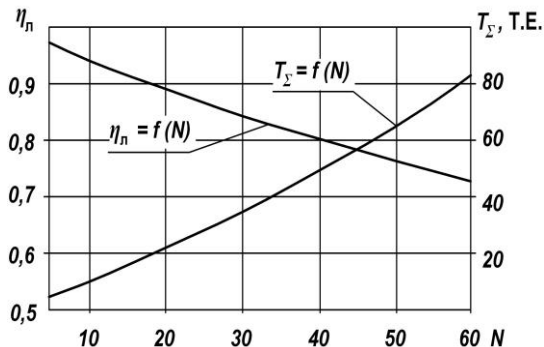


Рис. 4. Зависимости: КПД ( $\eta_{л}$ ) сцепного устройства поезда и тягового усилия ( $T_{\Sigma}$ ) на локомотиве от количества ( $N$ ) вагонов в составе

Рассматриваемая КЦ энергетически иррациональна: увеличение тягового усилия и, соответственно, количества транспортируемых вагонов, приводит к снижению КПД сцепного



устройства поезда. Следовательно, значительная часть энергии локомотива затрачивается на преодоление непроизводительных потерь в сцепном устройстве. Возникает парадокс: чем больше мощность энергетической установки, тем большее количество вагонов в составе требуется для реализации этой мощности и тем ниже становится энергетическая эффективность удлиняющейся КЦ.

#### **Ограничения использования супермощных локомотивов**

Допустим, что дальнейшее развитие тяжеловесных поездов будет продолжаться путем установки впереди состава локомотива все большей и большей мощности. В конечном итоге это неизбежно приведет не только к указанному выше снижению энергоэффективности грузовых поездов, но и к увеличению вероятности их растяжки и превышению допустимой величины сцепления колесных пар локомотива, а также и к элементарному обрыву сцепного устройства или деформации нижней рамы первых вагонов поезда, которые рассчитаны на вполне определенное значение растягивающих и ударных нагрузок. Развитие же тяжеловесных составов на основе модульной технологии, как мы определили, позволяет сохранить (или даже уменьшить!) тяговую нагрузку на сцепное устройство в пределах допустимых значений и появляется возможность комплектовать состав любой (желаемой) грузоподъемности, не вступая при этом в противоречие с законами физики, определяющими коэффициент сцепления колесной пары с рельсом, и не увеличивая осевую нагрузку, секционную мощность и массу локомотива - факторов, которые существенно понижают долговечность и надежность рельсовых путей.

И пока мы дискутируем по поводу целесообразности или абсурдности модульной технологии, австралийские железнодорожники уже используют супертяжеловесный модульный поезд, состоящий из 8-ми локомотивов, равномерно распределенных по длине состава (иными словами, применяют 8-м модулей), который состоит из 682 вагонов [9]! И это уже не фантазия, а реализованное техническое решение!

#### **Предварительная оценка энерго-экономической эффективности газотурбовоза ГТ1-001**

В настоящее время в России практически подготовлен к эксплуатации самый мощный в мире газотурбовоз ГТ1-001 (установленная мощность 8300 кВт) [10]. Энергетическая установка этого локомотива включает в себя газовую турбину, работающую на сжиженном природном газе (СПГ) и приводящую в действие электрогенератор, от которого электрическая энергия передается тяговым двигателям движителя локомотива. По экспериментальным исследованиям разработчиков ГТ1-001 обеспечивает тягу 170-ти вагонов. Однако согласно представленной выше методике расчетов, нельзя рассчитывать на высокую энергетическую эффективность такого поезда (см. табл. 3). К тому же при этом сохраняются и все отмеченные выше недостатки, связанные с эксплуатацией сверхмощного локомотива.

На разработку газотурбовоза уже затрачено несколько млрд. рублей и потребуется еще не мало государственных средств на создание, необходимой для его эксплуатации инфраструктуры. На газотурбовозе используется СПГ, разовая заправка которого обеспечивает запас хода поезда до 750 км. Следовательно, по всей магистрали, где будут использоваться газотурбовозы, необходимо установить заправочные станции. А это означает, что потребуется сеть газопроводов и соответствующее количество криогенных установок для сжижения природного газа, для чего необходимы стационарные достаточно мощные электростанции. Известно, что процесс многоступенчатого сжатия газа с последующим сжижением в криогенных установках весьма энергоемок. На эту процедуру затрачивается примерно 25% энергии, запасенной в самом сжиженном продукте. Соответственно настолько же дополнительно снижается и энергоэффективность грузоперевозок с использованием турбовозов. А теперь проанализируем данное техническое решение с позиции его экономической эффективности.

Итак, мы остановились на том, что обеспечили подачу природного газа к ж/д магистрали и установили около нее электростанцию. Но ведь стационарная электростанция вполне может работать на обычном (а не сжиженном) газе. Естественно, возникает вопрос: нужны ли в данной ситуации, мягко говоря, не очень эффективные газотурбовозы, требующие именно СПГ? Очевидно, что при наличии близи ж/д магистрали природного газа напрашивается с позиции энергетической и особенно экономической целесообразности другое гораздо более эффективное решение: 1) стационарная электростанция, минуя процесс сжижения газа (т.е. экономя 25 % его энергетического ресурса), вырабатывает электроэнергию; 2) этой электроэнергией запитывается обычная контактная сеть; 3) тягу поездов обеспечивают обычные электровозы, на которых отсутствуют: взрывоопасная емкость с СПГ, газовая турбина и генераторная установка, и эти электровозы соответственно в разы дешевле газотурбовозов; 4) применяется модульная схема комплектования подвижного состава, обеспечивающая энергоэффективное транспортирование

поездов любой грузоподъемности (в том числе и супертяжеловесных); 5) и наконец, обратимся к практике эксплуатации стационарных энергетических установок; электростанции около 10 МВт всегда используются в составе ТЭЦ; поскольку в лучшем случае только 40% от сгорающего топлива превращается в электроэнергию, а остальная (тепловая) энергия используется для обогрева жилых и производственных зданий... А газотурбовоз?? А газотурбовоз эту тепловую энергию будет выбрасывать как побочный продукт для «обогрева» бескрайних просторов Сибири!

Попутно отметим, что в настоящее время разработано немало технологий, обеспечивающих прямое преобразование тепловой энергии в электрическую. Это так называемые термоэлектропреобразователи (ТЭП) [11,12]. Следовательно, и в теплый период года электростанции до 40% процентов избыточного тепла могут превращать в электричество.

Необходимо отметить еще один весьма существенный недостаток газотурбовоза, который никак не следует сбрасывать со счетов – это его высокая опасность. В условиях динамических нагрузок возникает большая вероятность разгерметизации емкости со сжиженным газом и последующего взрыва образующейся при этом газозооной смеси. Не исключена также и аварийная ситуация по причине отказа АСУТ. Ведь поезд на тяге от турбовоза (в отличие от поезда модульного типа) не предполагается оборудовать дублирующей (ручной) системой торможения.

Запас СПГ на газотурбовозе составляет 17 т. При возгорании (взрыве) такого количества топлива выделяется приблизительно 1000 ГДж тепла, что сопоставимо с энергией газа, сгорающего при аварии на магистральном газопроводе.

#### Возможности использования поездов модульного типа на основе существующих электровозов

В настоящее время в развитие удачного опыта австралийских железнодорожников вполне реально приступить к практической реализации модульной схемы комплектования тяжеловесного подвижного состава на основе существующей базы локомотивов.

В России уже имеется небольшой опыт комплектования тяжеловесного состава с использованием спарки двух локомотивов, другими словами, применяют четырех-секционный электровоз. Разделив секции, мы имеем возможность составить поезд из четырех модулей.

Сначала определим энергетические характеристики энергоустановки локомотива, обеспечивающего тягу тяжеловесного поезда, составленного из 120 груженых вагонов, по традиционной схеме.

Суммарное тяговое усилие  $T_{\Sigma}$  головной энергоустановки:

$$T_{\Sigma} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{\eta_{\text{СЦ}}^i} = \sum_{i=1}^{120} \frac{1}{0,99^i} = 234,02, \text{ Т.Е.}$$

КПД сцепного устройства поезда с головным локомотивом:

$$\eta_{\text{Л}} = \frac{N}{T_{\Sigma}} = \frac{N}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{\eta_{\text{СЦ}}^i}} = \frac{120}{\sum_{i=1}^{120} \frac{1}{0,99^i}} = 0,51277$$

Тяговое усилие энергоустановки (ЭУ) одного модуля:

$$T_{\Sigma} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{\eta_{\text{СЦ}}^i} = \sum_{i=1}^{30} \frac{1}{0,99^i} = 35,19, \text{ Т.Е.}$$

Суммарное тяговое усилие ЭУ модульного поезда:  $T_{\Sigma\text{М}} = 4T_{\Sigma} = 140,76, \text{ Т.Е.}$

КПД сцепного устройства модуля (оно же равно и КПД модульного поезда):

$$\eta_{\text{М}} = \frac{N}{T_{\Sigma}} = \frac{N}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{\eta_{\text{СЦ}}^i}} = \frac{30}{\sum_{i=1}^{30} \frac{1}{0,99^i}} = 0,85252$$

Согласно выполненному расчету энергетический выигрыш во втором варианте комплектования поезда при заданном КПД СУ составляет около 40%.

Как видим, данный метод исследований обладает достаточно высокой чувствительностью. Даже при наличии фрикционных потерь в СУ существенно менее одного процента (что вполне возможно) их удастся зафиксировать по изменению величины потребляемой из сети электрической мощности и на основании этого изменения (определенного в процентном

соотношении) высчитать реальную величину  $\eta_{сц}$ .

#### Выводы

- Очевидно, что существующая тенденция развития производительности грузовых железнодорожных перевозок за счет использования локомотивов увеличенной секционной мощности с повышенными осевыми нагрузками имеет ограниченные перспективы и не обеспечит решение проблемы принципиального повышения эффективности перевозочного процесса.

- Рекорд австралийских железнодорожников достаточно четко подтверждает адекватность представленных теоретических зависимостей, определяющих эффективность применения модульной схемы комплектования грузового ж/д поезда.

- На данный момент созрела настоятельная потребность в проведении натуральных экспериментальных исследования в направлении количественной оценки эффективности модульной технологии комплектования грузовых поездов.

#### Список литературы:

1. Правила тяговых расчетов для поездной работы.- М.: Транспорт.- 1985.- 287 с.
2. Александров, И.К. Энергетический анализ механизмов и машин. Теоретическое и экспериментальное обоснование принципов исследования и определения энергетических потерь в механизмах и машинах: монография / И.К. Александров.- Вологда: ВоГТУ, 2012.-244 с.
3. Мизинцев, А.В. Использование энергии торможения поезда как способ экономии ресурсов на железной дороге постоянного тока / А.В. Мизинцев, А.В. Ковтун // Наука и транспорт. 2012.№3. С.34-35.
4. Гончаров А.В. Система управления тормозами поезда (СУТП): методическая разработка/ А.В. Гончаров. - Кулуда: Алтайское отд. Западно-Сибирского филиала ОАО «РЖД», 2009.-28 с.
5. Гапанович В.А. и др. Система управления тормозами поезда повышенного веса и длины. Патент РФ №2385247. МПК: В61L 25/04, публ. 27.03.2010, приоритет 23.10.2008.
6. Курбасов, А.С. Тяжеловесное движение грузовых поездов на российских железных дорогах: за и против / А.С. Курбасов // Наука и транспорт. 2012.№3. С.15-17.
7. Александров, И.К. Энергетическая неэффективность разветвлённых кинематических цепей/ И.К. Александров //Вестник машиностроения.-2010.-№4.-С.20-28.
8. Aleksandrov I.K. Energy Inefficiency of Branched Kinematic Chains // ISSN 1068-798X, Russian Engineering Research, 2010, Vol. 30, No4, pp. 335-342.
9. Самый длинный поезд в мире. Австралия, 2001. Книга рекордов Гиннеса [Электронный ресурс]. URL: <http://rekordy-ginnesa>.
10. Газотурбовоз ГТ1-001. URL: <http://venture-biz.ru>
11. Патент №2378742 С1 РФ. Устройство для получения электрической энергии постоянного тока / И.К. Александров, Е.В. Несговоров, В.А. Раков – Заявлен 17.11.2008; опубл. 10.01.2010, Б.И. №1.
12. Александров, И.К. Новый высокоэффективный вид источника энергии для электромобилей / И.К. Александров, В.А. Раков // Транспорт на альтернативном топливе.- 2011.-№6(24).- С.58-60.

#### Эксплуатация и техническое обслуживание корабельных электрических сетей и распределительных устройств

*Алферьев И.С., Федюк Р.С., Мочалов А.В.*

*Дальневосточный федеральный университет, Россия, г. Владивосток*

Согласно [1], электроэнергетической системой корабля называется комплекс электрических установок, электрических сетей и электротехнических устройств, объединенных процессом производства, преобразования и распределения электроэнергии, предназначенный для обеспечения электроэнергией корабельных потребителей.

Нарушение правил технической эксплуатации, техники безопасности при обслуживании электрооборудования судовых сетей может привести к поражению обслуживающего персонала электрическим током и пожару на судне.

Надежность, безопасность, экономичность электрических сетей зависят от исправности их токопроводящих жил и состояния электроизоляции [2].

В процессе эксплуатации судовых электрических сетей необходимо периодически проверять состояние кабельной сети, особенно в местах, где они подвергаются воздействиям влаги, температуры и механическим усилиям. Основным показателем состояния кабельной сети. В судовых электрических сетях в зависимости от назначения, места прокладки и условий работы электрооборудования применяются кабели и провода разных марок.

Судовые кабели и провода, применяемые на судах, должны сохранять высокие изоляционные качества при повышенной влажности, обеспечивать механическую прочность при трясках, вибрациях и ударных сотрясениях и стойкость изоляции при воздействии нефтепродуктов, масла и соленой воды и действия окружающей температуры до +50° С. По условиям прокладки в судовых помещениях кабель должен выдерживать многократные резкие изгибы и значительные механические воздействия.

Токопроводящие жилы кабеля выполняются из ряда тонких проволок, которые обеспечивают механическую прочность и гибкость. Токопроводящие жилы кабеля имеют изоляцию, состоящую из теплостойкой натуральной и синтетической резины, которая допускает длительный нагрев до 65° С и обеспечивает высокое электрическое сопротивление изоляции. Защита изоляционных оболочек кабеля от попадания влаги, механических повреждений обеспечивается защитными оболочками из прочной негорючей и маслостойкой резины, свинца и оплетки из хлопчатобумажной ткани.

При срочном ремонте в условиях эксплуатации судна рекомендуется токоведущие жилы кабеля соединять способом холодной опрессовки в медных калиброванных муфтах с последующей вулканизацией резиновой изоляции защитной оболочки [3].

Защитные резиновые оболочки покрываются стальными или медными оплетками, которые защищают кабель от механических повреждений, а медная оплетка одновременно служит экраном от помех радиоприему.

Судовые кабели и провода, применяемые в силовых и осветительных сетях, допускают напряжение до 700В для переменного тока и 1000В — для постоянного.

Для неподвижных прокладок в этих сетях применяют кабели марок КНР, КНРП, СРМ, КНРЭ, для прокладки к подвижным токоприемникам во внутренних помещениях — кабель РШМ, а на открытых местах — кабель НРШМ.

В сетях установок слабого тока применяются кабели КНРТ, КНРТМ и СРТМ и в качестве экранированных — кабели СРЭШ, КНРЭТ, КНРЭТМ и КНРТЭ.

В сетях и для монтажа распределительных устройств применяются провода марки РМ и РГМ.

Марки судовых кабелей расшифровываются следующим образом: К — кабель, Н — негорючий, Р — резиновый, П — панцирный в стальной оплетке, Э — экранированный в панцирной медной оплетке (буква Э в середине указывает на экранирование отдельных жил, а справа в конце — на экранирование всего кабеля), Т — телефонный, Ш — шланговый, Г — гибкий, С — оцинкованный, М — морской.

В судовых сетях применяются одножильные, двухжильные, трехжильные и многожильные кабели. При однофазном переменном и постоянном токах применяются одножильные и двухжильные кабели, а при трехфазном переменном токе — только трехжильные.

Для установок слабого тока в основном применяются многожильные кабели. При трехфазном переменном токе совместная прокладка одножильных кабелей вызывает сильный нагрев вихревыми токами металлических переборок и палуб в местах его прокладки.

На современных судах с увеличением степени электрооборудования судов соответственно увеличилось число и сечение кабелей судовых сетей, что требует значительной площади для их прокладки. Ограниченные возможности прокладки кабелей в судовых помещениях, а также необходимость ускорения монтажа кабельных сетей привели к выполнению многорядной пучковой прокладки кабеля в судовых помещениях.

Для прокладки и крепления пучков кабелей применяются подвески, называемые кассетами. Монтаж трасс кабелей в кассетах позволяет применить современную технологию прокладки кабеля от прибора к прибору без промежуточной бухтовки по всей длине кабельной трассы, а также облегчает и ускоряет крепление кабелей.

Кассеты нормализованы по типоразмерам в зависимости от числа, диаметров и рядности пучков кабельных трасс. Кассета приваривается лапками к корпусным конструкциям. Кассеты

могут устанавливаться горизонтально, наклонно, вертикально; при расположении пучков кабеля в несколько рядов допускается приварка кассеты к кассете.

При прокладке отдельных кабелей на судах также применяются скоб-мосты, перфорированные панели и скобы.

При монтаже кабелей судовых сетей особое внимание уделяется способам уплотнения кабеля в местах прохода их через водонепроницаемые переборки, определяющие живучесть судна при авариях. При пучковой прокладке кабеля уплотнение кабеля в водонепроницаемых переборках обеспечивается установкой кабельных уплотнительных коробок и групповых сальников. Уплотнение пучка кабелей трассы в групповых сальниках и коробках производится специальными уплотнительными массами, обеспечивающими водонепроницаемость.) является сопротивление изоляции. Обслуживающему персоналу необходимо систематически контролировать состояние изоляции судовой сети по установленным на главном распределительном щите омметрам и периодически проверять переносными мегомметрами сопротивление изоляции отдельных участков судовой сети, все результаты замеров вносить в вахтенный журнал.

При обнаружении участка электрической сети с пониженным сопротивлением изоляции необходимо этот участок отключить, установить причину и устранить.

Допустимые величины сопротивления изоляции участков судовой сети приведены ранее. Периодически проверять плотность контактных соединений элементов электрооборудования в местах подвода кабелей, а также состояние уплотнения кабельных трасс в кабельных коробках и отдельных кабелей в групповых и индивидуальных сальниках.

При обслуживании судовых сетей личный состав должен уделять особое внимание выполнению нижеуказанных основных мероприятий по пожарной безопасности:

- систематически проверять соответствие уставки автоматов, плавких вставок предохранителей запроектированной нагрузке и сечению кабеля участков судовой электрической сети (по проектной схеме судовой сети);

- проверять исправность всех дугогасительных средств электрических аппаратов и устройств;

- производить систематическую проверку плотности электрических контактов и соединения элементов электрооборудования, так как нарушение плотности контакта может вызвать образование искры.

Одно из основных средств защиты электротехнического персонала от поражения электричеством при обслуживании электрооборудования судовых сетей являются индивидуальные защитные средства и инструменты: диэлектрические перчатки, диэлектрические боты и калоши, диэлектрические коврики и маты, индикаторы напряжения.

При необходимости производить работы под напряжением следует пользоваться основными защитными средствами, диэлектрическими перчатками и ботами или диэлектрическими ковриками в сочетании с диэлектрическими перчатками.

Ремонтные и профилактические работы электрооборудования на судах нужно производить только после проверки индикатором отсутствия напряжения. Одновременно нужно отключить все аппараты, через которые может быть подано напряжение. При включении участков судовой сети под напряжение необходимо убедиться, что это не приведет к поражению током кого-либо из личного состава судна.

#### **Список литературы:**

1. Веселов Д.В., Кебко В.Д., Маслаков М.Д. Учебник электрика надводных кораблей. – М.: Военное издательство, 1986. – 280 с.
2. Полянский В.Ф., Попов А.В. Электрооборудование судов и предприятий. – М.: Транспорт, 1989. – 352 с.
3. Правила эксплуатации судового электрооборудования. – Л, 1972. – 263 с.

#### **Солнечная электростанция**

*Аржанов К.В.*

*Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Россия, г.Томск  
rbhx@yandex.ru*

Создание новых солнечных электростанций определяется использованием солнечных батарей с улучшенными технико-экономическими показателями и реализацией автоматического

наведения солнечных батарей на Солнце. Наведение солнечных батарей на Солнце позволяет повысить энергетическую эффективность солнечных электростанций не менее чем на 30 %. На рис. 1 приведена фотография разработанной солнечной электростанции с автоматическим наведением установки на Солнце [1].

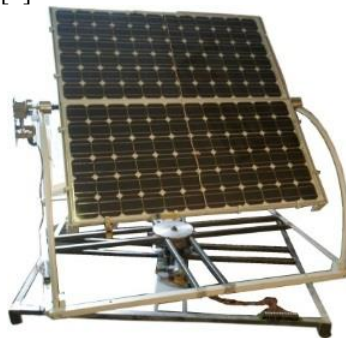


Рис. 1. Фотография солнечной электростанции

На рис. 2 приведена функциональная схема солнечной электростанции, где СБ – солнечная батарея; АБ1, АБ2 – аккумуляторные батареи; КЗАБ – контроллер заряда АБ; И – инвертор; М1, М2 – шаговые двигатели; Р1, Р2 – редукторы; ДШД1, ДШД2 – драйверы управления шаговыми двигателями; ДПС1, ДПС2 – датчики положения Солнца; КНС – контроллер наведения на Солнце; КВ1–КВ4 – конечные выключатели, GPRS–модуль связи по каналу GPRS. В установке используется инвертор с синусоидальным выходом типа TS 2500-224 и два последовательно соединенных аккумулятора типа TUDORT12V 155FT. Используются два одинаковых датчика положения Солнца, каждый состоит из трех одинаковых фотоэлементов, два из которых стоят наклонно друг к другу, а третий соединяет их снизу. Контроллер наведения на Солнце состоит из микроконтроллера STM32-F103, преобразователя постоянного напряжения, шести операционных усилителей, узла, обеспечивающего связь по протоколу RS 485 с внешним компьютером через конвертор (I-7561). Микроконтроллер выдает на вход драйверов шагового двигателя (DM356M) следующие сигналы: направление вращения шаговых двигателей по азимуту (сигнал DR1) и по углу места (сигнал DR2), количество импульсов, которое необходимо отработать драйверами (шаговыми двигателями) по азимуту (сигнал UP1) и по углу места (сигнал UP2), сигналы включения драйверов по азимуту (MF1) и углу места (MF2), сигналы задания амплитуды тока шагового двигателя (ШД) по азимуту и углу места. Контроллер наведения на Солнце принимает сигналы с четырех конечных выключателей (КВ1–КВ4): X1, Y1 и X2, Y2 – начальные и конечные положения рамы по координате X (азимуту) и Y (по углу места) и сигналы готовности драйверов (DIR1 и DIR2).

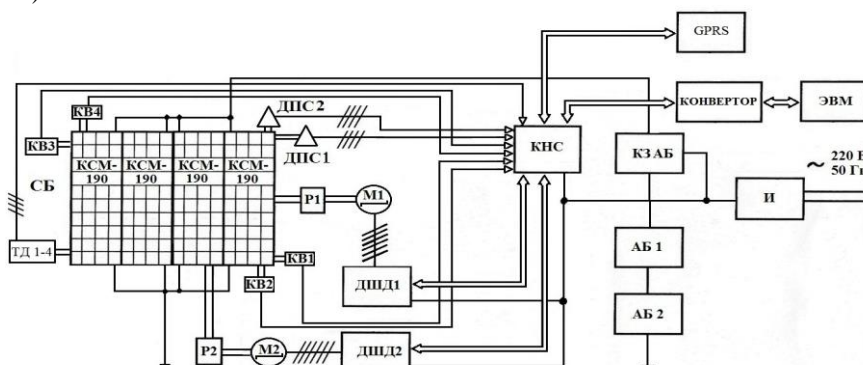


Рис. 2. Функциональная схема

Автоматическое наведение рамы на Солнце осуществляется при помощи шаговых приводов. Необходимость перемещения рамы оценивается с помощью фотоэлектрических датчиков положения Солнца. Если правый и левый фотоэлемент датчика выдают одинаковый ток, то перемещать раму с СБ не требуется, а если есть отличие, то необходимо перемещение в таком направлении, чтобы скомпенсировать эту разницу по току. Если три фотоэлемента у датчика показывают одинаковый ток, то фотодатчик (и соответственно СБ) находится в тени и перемещение рамы производить не требуется. Если тыловой фотоэлемент выдает самый больший

ток, то Солнце светит с обратной стороны рамы и необходимо развернуть раму в направлении Солнца. В таблице 1 приведен принцип наведения СБ на Солнце. Перемещения происходят дискретно через 3 градуса по обеим координатам, пока не выровняются сигналы в обеих плоскостях в каждом фотодатчике.

Таблица 1. Принцип наведения СБ на Солнце

Наведение по координате X	Направление перемещения рамы
$I_A - I_B \geq 0,05I_A$	Влево
$I_A - I_B \leq -0,05I_A$	Вправо
$-0,05I_A \leq I_A - I_B \leq 0,05I_A$	Нет перемещения
$I_A = I_B = I_C$	Нет перемещения (СБ в тени)
$I_C > I_B, I_C > I_A$	Перемещение в начальное положение
Наведение по координате Y	Направление перемещения рамы
$I_D - I_E \geq 0,05I_D$	Вверх
$I_D - I_E \leq -0,05I_D$	Вниз
$-0,05I_D \leq I_D - I_E \leq 0,05I_D$	Нет перемещения
$I_D = I_E = I_F$	Нет перемещения (СБ в тени)
$I_F > I_E, I_F > I_D$	Перемещение в начальное положение

Примечание:  $I_A, I_D$  и  $I_B, I_E$  – токи в правой и левой частях датчиков;  $I_C, I_F$  – в тыловой части датчиков.

Погрешность между сигналами в наклонных плоскостях фотоэлементов датчика, при которой необходимо проводить перемещение по координатам, составляет 5 % от средней величины токов в обеих плоскостях датчика положения Солнца (эта величина может устанавливаться в контроллере).

Для уменьшения рывков и качаний при перемещении рамы с СБ в программном обеспечении контроллера заложен режим позиционирования, то есть в электроприводе идет ограничение по скорости и ускорению при перемещении рамы с СБ от одного положения к другому. При этом реализован несимметричный специальный режим разгона, движения и торможения [2]. На рис. 3 показана диаграмма режима позиционирования в электроприводе. Несимметричный режим позиционирования совмещен с нелинейным заданием амплитуды тока ШД, то есть амплитуда тока ШД меняется во время движения. Это необходимо делать для

минимизации потребляемого тока ШД. При пуске ШД с механизмом необходимо преодолеть нелинейный момент сухого трения. В этом режиме целесообразно увеличить амплитуду тока ШД (пусковой ток увеличить до 1,5 кратного от номинального тока), после преодоления начального момента сухого трения можно снизить амплитуду тока ШД (рабочий ток уменьшить до 0,75 от номинального тока).

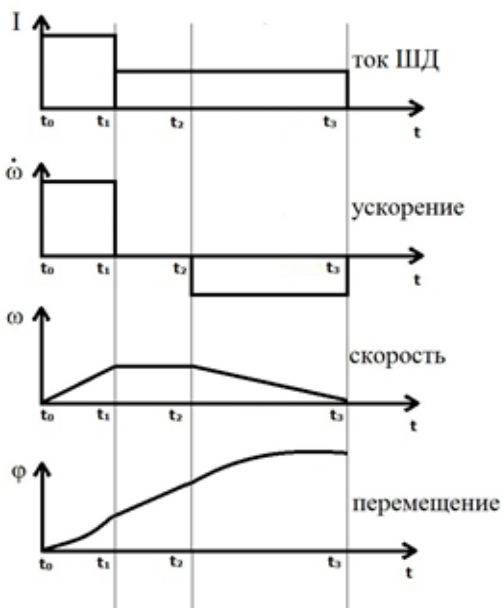


Рис. 3 График режима позиционирования

Это позволяет исключить сбои при пуске ШД и в целом уменьшить потребление тока двигателем во время микроцикла наведения. Увеличенный пусковой ток в ШД целесообразно делать в режиме позиционирования при положительном значении ускорения.

Полученные результаты экспериментальных исследований на

установке показали следующее: слежение механической рамы с СБ за Солнцем целесообразно проводить непрерывно-дискретно (с дискретностью в 3 градуса, как по азимуту, так и по углу места,) исходя из требований обеспечения заданной точности наведения на Солнце и минимального потребления электрической энергии шаговыми электроприводами; при завершении микроцикла наведения рамы с СБ на Солнце необходимо выключать драйверы ШД, чтобы исключить потребление энергии ШД; при перемещении механической рамы с СБ необходимо организовывать режим позиционирования, при этом целесообразно проводить перемещение с максимальной скоростью вращения ШД на уровне 4000 Гц, с введением ограничения по ускорению и торможению на уровне 3000 шаг/сек<sup>2</sup>. Это позволяет существенно сократить потребление электрической энергии шаговыми электроприводами при наведении солнечной электростанции на Солнце.

Разработанная солнечная электростанция располагается на крыше одного из учебных корпусов ТУСУР.

#### Список литературы:

1. Солнечное фотоэлектрическое устройство: пат. № 128781 U1 Рос. Федерация. № 2012153448; заявл. 11.12.12; опубл. 27.05.2013 в бюл. № 15; ил.
2. Аржанов В.В., Шурыгин Ю.А., Шиняков Ю.А., Аржанов К.В.
3. Минимизация энергопотребления электроприводами в фотоэлектрической энергетической установке // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т.322. – №4. – С.146-150.

#### Возможности измерений стандартизованных параметров высоковольтных изоляторов при обслуживании энергетического оборудования по состоянию

*Багнюк М.Ю., Баранов В.А.*

*Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза*

*[baranov\\_va2202@mail.ru](mailto:baranov_va2202@mail.ru)*

Основным направлением повышения надежности и экономической эффективности функционирования высоковольтных электрических сетей является переход от технического обслуживания электрооборудования по наработке к техническому обслуживанию по состоянию. Одной из проблем, возникающих при этом переходе, является необходимость контроля электроизоляционных конструкций оборудования в системах электроснабжения с напряжением свыше 1 кВ под рабочим напряжением, т.е. непосредственно в процессе эксплуатации.

В настоящее время контроль высоковольтных электроизоляторов изоляторов многофазных электрических сетей под рабочим напряжением рекомендуется проводить неравновесно-компенсационным методом [1]. Метод распространяется на оборудование с бумажно-масляной изоляцией конденсаторного типа (вводы и трансформаторы тока с номинальным напряжением 110 кВ и более). Контроль производится путем измерения тока, протекающего через изоляцию объекта при рабочем напряжении на нем. Контролируемыми параметрами являются относительное изменение модуля комплексной проводимости, изменение тангенса угла диэлектрических потерь, относительное изменение емкости изолятора.

Контроль изоляторов основан на измерении напряжения, создаваемого на опорном резисторе суммой токов, протекающих через изоляционные конструкции фаз сети трехфазного напряжения с соответствующими комплексными сопротивлениями и фазные резисторы. При равенстве токов исправных объектов контроля и симметрии фазных напряжений сети сумма близка к нулю. Возникновение дефекта в изоляции одной из фаз вызывает увеличение тока через нее. Соответственно, увеличивается суммарный ток, пропорциональный изменению модуля комплексной проводимости дефектной изоляционной конструкции. Вероятность одновременного и одинакового изменения значений контролируемых параметров всех трех фазных изоляций объекта считается достаточно малой, чтобы неравновесно-компенсационный метод мог применяться для целей эксплуатационного контроля изоляторов.

Недостатки неравновесно-компенсационного метода контроля:

- ограниченность области применения многофазными электрическими сетями;
- необходимость вывода оборудования из эксплуатации при неравноесии фазных токов и измерений мостом переменного тока стандартных параметров всех фазных изоляторов для выявления дефектного;
- невозможность измерения параметров изоляторов, установленных стандартом [2].



Устранение перечисленных недостатков возможно путем реализации способа измерения составляющих комплексного сопротивления двухполюсника [3].

Предлагаемый способ измерения стандартных нормируемых параметров изолятора реализуется путем подключения к существующему средству контроля неравновесно-компенсационным методом коммутируемых ключами SA1 и SA2 опорных двухполюсников с сопротивлениями  $\dot{Z}_{02}$  и  $\dot{Z}_{03}$ , аналого-цифрового преобразователя напряжения АЦПН и блока управления и вычислений БУВ. Схема подключения устройства для измерения составляющих комплексного сопротивления изолятора и рабочего напряжения фазы А к средству контроля изоляторов с комплексными сопротивлениями  $\dot{Z}_A$ ,  $\dot{Z}_B$ ,  $\dot{Z}_C$  трехфазной сети неравновесно - компенсационным методом представлена на рис. 1. Аналогичные измерительные устройства должны быть подключены и к другим фазным резисторам.

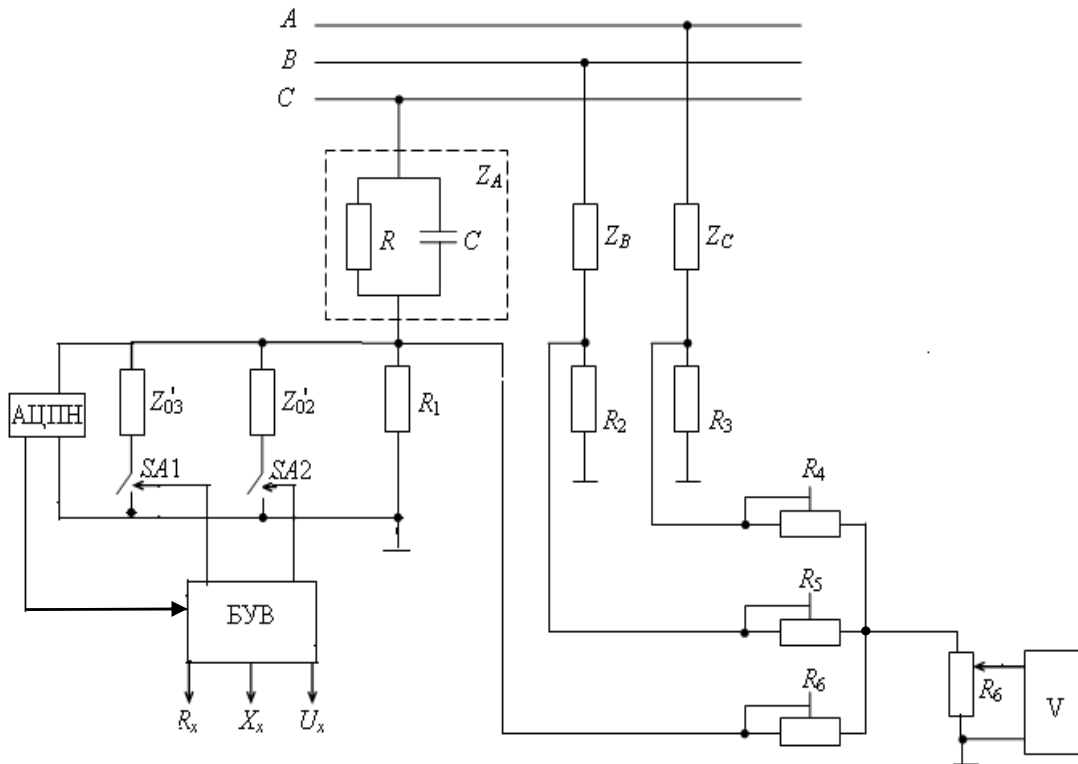


Рис. 1 Схема подключения устройства для измерения составляющих комплексного сопротивления изолятора и рабочего напряжения фазы А к средству контроля изоляторов трехфазной сети неравновесно - компенсационным методом

Измерение составляющих комплексного сопротивления осуществляется в три такта, отличающихся комплексным сопротивлением опорного двухполюсника, напряжение на котором измеряется с использованием АЦПН. Изменение комплексного сопротивления происходит за счет изменения состояния ключей SA1 и SA2. По трем значениям амплитуды напряжения БУВ вычисляет значения составляющих комплексного сопротивления.

Применение данного устройства в системах технического обслуживания энергетических систем по состоянию сдерживается необходимостью введения в существующие средства контроля изоляторов неравновесно - компенсационным методом устройств коммутации и дополнительных мер емкости и активного сопротивления.

Измерение стандартных параметров изоляторов без изменения схемы устройства, реализующего неравновесно-компенсационный метод контроля, возможно за счет использования несинусоидальности рабочего напряжения путем применения метода Прони [4] при наличии средства измерений мгновенных значений рабочего напряжения.

Несинусоидальность напряжения нормируется коэффициентом искажения синусоидальности кривой напряжения и коэффициентами гармонических составляющих напряжения. Требования к предельным отклонениям этих параметров рабочего напряжения от номинальных значений по ГОСТ 721-77 в системах электроснабжения общего назначения установлены ГОСТ 13109 - 97 и представлены в таблице.

Нормально допустимые значения коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения составляют от 5 % (6-20 кВ) до 2 % (110-330 кВ), соответствующие предельно допустимые значения – от 3 % до 12 %.

Нормально допустимые значения коэффициента  $n$ -ой гармонической составляющей напряжения в зависимости от четности и номера гармоники установлены в диапазоне (0,2 – 6,0) %, а предельно допустимые – в 1,5 раза больше. Возможности аналого-цифровых преобразователей и вычислительных устройств современных процессорных средств измерений позволяют осуществлять спектральный анализ сигналов при таком соотношении амплитуд гармоник.

Таблица Показатели качества рабочего напряжения систем электроснабжения общего назначения

	Показатель качества	Номинальн. значение	Норма	
			Нормально допустимая	Предельно допустимая
1	Установившееся отклонение напряжения от номинального значения напряжения электрической сети	По ГОСТ 721-77	± 5 %	±10 %
2	Отклонение частоты напряжения переменного тока	50 Гц	±0,2 Гц	± 0,4 Гц
По ГОСТ 13109 - 97				
3	Коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения	-	2 – 8 %	3 - 12%
4	Коэффициент $n$ -ой гармонической составляющей напряжения, $n \leq 25$	-	0,2 – 6,0 %	0,3 – 9,0 %

Способ измерения стандартных параметров электроизолятора под рабочим напряжением на основе спектрального анализа методом наименьших квадратов Прони состоит в следующем.

Формируются выборки мгновенных значений рабочего напряжения  $U_S$  и напряжения  $U_0$  на опорном двухполюснике  $R_1$ . На следующем шаге выборки подвергаются процедуре Прони. Результатом применения процедуры являются амплитуда, частота, начальная фаза и затухание двух гармоник рабочего напряжения с частотами  $\omega_1$  и  $\omega_2$ .

Полученные в результате применения процедуры значения амплитуды первой и второй гармоник  $U_0(\omega_1)$  и  $U_0(\omega_2)$  используются для определения коэффициента деления делителя, образованного изолятором и опорным резистором, Коэффициент деления напряжения первой гармоники  $K(\omega_1)$  и коэффициент деления напряжения второй гармоники  $K(\omega_2)$  определяются, соответственно, уравнениями

$$K(\omega_1) = \sqrt{\frac{R_1(R + R_1)^2 + (R_1/(\omega_1 C))^2}{((R + R_1)^2 + (1/\omega_1 C)^2)^2}} = \frac{U_S(\omega_1)}{U_0(\omega_1)}$$

$$\text{и} \quad K(\omega_2) = \sqrt{\frac{R_1(R + R_1)^2 + (R_1/(\omega_2 C))^2}{((R + R_1)^2 + (1/\omega_2 C)^2)^2}} = \frac{U_S(\omega_2)}{U_0(\omega_2)}.$$

Система этих уравнений решается относительно стандартных параметров изолятора: активного сопротивления  $R$  и емкости  $C$ .

Вывод. Измерение стандартных параметров высоковольтного изолятора по рабочим напряжением на базе устройства контроля неравновесно – компенсационным методом возможно двумя способами: на основе делителя напряжения с тремя состояниями и на основе обработки измерительных сигналов методом наименьших квадратов Прони.

**Список литературы:**

1. Методические указания по контролю электрооборудования под рабочим напряжением РАО «ЕЭС России» - М. 1996 – 16 с.
2. ГОСТ 30141–96 Измерители электрической емкости, активного сопротивления и тангенса угла потерь высоковольтные. Общие технические условия
3. Способ измерения составляющих комплексного сопротивления двухполюсника и напряжения на нем: пат. 2214609 Рос. Федерация, № 20001124545/09, заявл. 4.09.01, опубл. 20.10.2003, Бюл. №4. – 7 с.
4. Марпл.-мл. С. Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения: Пер. с англ. – М.: Мир, 1990. – 584с.

**Исследование метода фазного управления с целью повышения динамической устойчивости microgrid систем**

**Балабанюк О.Д.**

*Новосибирский государственный технический университет, Россия, г. Новосибирск*

[olga.balabanyuk@mail.ru](mailto:olga.balabanyuk@mail.ru)

В последние несколько лет в России наблюдается растущий интерес к такому направлению электроэнергетики как Smart grid (от англ. «умная сеть», «умная энергетическая система»), которая получила название Интеллектуальной электроэнергетической системы с активно-адаптивной сетью (ИЭС ААС).[1]Её характеризуют следующие признаки:

- наличие необходимых исполнительных органов и механизмов, позволяющих в режиме реального времени изменять параметры и характеристики сети в зависимости от режимов работы энергосистемы, а также взаимодействовать со смежными энергетическими объектами;
- наличие средств измерений текущих режимных параметров - системы сбора и обработки данных (программно-аппаратные комплексы), а так же средств автоматической оценки текущей ситуации и построения прогнозов работы сети;
- высокое быстродействие управляющей системы и информационного обмена.[2]

Такая энергосистема обладает большими возможностями для управления и способна оказаться существенно более эффективной в работе по ряду показателей, по сравнению с традиционной (наблюдаемость, управляемость, надежность, минимизация потерь). Однако процесс перехода к ней сопряжен с рядом изменений: в способе построения сети - распределенная генерация, использовании возобновляемых источников энергии, параметров и состава используемого оборудования: накопителей энергии, сетевой силовой электроники (класса FACTS), системы распределенного мониторинга параметров режима (класса СМРР, WAMS), управляемой нагрузки, продвинутых измерительных систем и т.д.

Одной из важных особенностей Smart grid является возможность подразделяться на ряд менее крупных, локальных, автономных энергосистем – Micro grid. Способность Micro grid систем переходить из режима, в котором они работают параллельно с системой, в режим автономной работы в аварийных ситуациях, а так же производить обратную синхронизацию с Smart grid в автоматическом режиме, является одной из наиболее актуальных их свойств. А обеспечение этой способности – задача, для решения которой требуются тщательно продуманные средства управления, поэтому изучение динамики Micro Grid и похожей на них распределенной системы источников представляет большой интерес.

Среди сфер применения Micro grid сетей можно отметить аварийные службы, медицинские учреждения, военные базы, в отдельных случаях - существующую параллельную работу дизель -генераторов с промышленной электросетью.

Однако не все параметры электрической сети возможно беспрепятственно «децентрализовать», иными словами существуют определённые трудности по переключению автономной системы из состава Smart grid в Micro grid, и обратно. Например, такой параметр как частота, является общесистемным, поэтому со стороны Системного Оператора осуществляется контроль её показателей, зависящих от сбалансированности процессов производства, передачи и потребления активной мощности во всей энергосистеме. Существование режима электрической

сети переменного тока возможно только при устойчивой одновременной параллельной работе в сети синхронных машин, как синхронных генераторов, так и двигателей. Конечно, не в отрыве от решения задачи устойчивости асинхронной нагрузки, которая в большей степени связана с управлением напряжения и реактивной мощности и проще поддается децентрализации. В простейшем случае системы Micro grid могут быть представлены как взаимосвязь генерации и нагрузки. Существуют такие режимы, в которых  $P_{нагр} < P_{ген}$ , например, в ночные часы, тогда Micro grid может выдавать мощность в систему Smart grid, именно тогда возникает вопрос о динамической устойчивости систем.

Впервые эксперименты по использованию регулирования фаз напряжений для сохранения динамической устойчивости системы были проведены в 30-ых, 40-ых годах. С появлением фазного регулятора в простейшей схеме зависимость мощности принимает следующий вид:  $P = f(\alpha, \delta)$ , где  $\alpha$  - угол фазового сдвига фазного регулятора.

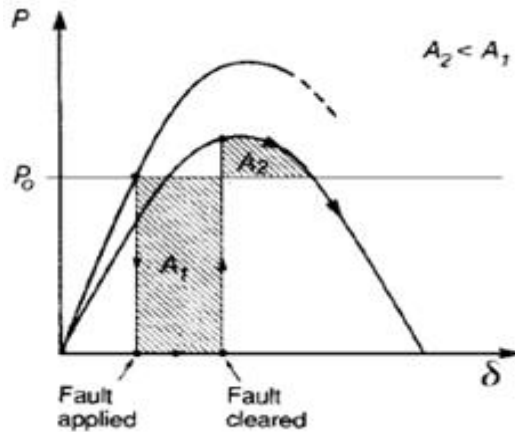


Рис.1. P-δ характеристика генератора в простой системе генератор-шины бесконечной мощности

Из Рис.1 видно, что устойчивость системы после сильного возмущения (например, короткого замыкания или отключения одной из параллельных линий) нарушается, так как площадь ускорения  $A_1$  больше площади торможения  $A_2$ .

При введении в схему фазный регулятор изменяет характеристику мощности от

$$P = \frac{U \cdot E}{X} \cdot \sin(\delta)$$

До

$$P = \frac{U \cdot E}{X} \cdot \sin(\delta \pm \alpha)$$

где

$U$  - напряжение на шинах;  $E$  - э.д.с. генератора;  $X$  - эквивалентное сопротивление между э.д.с. генератора и напряжением на шинах.

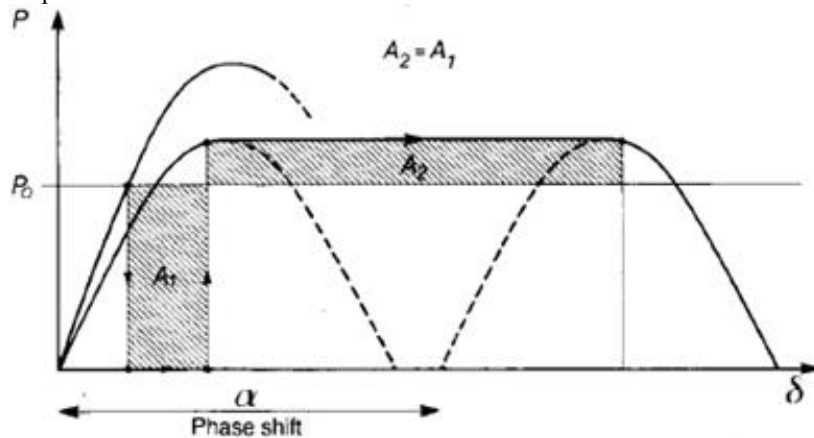


Рис.2. P-δ характеристика генератора в системе генератор-шины бесконечной мощности с применением фазного управления.

Из рисунка видно, что устойчивость системы сохранилась, так как площадь ускорения соответственно равна площади торможения,  $A1=A2$ , благодаря действию фазного регулятора-дополнительного сдвига угла [4]. Изменение угла сдвига фаз дает специальное фазосдвигающее устройство, включенное в линию электропередачи: фазы напряжений на выходе этого устройства не совпадают с фазами напряжений на его входе. В простейшем случае таким устройством может быть силовой трансформатор с коэффициентом трансформации, равным единице, и изменяемой (посредством переключения в нужный момент) схемой соединения обмоток, а так же устройства FACTS, позволяющие реализовывать дискретное фазное управление и достаточно быстро изменять фазы напряжений, например, частотный преобразователь.

Для исследования метода фазного управления был использован математический пакет программ Matlab Simulink, в котором реализована схема, составленная согласно уравнения движения ротора [4]:

$$d \frac{(\delta)^2}{dt^2} = \frac{P_T - P_d - P_{\sin \alpha}}{1 + (K_d)^2}$$

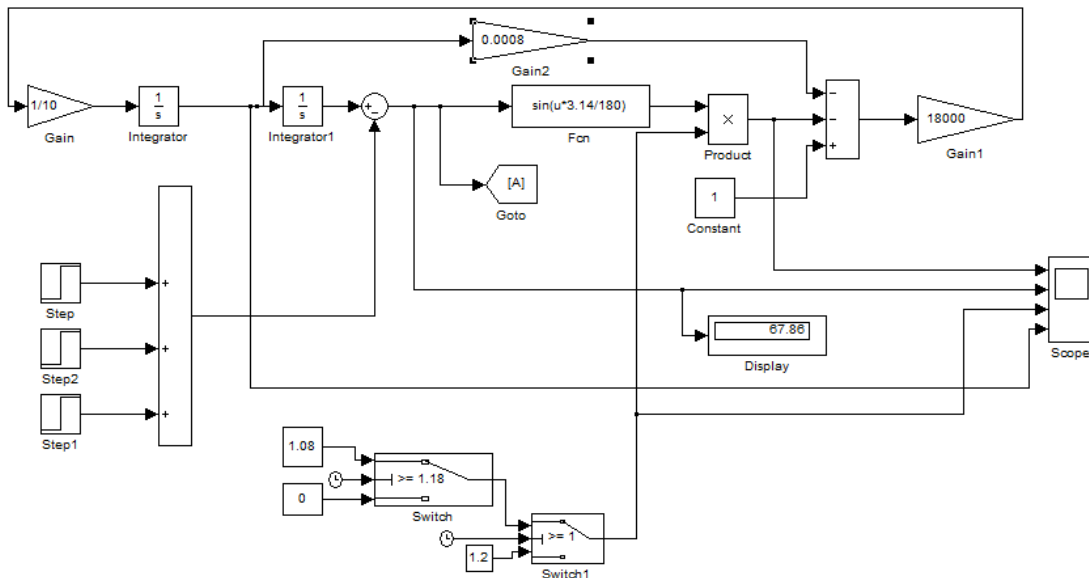


Рис.3. Исходная схема исследования динамической устойчивости синхронного генератора при помощи фазового управления

В данной схеме реализован метод дискретного фазного регулирования.

Основные параметры схемы:

$P_{doav}=1.2$  о.е. - максимальное значение мощности генератора до аварийного режима (с учётом  $K_3=20\%$ );

$P_{av}=0$  о.е. - максимальное значение мощности генератора аварийного режима;

$P_{p/a}=1.08$  о.е. - максимальное значение мощности генератора послеаварийного режима (с учётом  $K_{зав}=8\%$ );

$t_{апв}=0.5$  с - время перерыва питания или время аварии;

$K_d=0.0008$  - коэффициент демпфирования

$T_j=10$  с - постоянная механической инерции

$P_T=1$  о.е. - мощность турбины

Перерыв питания составляет  $t_{апв}=0.5$  с, что соответствует допустимому по условию релейной защиты перерыву питания для энергосистем 6-10 кВ, угол фазового сдвига  $\theta=44.38^\circ$ .

Из Рис.4 видно, что в данной случае реализован одиннадцатикратный фазовый сдвиг:  $\theta=46^\circ$  в момент времени  $t=1.25$  с,  $t=1.36$  с,  $t=1.445$ ,  $t=1.5$ ,  $t=1.59$ ,  $t=1.67$ ,  $t=1.77$ ,  $t=1.89$ ,  $t=2.05$ ,  $t=2.25$ ,  $t=2.61$ с. По виду графика изменения  $\delta(t)$ , а так же так как угол стремится к установившемуся значению  $\delta_{уст}=67,85^\circ$ , можно утверждать о сохранении динамической устойчивости системой. Максимальный перерыв питания с сохранением динамической устойчивости без фазного управления составил  $t_{апв}=0,08$ с.

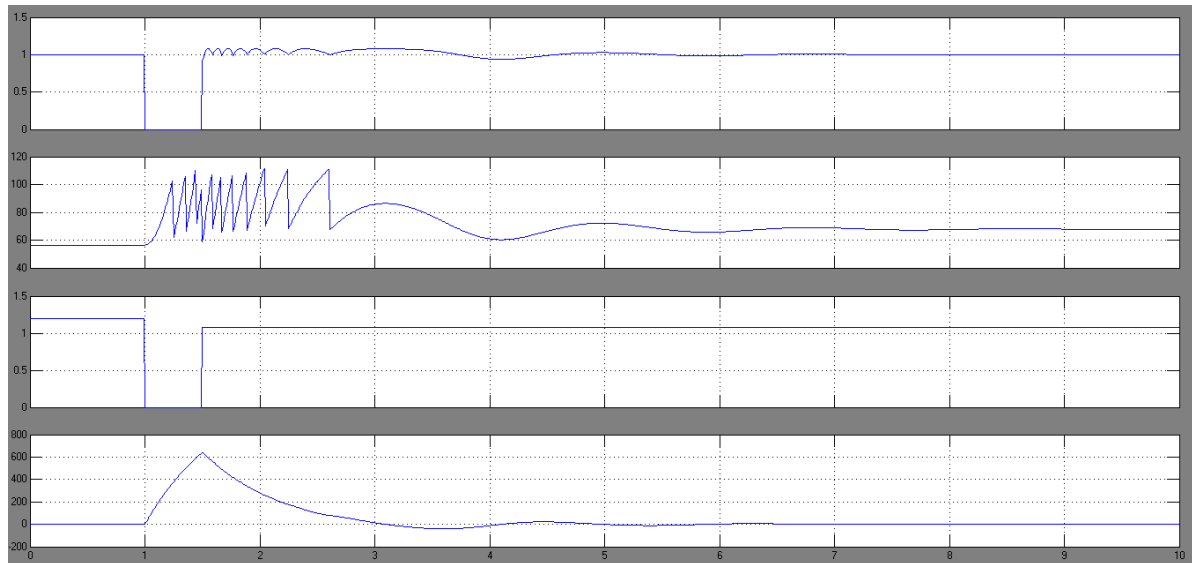


Рис.4.Графики изменения основных параметров генератора при перерыве питания 0.5 с и фазном управлении

#### Выводы:

1.Очень часто значение паузы АПВ является одним из важных факторов в предотвращении развития крупных аварий. Метод фазного управления способствует увеличению площади торможения зависимости  $P(\delta)$ , что, в свою очередь, позволяет увеличить паузу АПВ, согласно полученным данным до 0.5 с для сети 6-10 кВ.

2.Использование метода фазного управления позволяет повысить динамическую устойчивость системы.

3.Частотный преобразователь может быть использован в качестве средства реализации метода фазного управления.

#### Список литературы:

1. Энергоэксперт.- 2009.- № 4. – С. 15.
2. Дорофеев В.В., Макаров А.А. Активно-адаптивная сеть – новое качество ЕЭС России // <http://www.fsk-ees.ru>
3. Abdel-AtyEdris, Senior Member , IEEE, Abstract ‘Enhancement of first-swing stability using a high speed phase shifter’ from ‘Transactions on power systems’-р.6.
4. Веников В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах. Учебник для электроэнергетич. специальностей вузов. Изд. 3-е, переработ. И доп.- М.: «Выш.школа», 1978.

#### Оценка состояния маслонаполненного оборудования акустическим методом

**Батрак А.П., Чупак Т.М., Малеев А.В.**

*Сибирский федеральный университет, Россия, г. Красноярск*

[tatyana\\_chupak@mail.ru](mailto:tatyana_chupak@mail.ru)

Эффективность и экономичность работы электрических сетей во многом определяется надежностью работы высоковольтного оборудования. Постепенное его старение происходит во всех промышленно развитых странах. Повышение уровней напряжения и снижение запасов прочности в оборудовании последних поколений остро поставили вопрос оперативной оценки его состояния в режиме реального времени.

Совершенствование методов диагностики и анализа диагностической информации повышает объективность оценки технического состояния высоковольтного маслонаполненного оборудования, что позволяет планировать и проводить своевременное техническое обслуживания, повышает надёжность работы электрооборудования, продлевает его ресурс, экономит средства, снижает ущерб от недоотпуска электроэнергии [1].

Все существующие системы мониторинга (как позиционируют их на рынке фирмы производители) можно разбить на три основные группы:

- системы технологического и эксплуатационного мониторинга (системы диспетчерского и местного управления режимами работы энергетического оборудования), целью которых является реализация технологического назначения оборудования;

- системы автоматической защиты и блокировки для аварийного отключения и защиты, предназначенные для снижения ущерба от аварийных режимов работы;

- системы диагностического мониторинга, целью которых является предотвращение возможности возникновения аварийных режимов на энергетическом оборудовании. При помощи систем диагностического мониторинга решается задача эффективного управления эксплуатацией и ремонтом оборудования. В зарубежной литературе для них существует специальный термин «Life Management» - управление жизнью оборудования.

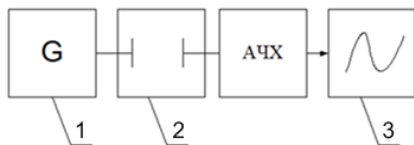
Системами управления технологическими режимами работы оборудования, и системами РЗА различного уровня в настоящее время оснащено практически все эксплуатируемое высоковольтное оборудование. Следующим шагом, повышающим надежность работы энергетического оборудования, активно реализуемым при создании современных «необслуживаемых энергетических предприятий», является внедрение систем диагностического мониторинга, позволяющих минимизировать затраты на обслуживание, и дистанционно управлять техническим состоянием, а также сроком жизни оборудования.

Стратегия «ремонт по техническому состоянию» основывается на использовании экспертных оценок, методов и технических средств диагностики, мониторинга и прогнозирования состояния электрооборудования [2].

Развитие дефекта маслонаполненного энергооборудования может характеризоваться одним или несколькими параметрами, позволяющими проследить динамику развития дефекта и идентифицировать аварийное (предаварийное) состояние единицы энергооборудования.

Одним из надёжных методов диагностики может стать акустический метод оценки состояния оборудования по эксплуатационным характеристикам жидкой изоляции.

Для эксперимента было взято трансформаторное масло и акустическим методом определялась увлажнённость и содержание целлюлозы.



Принципиальная схема предлагаемого способа диагностики представлена на рисунке 1.

Рис. 1. Принципиальная схема измерительной системы:  
1 – генератор белого шума; 2 – излучатель; 3 – измерительная система.

Схема реализована в среде MATLAB 7.

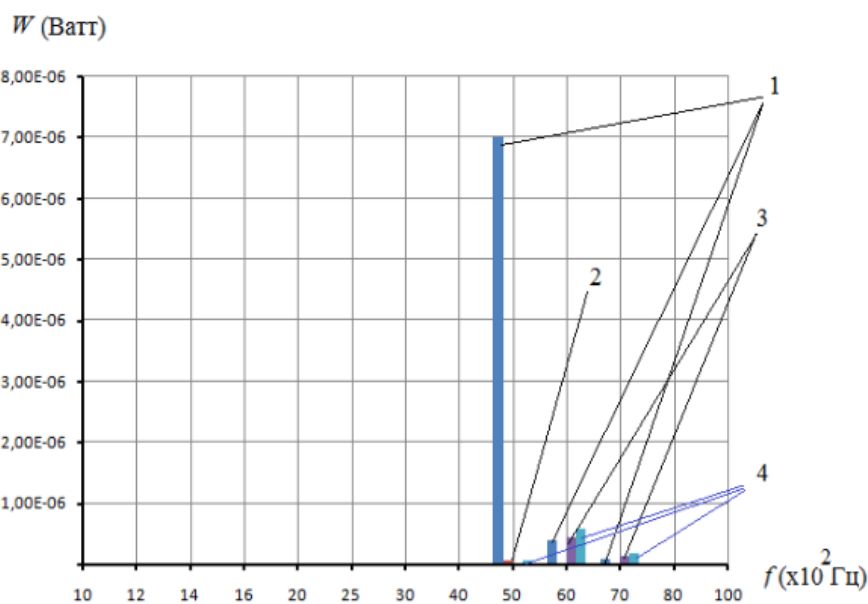


Рис. 2. Амплитудно-частотная характеристика трансформаторного масла в зависимости от содержания влаги:

1 – содержание влаги 0,355%; 2 – содержание влаги 0,224 %;  
3 – эталонное масло; 4 – содержание влаги 0,0994%.

С помощью предлагаемого способа проведен ряд опытов. В результате исследования выявлена высокая чувствительность метода к содержанию влаги и целлюлозы в трансформаторном масле.

За точку отсчёта взят образец свежего трансформаторного масла.

На рисунке 2 представлен совмещённый спектр для образцов, содержащих различное количество влаги.

Массовая доля влаги измерялась с помощью весов AD gf 400, абсолютная погрешность которых равна  $\pm 0,001$  г.

Показания средних для частоты 5000 Гц для образцов с содержанием влаги 0,3% в сравнении с эталонным образцом отличается в 200 раз по интенсивности.

Стандартная неопределённость показаний по интенсивности для выборки в десять контрольных точек образца с содержанием влаги 0,3% составила  $\pm 4,08 \cdot 10^{-7}$  Вт.

Основываясь на исследованиях, можно предположить, что частота 5000 Гц в акустическом спектре трансформаторного масла является несущей по содержанию влаги.

На рис. 3 представлены результаты исследования влияния содержания целлюлозы на акустические параметры.

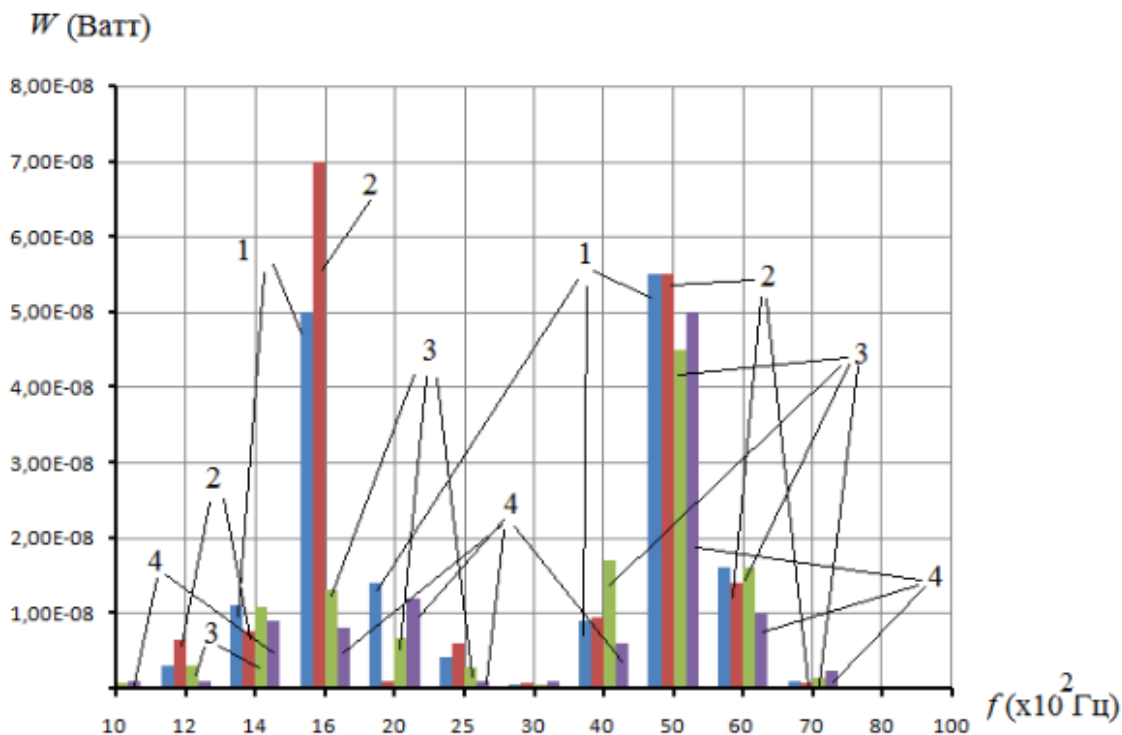


Рис. 3. Амплитудно-частотная характеристика трансформаторного масла в зависимости от содержания целлюлозы:

1 – содержание массовой доли целлюлозы 0,06 %; 2 – содержание целлюлозы 0,18%;  
3 – содержание 0,31%; 4 – частотная характеристика эталонного образца.

Порядок определения массовой доли целлюлозы аналогичен методике определения влаги.

Массовая доля измерялась в трёх точках процентной шкалы массы 0,06, 0,18, 0,31. В каждой точке процентной шкалы массы снималась амплитудно-частотная характеристика.

При определении массовой доли использовался прямой метод измерения. Условия проведения испытаний соответствуют ГОСТ 12.1.027-80.

Способ измерения заключается в последовательном взвешивании эталонного образца после каждого ввода целлюлозы.

Суммарная погрешность (допуск погрешности) при данной методике измерений не превысила 0,000496 грамм.



В результате работы установлена корреляционная зависимость мощности звука от содержания влаги и целлюлозы; определена значимость перечисленных факторов; найдены статистические функции изменения мощности звука от содержания влаги и целлюлозы; определен коэффициент демпфирования факторов по частоте.

Таким образом, предлагаемый способ оценки содержания влаги и целлюлозы в трансформаторном масле позволяет сделать вывод о том, что он пригоден при проведении диагностики жидкой изоляции силового маслонаполненного оборудования, в частности, силовых маслонаполненных трансформаторов.

#### Список литературы:

1. Мордкович А.Г. О построении подсистем мониторинга, управления и диагностики оборудования подстанций сверхвысокого напряжения и их интеграция в АСУ ТП ПС / А.Г. Мордкович, П.А. Горожанкин // Электрические станции. – 2007. – № 6. – С. 44–54.
2. Алексеев Б.А. Контроль состояния (диагностика) крупных силовых трансформаторов / Б. А. Алексеев. – М.: НЦ ЭНАС, 2002 г. – 216 с.

#### Технико-экономическое обоснование применения проводов нового поколения

*Белан Р.А.*

*Новосибирский государственный технический университет, Россия, г. Новосибирск  
[laim-lama@mail.ru](mailto:laim-lama@mail.ru)*

Одной из ключевых отличительных особенностей неизолированных проводов нового поколения для ВЛ от типовых сталеалюминевых (АС, АCSR), помимо увеличенной рабочей температуры провода (вплоть до 3,3 раза), улучшенных механических характеристик, уменьшенного активного сопротивления и сниженной интенсивности гололедных отложений и коррозии, являются большие в 1,1-2,7 раза (в зависимости от марки) допустимые длительные токи. В связи с этим основной областью применения данных проводов являются линии с непродолжительной, но большой пиковой нагрузкой, превышающей возможности передачи максимальной мощности по ВЛ с традиционными проводами. Такие линии можно отнести к ВЛ повышенной пропускной способности (ППС).

Рассмотрим задачу увеличения нагрузочного тока ВЛ 220 кВ (выделяется производителями наряду со 110 кВ в качестве наиболее оптимальных классов напряжения для использования проводов нового поколения) с 600 до 900 А (определяется наибольшей передаваемой мощностью по ВЛ 220 кВ – 200 МВт [1, с. 21]). На существующей линии установлены одноцепные опоры, рассчитанные на провода АС 240/32 – АС 500/64, на опорах подвешен провод АС 240/32 ( $I_{доп} = 605$  А).

Общая характеристика района прохождения линии:

- 1) Месторасположение ВЛ – Западная Сибирь.
- 2) Длина ВЛ – 100 км (средняя длина ВЛ 220 кВ [2, с. 70]).
- 3) Рельеф местности – равнинный.

Под опоры ВЛ изымаются земли сельхозугодий.

Сравниваемые варианты:

- 1) Строительство новой ВЛ 220 кВ параллельно существующей с проводами марки АС 240/32 ( $I_{доп\Sigma} = 1210$  А).
- 2) Замена проводов существующей ВЛ на провода большего сечения АС 500/64 ( $I_{доп} = 945$  А) с сохранением опор.
- 3) Замена провода АС на провод нового поколения равного или близкого диаметра (с целью возможной экономии на приобретении линейной арматуры).
- 4) Замена опор существующей ВЛ на двухцепные и подвеска дополнительной цепи с использованием провода АС 240/32. Не рассматривается как заведомо более капиталоемкий проект.

Из трех оставшихся вариантов, строительство параллельной ВЛЭП является наиболее дорогостоящим и труднореализуемым проектом, так как во втором и третьем случае маловероятны проблемы с землеотводом, имеется возможность продажи существующих проводов (учет остаточной стоимости демонтируемого оборудования), не говоря уже об экономии на закупке новых опор.

Произведем упрощенную оценку капиталоемкости вариантов 2 и 3. Согласно [3], стоимость провода АС 500/62 ( $d = 30,6$  мм) в 2 раза превышает цену на АС 240/32 ( $d = 21,6$  мм). Из

всех марок проводов нового поколения, в настоящее время представленных на российском рынке (всего 15), выбираем наиболее энергоэффективный и недорогой провод – АСк2у 300/39 (Iдоп = 1122 А, d = 21,5 мм), чья стоимость, как указано в [4], превышает стоимость провода АС всего в 1,3 раза (см. рис. 1). Таким образом, даже с учетом необходимости приобретения более дорогостоящей линейной арматуры, возможного привлечения специального оборудования и обучения монтажного персонала, вариант 3 с применением отечественного провода марки АСк2у обеспечит меньшие капитальные затраты на решение поставленной задачи.

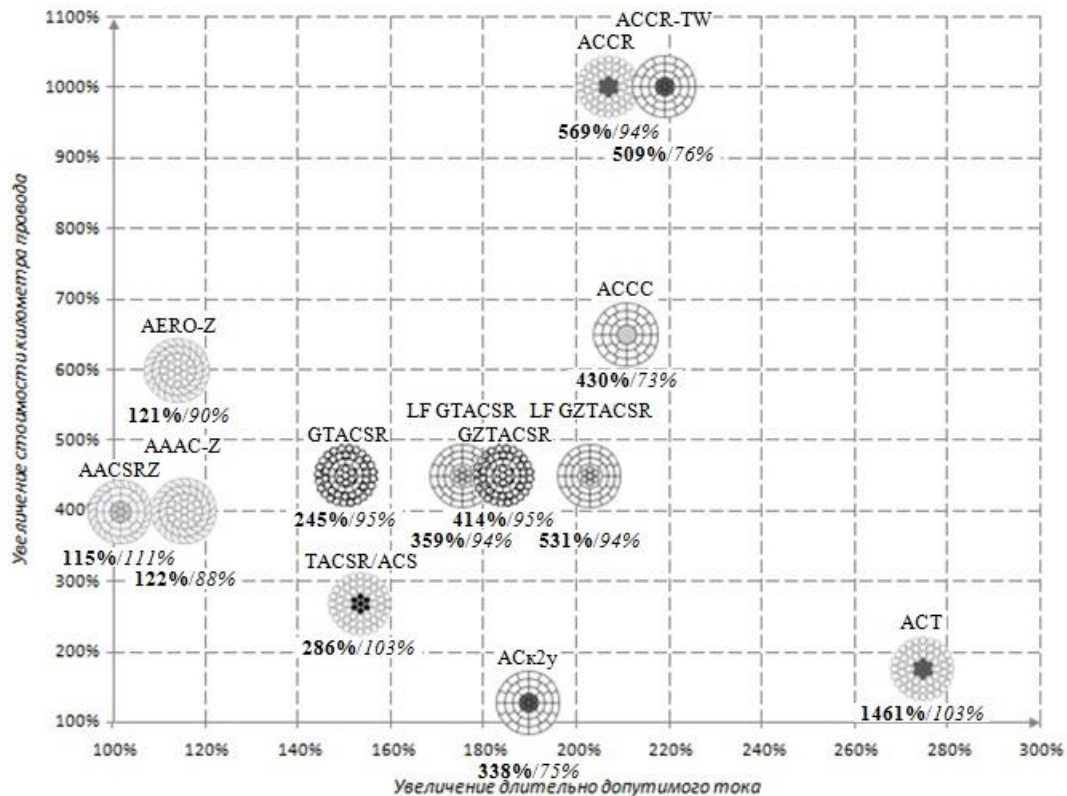


Рис. 1. Диаграмма средних параметров проводов нового поколения, в процентах от соответствующих параметров провода марки АС

Примечание:

Для марки провода в виде дроби указаны:

1. в числителе (жирным) – средние по марке среднегодовые максимальные потери активной мощности в процентах от соответствующих потерь в проводе АС равного диаметра;
2. в знаменателе (курсивом) – средние по марке среднегодовые эксплуатационные издержки в процентах от соответствующих издержек при эксплуатации провода АС равного диаметра, нагруженного на его длительно допустимый ток.

Источник: составлено автором.

Приблизительно полные затраты на проект за расчетный период (принимается равным 10 годам для ЕНЭС и основной сети ОЭС [2, с. 290]) при условии, что капитальные вложения носят единовременный характер (ввод ВЛ в работу происходит в течение первого года), можно оценить по следующему выражению:

$$Z = K + T(\text{Ипост} + \text{Ипер}),$$

где K – капитальные затраты; T – расчетный период; Ипост – ежегодные издержки на ремонты и обслуживание ВЛ (для ВЛ 35 кВ и выше на стальных и железобетонных опорах принимаются 0,8 % капитальных затрат [2, с. 289]); Ипер – затраты на возмещение потерь электроэнергии.

Таким образом, к концу расчетного периода затраты на реализацию проекта составят:

$$Z = 1,08K + 10\text{Ипер}.$$

Условно принимая, что капитальные вложения для обоих вариантов приблизительно равны, можно заключить, что суммарные затраты данных проектов будут отличаться лишь на величину приведенных переменных издержек.

Вычислим расходы на потери электроэнергии за рассматриваемый период. Расчет производится в следующем порядке:

- 1) Задаются начальные условия расчета:
    - среднегодовая температура окружающей среды,  $t'_0$ , °C (принимается равной 1,3 °C для г. Новосибирска [5]);
    - длина ВЛ, L, км;
    - коэффициент, учитывающий влияние дополнительных потерь в линейной арматуре,  $k_{арм}$  (для ВЛ 110 кВ и выше – 1,02 [6, с. 52]);
    - время использования максимума нагрузки,  $T_{max}$ , ч (равно 5650 ч для крупных городов со стационарными электроплитами [7]);
    - прогнозная средневзвешенная нерегулируемая цена на электроэнергию на оптовом рынке,  $T_{cp}$ , руб./МВт·ч (в состоянии на ноябрь 2013 г. для потребителей ОАО «Новосибирскэнергосбыт» – 897,88 руб./МВт·ч [8]).
    - токовая нагрузка, I, А.
  - 2) Принимаются исходные данные для провода [2, с. 76; 9]:
    - площадь поперечного сечения, S, мм<sup>2</sup>;
    - удельное сопротивление постоянному току при 20 °C,  $r_0$ , Ом/км;
    - коэффициент температурного сопротивления при 20 °C,  $\alpha$ , 1/°C.
  - 3) Рассчитываются значения следующих величин:
    - плотности тока, j, А/мм<sup>2</sup>;
    - удельного активного сопротивления провода,  $r'_0$ , Ом/км [6, с. 51];
    - потерь активной мощности в трехфазной ВЛ,  $\Delta P$ , МВт.
    - времени максимальных потерь,  $\tau$ , ч [10, с. 185];
    - потерь электроэнергии,  $\Delta W$ , МВт·ч [10, с. 184] (определяются упрощенно, без учета потерь холостого хода и потерь на корону);
    - переменных эксплуатационных издержек,  $I_{пер}$ , млн. руб.
- Все вычисления выполняются в программной среде Mathcad:

Исходные данные:

$$t'_0 := 1.3 \text{ } ^\circ\text{C} \quad L := 100 \text{ км} \quad k_{арм} := 1.02 \quad T_{max} := 5650 \text{ ч} \quad T_{cp} := 897.88 \frac{\text{руб}}{\text{МВт}\cdot\text{ч}}$$

$$I := 900 \text{ А}$$

$$\text{АС 500/64:} \quad S := 553.5 \text{ мм}^2 \quad r_0 := 0.058 \frac{\text{Ом}}{\text{км}} \quad \alpha := 0.00403 \frac{1}{^\circ\text{C}}$$

$$j := \frac{I}{S} = 1.626 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2} \quad r'_0 := r_0 \cdot k_{арм} \cdot \left[ 1 + \alpha \cdot \left( t'_0 - 20 + 8.3 \cdot j^2 \cdot \sqrt{\frac{S}{300}} \right) \right] = 0.0618 \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$$

$$\Delta P_{max} := 3 \cdot I^2 \cdot r'_0 \cdot L \cdot 10^{-6} = 15.019 \text{ МВт} \quad \tau := \left( 0.124 + \frac{T_{max}}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 4158.556 \text{ ч}$$

$$\Delta W := \Delta P_{max} \cdot \tau \cdot 10^{-3} = 62.459 \text{ млн. кВт}\cdot\text{ч} \quad I_{пер} := \Delta W \cdot T_{cp} \cdot 10^{-3} = 56.081 \text{ млн. руб.}$$

$$I_{пер\Sigma} := 10 \cdot I_{пер} \cdot 10^{-3} = 0.561 \text{ млрд. руб.}$$

Таким образом, затраты на возмещение потерь электроэнергии для третьего варианта в 1,8 раза превосходят соответствующие затраты для второго, из чего можно заключить, что замена существующего провода на провод большего сечения АС 500/64 является более экономически выгодным вариантом.

$$\begin{aligned}
 \text{АСк2у 300/39:} \quad S &:= 336.1 \text{ мм}^2 & r_{0\omega} &:= 0.0948 \frac{\text{Ом}}{\text{км}} & \alpha_{\omega} &:= 0.004 \frac{1}{\text{°C}} \\
 j_{\omega} &:= \frac{I}{S} = 2.678 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2} & r'_{0\omega} &:= r_0 \cdot k_{\text{арм}} \left[ 1 + \alpha_{\omega} \left( t_0 - 20 + 8.3 \cdot j^2 \cdot \sqrt{\frac{S}{300}} \right) \right] = 0.1138 \frac{\text{Ом}}{\text{км}} \\
 \Delta P_{\text{max}} &:= 3 \cdot I^2 \cdot r'_{0\omega} \cdot L \cdot 10^{-6} = 27.66 \text{ МВт} \\
 \Delta W &:= \Delta P_{\text{max}} \cdot T \cdot 10^{-3} = 115.027 \text{ млн. кВт*ч} & I_{\text{пер}} &:= \Delta W \cdot T_{\text{ср}} \cdot 10^{-3} = 103.28 \text{ млн. руб.} \\
 I_{\text{пер, max}} &:= 10 \cdot I_{\text{пер}} \cdot 10^{-3} = 1.033 \text{ млрд. руб.}
 \end{aligned}$$

Данный вывод позволяет утверждать о целесообразности использования проводов нового поколения в случаях их долговременной загрузки не больше, чем на токи, соизмеримые с длительно допустимыми для соответствующих (по диаметру) проводов марки АС, по причине значительного возрастания переменной составляющей эксплуатационных издержек; либо в случаях, когда применение инновационных проводов единственно возможно, ввиду их лучших технических характеристик.

#### Список литературы:

1. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: учеб. пособие для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 608 с.: ил.
2. Справочник по проектированию электрических сетей / Под ред. Д.Л. Файбисовича. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ЭНАС, 2007. – 352 с.: ил.
3. Прайс-лист на провод АС [Электронный ресурс] // ООО «Русский стиль». – Режим доступа: kolchck.ru/modules.php?name=Price&m=10&text=%C0%D1+.
4. Инновационные конструкции проводов для высоковольтных линий электропередачи [Электронный ресурс] // Журнал «КАБЕЛЬ-news». – 2012. – № 2. – Режим доступа: www.ruscable.ru/print.html?p=/article/Innovacionnye\_konstrukcii\_provodov\_dlya.
5. СП 131.13330.2012. Свод правил. Строительная климатология. Актуализированная версия СНиП 23-01-99\*. – М., 2012.
6. Железко Ю.С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: Руководство для практических расчетов / Ю.С. Железко. – М.: ЭНАС, 2009. – 456 с.: ил.
7. Годовое число часов использования максимума нагрузки Tmax [Электронный ресурс] // Онлайн Электрик: Сервис для электроэнергетиков. – Режим доступа: www.online-electric.ru/dbase/tmax.php?type=%E3%EE%F0%EE%E4&tmax=&cols=\* &query=.
8. Расчет прогнозных предельных уровней нерегулируемых цен на розничных рынках электрической энергии (мощности) для потребителей ОАО «Новосибирскэнергосбыт» (ноябрь 2013 г.) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.nskes.ru/showfile.php?id=3152.
9. Каталог продукции ООО «ТД «УНКОМТЕХ». – С. 22-31.
10. Лыкин А.В. Электрические системы и сети: учеб. пособие. – М.: Университетская книга; Логос, 2008. – 254 с.

#### Математическое моделирование электротехнических устройств с накапливающимися повреждениями при оценке структурной надежности ЭЭС

**Булычев В.В., Вдовина О.И., Обоскалов В.П., Шалина Е.П.**

Уральский Федеральный Университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, г. Екатеринбург

[bulychev.vladislav-91@yandex.ru](mailto:bulychev.vladislav-91@yandex.ru)

В электроэнергетической системе существуют элементы со стареющим типом отказа, описываемым математической моделью накапливающихся повреждений. В качестве примеров здесь можно указать изоляцию проводников, подверженную переменному тепловому воздействию, выключатели, рассчитанные на заданное число отключаемых токов коротких

замыканий, устройства с невозстанавливаемыми резервными элементами, например, гирлянды изоляторов, совокупность запасных элементов, расходуемая по мере отказа рабочих элементов и др.

Известно, что интенсивность отказа подобных устройств имеет возрастающий характер, а длительность безотказной работы описывается такими распределениями, как Вейбулла, гамма, нормальное [Ошибка! Источник ссылки не найден.–Ошибка! Источник ссылки не найден.]. Однако в расчетах структурной надежности (СН) электроэнергетических систем (ЭЭС) основным допущением является экспоненциальный характер функции распределения. Отсюда при расчетах СН ЭЭС возникает проблема моделирования упомянутых устройств, особенно в динамических процессах с неустановившимися значениями вероятностей состояний. Одним из возможных подходов здесь является представление реального процесса эксплуатации устройства как многостадийного, с экспоненциальным распределением срабатывания на каждой стадии эквивалентного ресурса.

Процесс срабатывания ресурса электротехнического устройства достаточно наглядно иллюстрируется на модели силового выключателя, для которого заводом-изготовителем указывается предельное число  $N_H$  отключений номинального тока  $I_H$  короткого замыкания. Поскольку реальный ток отключения КЗ значительно меньше номинального, то дополнительно указывается предельное число отключений, например, половинного тока КЗ. При этом, как правило, произведение предельного числа  $N_k$  отключений на соответствующий ток  $I_k$  отключения,  $R_{max} = N_H I_H = N_k I_k$  (кА) остается неизменным. Отсюда величину  $R_{max}$  можно рассматривать как ограниченный коммутационный ресурс выключателя [Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден.]. Непрерывный процесс срабатывания ресурса можно представить как дискретный с постоянной единичной величиной срабатываемого ресурса, равной математическому ожиданию тока КЗ. В этом случае  $R_{ед}$  может служить основанием для определения параметров многостадийного процесса. Действительно,

$$\gamma = \frac{R_{max}}{R_{ед}}$$

число стадий определяется отношением  $\gamma$ , а интенсивность срабатывания ресурса при экспоненциальном распределении определяется параметром потока КЗ.

Математическое ожидание (МО) единичного срабатывания ресурса выключателя определяется исходя из анализа реальной схемы коммутации. В частности при коммутации токов КЗ на отходящей линии электропередачи (ЛЭП)  $\alpha - \beta$  присоединения с односторонним питанием, с токами КЗ в начальном и конечном узлах  $I_\alpha, I_\beta$  соответственно, и параметрами потока КЗ на ЛЭП  $\omega_L$  и на присоединении  $\omega_\beta$

При этом параметр потока коммутаций выключателя при отключении КЗ определяется суммой  $\omega_B = \omega_L + \omega_\beta$ .

Средний на ЛЭП ток КЗ определяется исходя из соотношений для токов в начале и конце ЛЭП:

$$I_{ср,ЛЭП} = \frac{1}{L} \int_0^L \frac{U}{x_\alpha + x_0 l} dl = \frac{U}{x_0 L} \ln \left( \frac{x_\alpha + x_0 L}{x_\alpha} \right) = \frac{U}{x_0 L} \ln \left( \frac{I_\alpha}{I_\beta} \right),$$

где  $U$ ,  $x_0$ ,  $L$  – соответственно напряжение, удельное сопротивление и длина ЛЭП;  $x_\alpha$  – эквивалентное сопротивление от источника питания до узла  $\alpha$ .

Поскольку

$$I_\alpha = \frac{U}{x_\alpha}; I_\beta = \frac{U}{x_\alpha + x_0 L},$$

то

$$x_0 L = U \cdot \left( \frac{I_\alpha - I_\beta}{I_\alpha I_\beta} \right),$$

и в результате

$$I_{\text{ср,ЛЭП}} = \frac{I_{\alpha} I_{\beta}}{I_{\alpha} - I_{\beta}} \ln \left( \frac{I_{\alpha}}{I_{\beta}} \right).$$

Расход ресурса характеризует процесс старения элемента и вероятность его отказа: в начальный момент времени (начало эксплуатации устройства) ресурс максимален, а в ходе эксплуатации устройства он постепенно снижается до нулевого значения. Изменение ресурса происходит непрерывно (величина отключаемого тока КЗ), но для практических расчетов динамического процесса его можно представить дискретно, через математическое ожидание – с каждым новым КЗ ресурс сокращается на (рис.1), где  $i$  - порядковый номер стадии,  $P_i$  - вероятность прохождения стадии  $i$ .

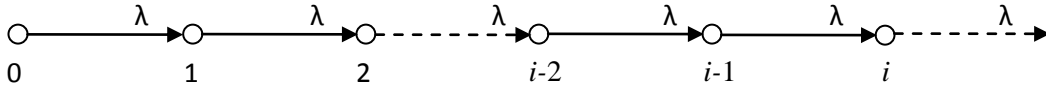


Рис. 1. Многостадийный процесс

При допущении экспоненциального характера функции распределения расхода ресурса математическая модель его изменения относится к марковским процессам, где вероятность состояния системы в следующий дискретный момент времени не зависит от того, как случайный процесс протекал в прошлом, а зависит только от состояния, в котором процесс находится в настоящий момент.

Это дает возможность провести аналогию между расходом ресурса и дискретным стационарным стохастическим процессом, где можно использовать математический аппарат теории структурной надежности, в частности метод пространства состояний [**Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден.**].

Однородный процесс Маркова описывается линейной системой дифференциальных уравнений (СДУ):

$$\begin{cases} \bar{P}'(t) = \bar{P}(t) \cdot L; \\ \sum P_i(t) = 1, \end{cases}$$

где  $\bar{P}(t)$  – вектор-строка из вероятностей состояния системы,  $L$  - матрица интенсивностей

переходов, элементы которой  $L_{ij} = \lambda_{ij}$  и  $L_{ii} = -\sum_{j \neq i} \lambda_{ij}$ .

В многостадийном процессе возможен единственный переход от текущего состояния к последующему,  $\lambda_{i, i+1} = \lambda$ ;  $\lambda_{i, i} = -\lambda$ ;  $\lambda_{i, j} = 0$ ,  $j \neq i + 1$ . При этих условиях матрица интенсивностей имеет вид:

$$\begin{pmatrix} -\lambda & \lambda & \dots & 0 & 0 \\ 0 & -\lambda & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & -\lambda & \lambda \\ 0 & 0 & \dots & 0 & -\lambda \end{pmatrix}.$$

Соответствующая данной матрице СДУ имеет вид:

$$\begin{cases} P_0'(t) = -\lambda P_0(t); \\ P_1'(t) = \lambda P_0(t) - \lambda P_1(t); \\ P_2'(t) = \lambda P_1(t) - \lambda P_2(t); \\ \dots \\ P_{n-1}'(t) = \lambda P_{n-2}(t) - \lambda P_{n-1}(t); \\ P_0(t) + P_1(t) + P_2(t) + \dots + P_{n-1}(t) + P_n(t) = 1. \end{cases} \quad (1)$$

Уравнение динамического баланса для вероятности  $P_n(t)$  не записывается в силу линейной зависимости этого уравнения от предыдущих.

При начальном условии  $P_0(0) = 1$  (задача Коши) из первого уравнения (дифференциальное уравнение (ДУ) с разделяющимися переменными) получаем:

$$P_0(t) = e^{-\lambda t}$$

Второе уравнение является линейным неоднородным ДУ:

$$P_1'(t) - \lambda e^{-\lambda t} + \lambda P_1(t) = 0. \quad (2)$$

Его решение осуществляется методом замены  $P_1(t) = u(t)v(t)$ , где  $v(t)$  – частное решение соответствующего однородного ДУ:

$$v = e^{-\lambda t}. \quad (3)$$

При этом ДУ(2) принимает вид:

$$u(dv/dt + v(du/dt + \lambda(uv - \lambda e^{-\lambda t}))) = 0.$$

Принимая во внимание решение (3), получаем

В результате

$$e^{-\lambda t}$$

По аналогии определяется решение третьего уравнения системы (1)

$$e^{-\lambda t}$$

Функциональную зависимость вероятности стадии  $i$  от времени можно получить методом математической индукции. Предположим, что вероятность стадии  $(i-1)$  описывается выражением:

$$P_1(i-1)(t) = \int_0^t (\lambda e^{-\lambda \tau})^{i-1} / (i-1)! (e^{-\lambda t}) \quad (4)$$

Тогда уравнение  $i$  системы (1) принимает вид

$$P_1 i'(t) - \lambda (\lambda t)^{i-1} / (i-1)! (e^{-\lambda t}) + \lambda P_1 i(t) = 0.$$

Решение соответствующего однородного ДУ совпадает с (3):  $v_i = e^{-\lambda t}$ . В процессе определения множителя  $u(t)$  формируется ДУ

Интегрирование этого уравнения позволяет получить

$$u_i i = (\lambda t)^{i-1} / (i \cdot (i-1)!).$$

В результате

$$P_1 i(t) = \int_0^t (\lambda e^{-\lambda \tau})^{i-1} / i! (e^{-\lambda t}) \quad (5)$$

Данное выражение по структуре совпадает с (4), что доказывает правомочность сделанного предположения, и выражение (5) может рассматриваться в качестве расчетного для определения вероятности завершения стадии  $i$  на момент времени  $t$ .

Вероятность работоспособного состояния устройства, описываемого математической моделью накапливающихся повреждений определяется вероятностью того, что к моменту  $t$  число стадий не превышает предельно допустимое число  $Y$ :

$$P(y, t) = \sum_{i=0}^{y-1} \frac{(\lambda t)^i}{i!} (e^{-\lambda t}).$$

Данное выражение совпадает с распределением Эрланга при целочисленном и с гамма-распределением для произвольного положительного действительного значения  $\gamma$  [Ошибка! Источник ссылки не найден.]. Это позволяет получать значения вероятностей по справочным таблицам.

Однако при расчете структурной надежности сложносвязанных электроэнергетических систем рассматриваемое устройство с накапливающимися повреждениями представляется элементом с экспоненциальным распределением длительности безотказной работы. Отсюда необходимо дальнейшее эквивалентирование таких устройств. Критерием эквивалентирования можно рассматривать равенство МО длительностей безотказной работы  $E(T_p)$ .

Для гамма-распределения  $E(T_p) = \frac{\gamma}{\lambda}$ . Для эквивалентного экспоненциального распределения  $E(T_p) = \frac{1}{\lambda_3}$ .

Отсюда  $\lambda_3 = \frac{\lambda}{\gamma}$ . В частности для силового выключателя

Таким образом, в работе получена математическая модель эквивалентирования устройств с накапливающимися повреждениями для их учета в расчетах структурной надежности сложноразветвленных ЭЭС. Предложенная модель апробирована на силовом выключателе с ограниченным коммутационным ресурсом.

#### Список литературы:

1. Руденко Ю.Н., Чельцов М.Б. Надежность и резервирование в энергосистемах. – Новосибирск: Наука, 1974.
2. Эндрэни Дж. Моделирование при расчетах надежности в электроэнергетических системах. – М.: Энергоатомиздат, 1983
3. Обоскалов В.П. Структурная надежность электроэнергетических систем: учебное пособие. – Екатеринбург: УрФУ, 2012. – 196 с.
4. Окунь Г.М., Шилин Н.В. Межреvisionsные сроки службы выключателей высокого напряжения / «Электрические станции», 1975, №6, с.67-70.
5. Обоскалов В.П. Анализ математических моделей, применяемых для анализа надежности высоковольтных выключателей / «Электричество», 1979, №5, с.11-15.
6. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике. – М.: Наука, 1978. 831 с.

#### Перспективы малой энергетики в России

*Валиева А.М., Лившиц С.А.*

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Казанский государственный энергетический университет»,  
Россия, г. Казань  
[ibiza-24@mail.ru](mailto:ibiza-24@mail.ru)*

Наша повседневная жизнь, безопасность страны, надежность работы промышленных предприятий и вообще всех отраслей производства зависит от надежного энергоснабжения. Поэтому к снабжению энергией необходимо относиться очень серьезно.

Реализация сложившегося потенциала энергосбережения, повышение эффективности использования энергоресурсов до уровня развитых стран, становление экономики России на энергосберегающий путь развития являются основными задачами энергетической стратегии Российской Федерации. В качестве одного из ключевых направлений развития энергетического сектора определено развитие малой энергетики.

На сегодняшний день создание систем автономного энергоснабжения является наиболее экономичным решением проблем энергообеспечения в условиях растущих потребностей в энергоресурсах. Строительство крупных станций, теплоцентралей, линий электропередач – процесс трудоемкий и затратный, не каждому по карману. Малая энергетика способна обеспечить электричеством и теплом объекты удаленных районов, в которых существует дефицит энергии или энергоисточник полностью отсутствует. [1]

В соответствии с Концепцией развития и использования возможностей малой и нетрадиционной энергетики в энергетическом балансе России, разработанной по поручению министра топлива и энергетики еще в 1993 г. (МТ-6758-92 от 7 июня 1993 г.), к малым отнесены электростанции мощностью до 30 МВт с агрегатами до 10 МВт, котельные и котлы общей теплопроизводительностью до 20 Гкал/ч, нетрадиционные энергоустановки, использующие солнечную, ветровую, геотермальную энергию, энергию биомассы, низкопотенциальное тепло, а также малые гидроэлектростанции и микро-ГЭС (с единичной мощностью агрегатов до 100 кВт).

Рынок энергетических технологий и оборудования (рынок предложений) находится в стадии бурного развития. Потребителю сориентироваться на нем крайне сложно, но еще сложнее найти здесь свое место потенциальным инвесторам. С другой стороны, чрезвычайно широк рынок спроса, начиная от владельцев собственных садовых домиков в центральных районах России и заканчивая поселками в Арктической зоне. К потребителям средств малой энергетики в последнее время можно отнести и различные промышленные предприятия, стремящиеся повысить надежность и эффективность своего энергоснабжения при сохранении разумных тарифов на энергоресурсы. [2]

К преимуществам для объектов малой энергетики можно отнести их автономность, экологичность, а также быструю окупаемость и возводимость.



Проблема повышения экономичности и надежности энергоснабжения любого производства является актуальной задачей. Существующие системы энергоснабжения (электро-, тепло-, холодоснабжения) предприятий не отвечают предъявляемым в настоящее время требованиям из-за малой надежности данных систем. Снижение надежности обусловлено старением оборудования, недостаточным объемом проводимых в последнее время капитальных ремонтов и модернизаций. Попытка восстановить ситуацию привела к значительному увеличению эксплуатационных расходов при снижении объемов производимой продукции, что в конечном итоге отразилось на себестоимости энергоносителей. Кроме того ситуация усугубляется и ростом тарифов на первичное топливо (природный газ, мазут и т.п.). Особенно сильно это отразилось на энергоснабжении предприятий и организаций с протяженными распределительными сетями. В первую очередь к таким объектам относится АПК.

На энергоснабжение объектов сельскохозяйственной отрасли существенное влияние оказывают режимы их работы связанные с сезонностью производства и погодными условиями (системы отопления и вентиляции производственных и бытовых помещений в зимний период; системы кондиционирования животноводческих комплексов и холодоснабжение перерабатывающих производств, установки систем оборотного водоснабжения в летний период; резервные системы электроснабжения). Все это отражается на фактических нагрузках, потребляемых предприятиями. В частности это отражается на коэффициенте использования полезной мощности который изменяется в широких пределах. Сети, запроектированные на максимальный коэффициент использования, большую часть времени работают в режимах 20-30% загрузки. Известно, при таких режимах потери уже соизмеримы с полезно используемой энергией, а часть сетей уже не подлежит восстановлению. Резервные источники электроснабжения на базе дизель-генераторов с выходом только электрической энергии мало эффективны. [3]

Одним из выходов из сложившейся ситуации является использование автономных источников энергоснабжения в дополнение к централизованным источникам. С целью повышения эффективности их использования предлагается работа их по комбинированной схеме. Схема такого автономного источника состоит из комплекса взаимосвязанных и взаимодополняющих устройств электро-тепло и холодоснабжения. Использование такой системы в замен отдельных автономных и централизованных систем : электроснабжения (дизель-генераторов, газовых турбин,); теплоснабжения (водогрейных котлов, теплогенераторов); холодоснабжения (холодильных агрегатов, градирен), способствует решению как экономических так и экологических проблем предприятия.

Актуальность этого направления обусловлена происходящими в Российской Федерации процессами: либерализации энергетического рынка, высокими затратами на подключение и кризиса в эксплуатации крупных систем централизованного энергоснабжения. Кроме того, анализ рынка потребителей электрической и тепловой энергии выявил, что около 30% потребителей не нуждаются в десятках и сотнях мегаватт мощности, и следовательно, не нуждаются в обязательном централизованном энергоснабжении, общие потери которого при транспортировке по сетям до потребителя составляют до 25-30%.

В этих условиях реальным путем повышения эффективности энергетического производства является развитие локальных автономных децентрализованных источников комбинированного производства электроэнергии и тепла на базе *газопоршневых двигателей*. К их преимуществам относятся: высокий КПД; полная независимость от региональных энергосетей, а следовательно, и от роста тарифов; надежность; отсутствие затрат на строительство подводящих и распределительных сетей. [4]

Безусловно, что будущее российской энергетики за большой генерацией, однако в условиях уже наступившего энергодефицита только малая генерация может быстро решить проблему энергоснабжения предприятий и населения.

В связи с вышесказанным можно сделать вывод что, систему автономного энергоснабжения зданий и сооружений всегда следует проектировать, исходя из индивидуальных условий и рассматривая несколько вариантов решения. Нельзя уверенно утверждать, что децентрализация подходит и будет экономически оправданной для всех пользователей. Перед началом работы необходимо убедиться в оправданности децентрализации, экономической целесообразности, сроке окупаемости и конечно же об имеющихся источниках альтернативной энергии.

#### Список литературы:

1. Малая энергетика // Официальный блог компании ЗАО «НГ-Энерго» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ngenergo.ru/blog/malaya-energetika/> (дата обращения: 24.11.2013).

2. Пейсахович В. Роль малой энергетики в решении проблем энергетического обеспечения потребителей // ЭнергоРынок: электронный профессиональный журнал. — 2005. — № 5 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.e-m.ru/er/2005-05/22729/> (дата обращения: 24.11.2013).
3. Ениватов А.В., Артемов И.Н. Автономный источник энергоснабжения [Электронный ресурс]. URL: [www.rosteplo.ru/Tech\\_stat/stat\\_shablon.php?id=277](http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=277) (дата обращения: 24.11.2013).
4. Газопоршневые установки и мини-ТЭЦ [Электронный ресурс]. URL: [http://energo52.ru/gazoporshnevye\\_ustanovki\\_i\\_mini-tec](http://energo52.ru/gazoporshnevye_ustanovki_i_mini-tec) (дата обращения: 24.11.2013).

### Система резервного питания частотно-регулируемого электропривода для ответственных автономных объектов

*Вислогузов Д.П., Сметанников А.В.*

*Новосибирский государственный технический университет, Россия, г. Новосибирск*

[visloguzovdenis@mail.ru](mailto:visloguzovdenis@mail.ru)

Постановка задачи. В последнее время применение регулируемого электропривода (ЭП) переменного тока стало повсеместным. Управляя частотой вращения электродвигателя, можно легко контролировать технологические процессы на производстве. Современные системы преобразователь частоты – двигатель (ПЧ-Д) широко применяются не только в общепромышленных механизмах, но и в объектах специальной техники.

Особого внимания заслуживают ответственные автономные объекты, которые предъявляют жесткие требования к используемому на них специальному электрооборудованию, в частности систем ПЧ-Д. Перебои электропитания или выход из строя электрооборудования может привести не только к нарушению технологического процесса, но и к более плачевным последствиям, например к техногенной катастрофе.

Авторами предлагается система резервного питания частотно регулируемого электропривода насоса (Н), который работает в составе ответственного автономного объекта (рис.1). Как правило, на таких объектах есть основная сеть переменного тока (380 В, 50 Гц) и резервная сеть постоянного тока, реализованная с помощью аккумуляторных батарей (АБ). При работе от основной сети управление синхронным двигателем (СД) осуществляется с помощью классической схемы двухзвенного преобразователя частоты, в состав которого входит полупроводниковый выпрямительный комплект (ВК), звено постоянного тока ( $U_{dc}$ ) и автономный инвертор напряжения (АИН). При питании от резервной сети, напряжение которой колеблется в широком диапазоне 175-320 (В), система нуждается в стабилизации напряжения, которое реализуется при помощи преобразователя постоянного тока (ППТ). ППТ построен на основе двух активных H-мостов, работающих на повышающий импульсный трансформатор (ИТ) с частотой 20 кГц. Кроме того, ИТ выполняет функцию гальванической развязки между основной и резервной сетью для обеспечения безопасности.

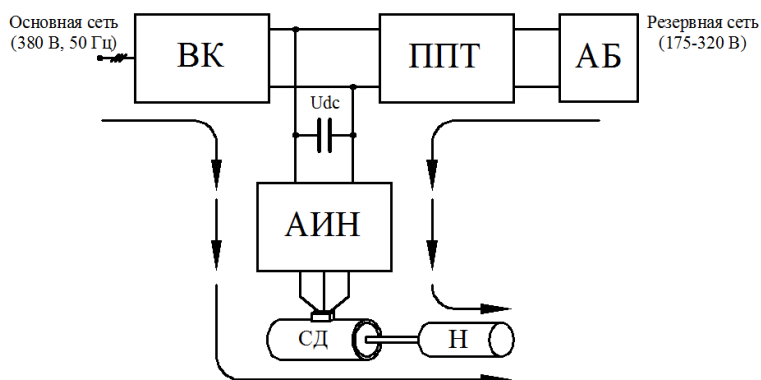


Рис.1. Функциональная схема системы резервного питания

Система работает по принципу «горячего» резервирования с замещением, то есть переход с основной сети на резервную и обратно происходит без просадки скорости электродвигателя и как следствие без потери производительности. Алгоритм работы построен таким образом, что при снижении уровня напряжения звена постоянного тока ниже предельного уровня система автоматически переходит на резервную сеть. Обратный процесс происходит только после полного

восстановления основной сети. ППТ во время работы от основной сети находится в режиме ожидания, тем самым не потребляет энергии.

Зачастую, на ответственных автономных объектах есть ограничения по массогабаритным показателям системы. Исходя из этого, в качестве исполнительного электродвигателя был выбран синхронный двигатель с постоянными магнитами (СДПМ). С другой стороны, синхронный двигатель обладает рядом преимуществ: большая перегрузочная способность по моменту (кратковременно допустимый момент и ток СДПМ могут превышать номинальные значения в 5 и более раз); высокое быстродействие в переходных процессах по моменту; наилучшие энергетические показатели (КПД).

Математическое описание ППТ. На рис.2 приведена электрическая схема силовой части преобразователя постоянного тока [1].

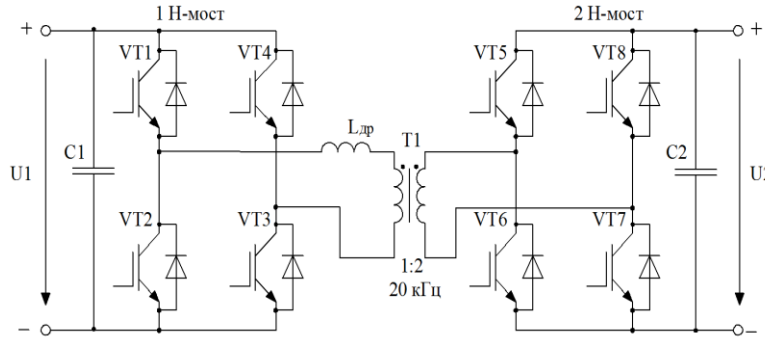


Рис.2. Электрическая схема ППТ

Среднее значение тока первичной стороны будет равно

$$I_{cp11} = \frac{U_2}{2\pi \cdot f_k L_{np} k_{tr}} \left( \delta - \frac{\delta^2}{\pi} \text{sign}(\delta) \right) \quad (1)$$

где  $\delta$  - относительный угол сдвига между первичным и вторичным напряжением;  $k_{tr}$  - коэффициент трансформации ИТ;  $L_{np} = L_{др} + L_{\sigma e1} + L_{\sigma e2}$  - приведенная индуктивность.

Выходная мощность преобразователя постоянного тока будет равна [1]

$$P_{вых} = \frac{U_1 U_2}{2\pi \cdot f_k L_{np} k_{tr}} \left( \delta - \frac{\delta^2}{\pi} \text{sign}(\delta) \right) \quad (2)$$

Согласно уравнению (2) для параметров  $P_{вых} = 60$  кВт;  $L_{np} = 3$  мкГн;  $f_k = 3$  кГц;  $k_{tr} = 2$ ;  $U_1 = 175 - 320$  В;  $U_2 = 520$  В, получим регулировочные характеристики (рис.3).

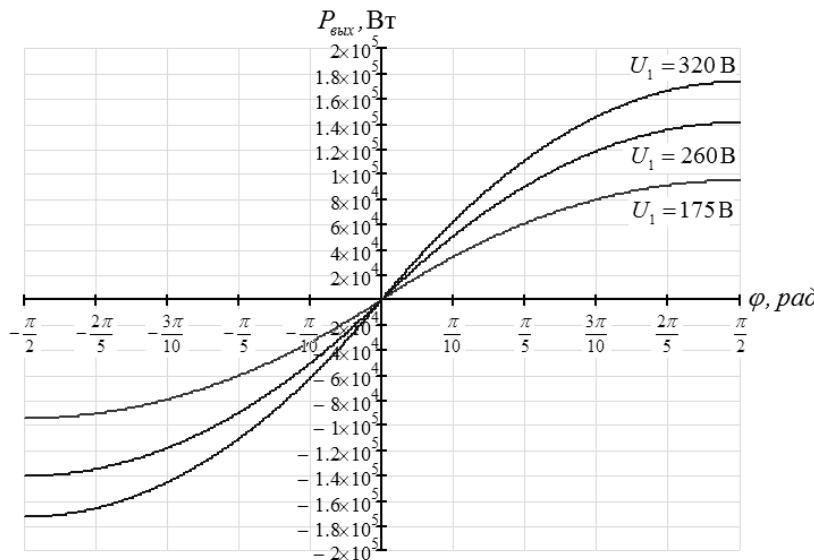


Рис.3. Регулировочные характеристики ППТ

Структура системы управления ППТ (рис.4) построена по принципу подчиненного регулирования координат с разделением собственных частот контуров и является системой стабилизации напряжения на выходе H-моста, подключенного ко

вторичной обмотке трансформатора [2].

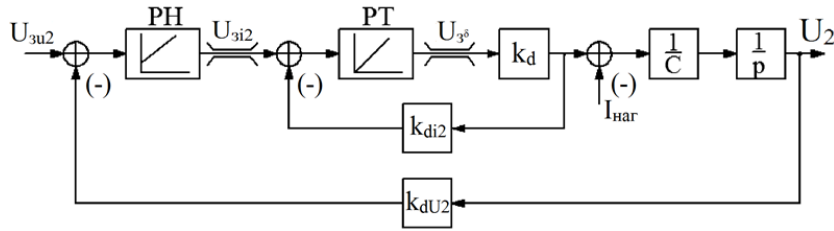


Рис.4. Структурная схема замкнутой системы управления ППТ

При помощи программного пакета Matlab/Simulink, были получены переходные процессы пуска ППТ и наброса и сброса нагрузки (рис.5).

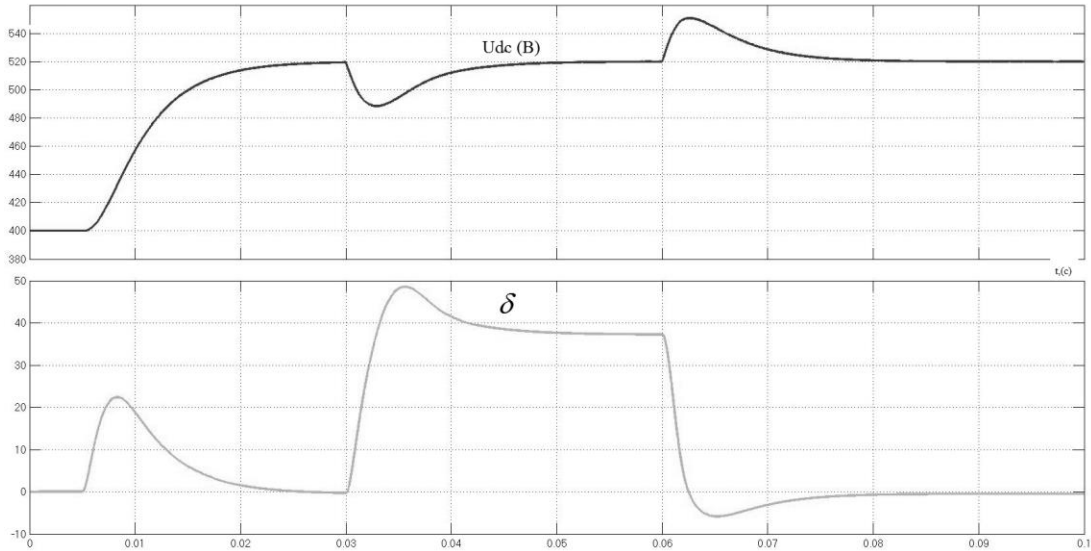


Рис.5. Переходные процессы ППТ

Анализ устойчивости. Одним из режимов работы системы горячего резервирования электропривода переменного тока, работающего в составе автономного объекта, является режим, когда питание происходит не от аккумуляторной батареи, имеющей достаточно незначительное активное и индуктивное сопротивление, а от генератора постоянного тока. В данном случае становится необходимым исследование устойчивости электропривода, так как вносятся параметрические изменения в систему (добавляется активное и индуктивное сопротивления).

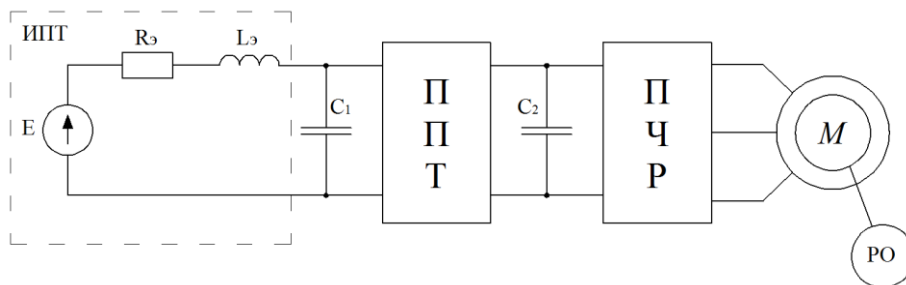


Рис. 6. Силовая схема системы резервного питания ЭП

Так как передаточная функция линеаризованной системы имеет низкий порядок, исследование устойчивости электропривода проводится частотным критерием Михайлова. Согласно которому, необходимо составить характеристический полином исследуемой системы и при изменении частоты от 0 до  $\infty$  на комплексной плоскости построить годограф Михайлова и по его виду определить устойчивость системы [2].

Упрощенная силовая схема системы резервного питания ЭП от сети постоянного тока представлена на рис.6, где ИПТ – источник постоянного тока (генератор), ППТ – преобразователь постоянного тока, ПЧР – частотно-регулируемый преобразователь, М – двигатель переменного тока (асинхронный), РО – рабочий орган.

После проведения линеаризации системы уравнений, описывающих ППТ и питающую сеть, был составлен характеристический полином, который имеет вид:

$$D(p) = L_3 R_0 C_1 p^2 - (L_3 - R_0 R_3 C_1) p - (R_3 - R_0),$$

где  $R_3$  - эквивалентное активное сопротивление источника, которое включает: сопротивление якоря, добавочных полюсов, кабеля и дросселя, что в блоке фильтров,  $L_3$  - соответственно эквивалентная индуктивность источника,  $C_1$  - емкость звена ППТ по первичной стороне,  $R_0$  - дифференциальное сопротивление (отношение отрицательного приращения напряжения к положительному приращению тока нагрузки).

В зависимости от напряжения в звене ППТ, возможно три случая: система является устойчивой; находится на границе колебательной устойчивости; является неустойчивой.

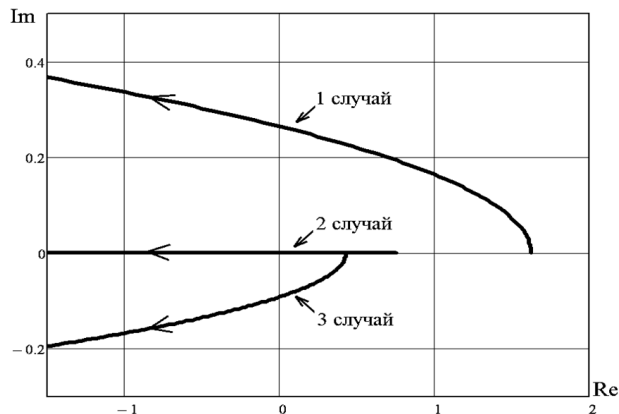


Рис. 7. Годограф Михайлова

Таким образом, анализируя годограф Михайлова (рис.7), можно сделать вывод, что для обеспечения устойчивой работы и исключения возникновения колебательных процессов системы необходимо выполнить синтез звеньев динамической коррекции системы управления ППТ.

**Закключение.** В работе рассмотрена система резервного питания частотно-регулируемого электропривода переменного тока. Предложенная система имеет предельные показатели по многим параметрам, в связи с чем, внедрение ее на ответственные автономные объекты является наиболее актуальной задачей в ближайшее время.

#### Список литературы:

1. Kheraluwala M. H., Gascoigne R. W., Divan D. M., Baumann E. D. Performance Characterization of a High-Power Dual Active Bridge dc-to-dc Converter // IEEE Trans. Ind. Applicat., vol. 28, no. 6, Nov./Dec. 1992, pp. 1294 – 1301.
2. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. – СПб, Изд-во «Профессия», 2003. – 752 с.

#### Снижение потерь электроэнергии путем поперечного регулирования напряжения в кольцевых сетях

**Р.Ф. Галиев**

Казанский Государственный Энергетический Университет, Россия, г. Казань  
rustem-galiev@mail.ru

В данной работе оценивается целесообразность применения специальных вольтодобавочных трансформаторов с поперечным регулированием напряжения в кольцевых сетях 10 кВ. Критерием оптимизации режима является снижение потерь активной мощности в сети.

Целью проведения исследования является изучение влияния разности фаз центров питания на величину потерь активной мощности в сети.

До 60% общих потерь электроэнергии приходится на долю распределительных сетей. В связи с этим снижение потерь электроэнергии именно в таких сетях является очень актуальной проблемой.

В настоящее время оптимизация режимов работы осуществляется регулированием напряжения в центрах питания и размыканием замкнутых сетей в целях перераспределения потоков мощности. Регулирование напряжения в центрах питания осуществляется только по его модулю, что не позволяет оптимизировать потоки активной и реактивной мощности от каждого центра питания. Оптимизировать эти перетоки можно путем размыкания замкнутых сетей с помощью реклоузеров. Однако положение оптимальных точек размыкания зависит от изменяющегося графика нагрузки, а размещение реклоузеров в сети фиксировано. Кроме того, оптимальные точки размыкания для потоков активной и реактивной мощности в большинстве случаев могут не совпадать. Указанные причины не позволяют существенно снизить потери электроэнергии.

В связи с этим предлагается использование вольтодобавочных трансформаторов (ВДТ) с поперечным регулированием с целью снижения потерь электроэнергии. Поперечное регулирование с ВДТ позволяет перераспределить потоки мощности в сети и снизить потери активной мощности.

Цели работы:

Исследование возможности применения ВДТ с поперечным регулированием в распределительных сетях кольцевого типа;

Оценить область применения таких ВДТ и уровень снижения потерь активной мощности при их использовании;

Привести результат в виде экономических показателей, и оценить возможную стоимость ВДТ.

В ходе исследования была разработана математическая модель, и проведены серии расчетов, что позволило определить необходимые пределы регулирования фазы напряжения на одном конце ЛЭП с двухсторонним питанием.

Для расчета была выбрана схема с двухсторонним питанием (энергосистемы А и Б). Интересующее нас кольцо 10 кВ запитывается с шин понизительных подстанций (ПС1 и ПС5). Как видно из схемы сети (рис. 1) сеть является в достаточной степени неоднородной. В работе также будет рассмотрен вопрос влияния перераспределения потоков мощности на потери в сетях высокого напряжения. Предварительно будем считать, что это влияние незначительно и им можно пренебречь.

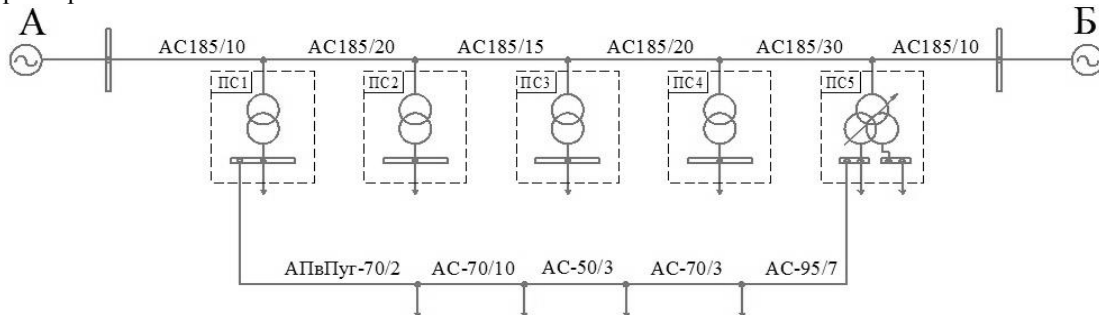


Рис. 1. Однолинейная схема электрической сети

На основании исходной схемы была составлена схема замещения (рис. 2) с указанием всех необходимых для расчета установившегося режима параметров.

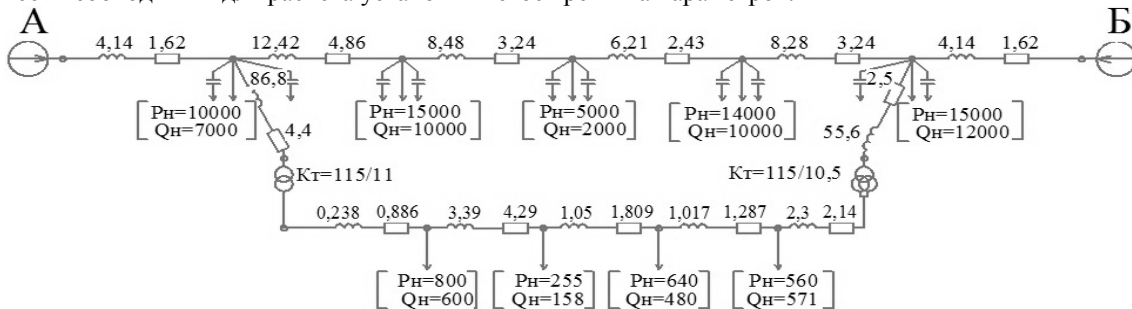


Рис. 2. Расчетная схема замещения

Далее были рассчитаны параметры режима (уровни напряжений и перетоки мощности) (рис. 3).

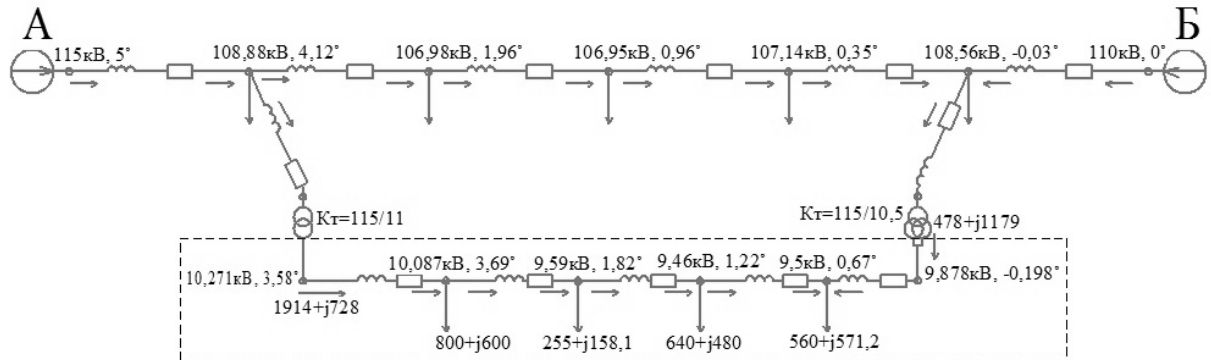


Рис. 3. Результаты расчета установившегося режима

Из результатов расчета видно, что распределение потоков далеко от оптимального. В связи с этим предлагается установка специального ВДТ с поперечным регулированием во втором центре питания. Путем многократного пересчета режимов и регулирования коэффициента трансформации была найдена оптимальная разность фаз центров питания и возможное снижение потерь предлагаемым методом. Был построен график зависимости потерь в сети 10 кВ от разности фаз центров питания (рис. 4).

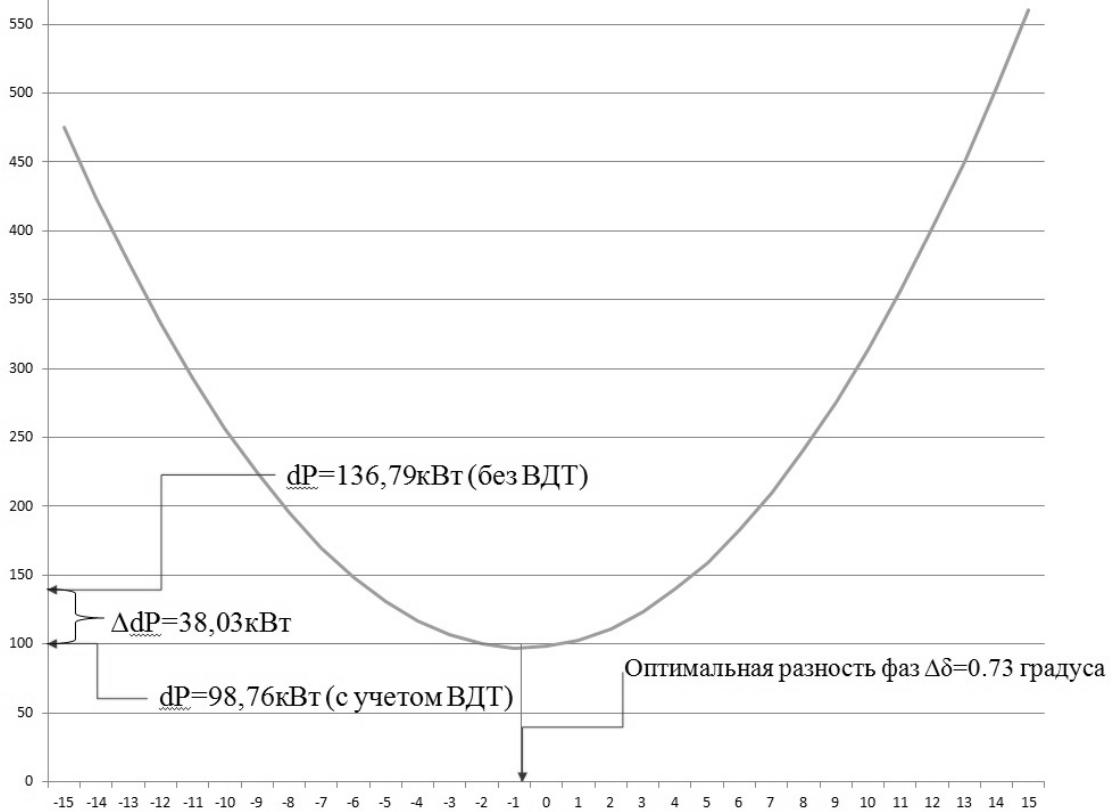


Рис. 4. Зависимость потерь активной мощности от разности фаз напряжений центров питания

Из графика видно, что при разности фаз в 6 градусов можно добиться двукратного снижения потерь активной мощности. А в нашем случае потери можно снизить на 38 кВт (27%), что тоже является хорошим результатом.

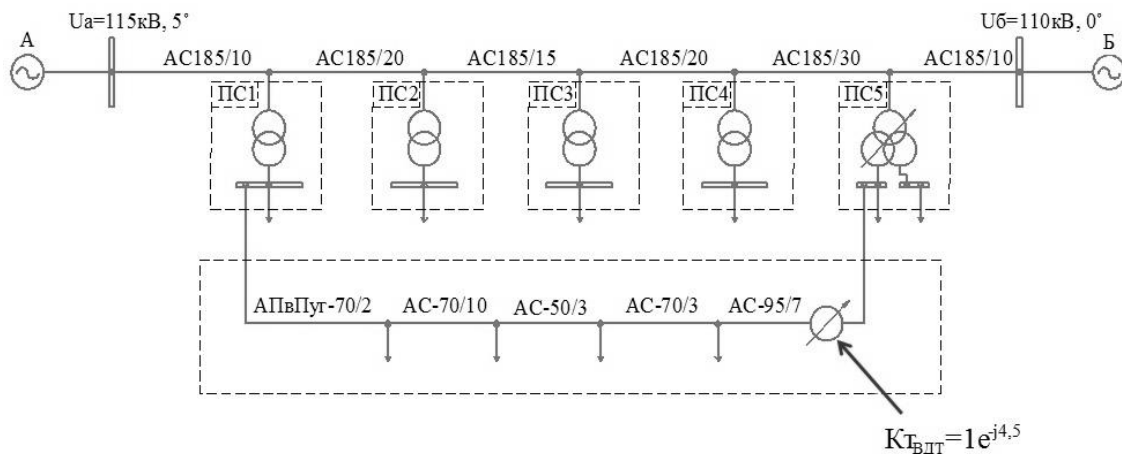


Рис. 5. Место установки трансформатора с поперечным регулированием

Расчеты показали, что не важно в каком центре питания (ЦП) осуществляется поперечное регулирование напряжения. Главное добиться требуемой оптимальной разности фаз центров питания при которой потери активной мощности в сети будут минимальны.

Далее были посчитаны экономические показатели предлагаемого варианта для приведенной сети (таблица 1), а также возможная стоимость такого ВДТ при заданном сроке окупаемости.

Таблица 1. Результаты экономических расчетов

dP в исходной сети, кВт	136,79
dP с учетом поперечного регулирования напряжения, кВт	98,76
Снижение потерь активной мощности, кВт	38,03
Снижение потерь активной мощности, %	27,8
Экономия за год использования устройства, руб.	657158
Стоимость устройства при окупаемости 5 лет, руб.	3285792
Стоимость устройства при окупаемости 7 лет, руб.	4600109
Стоимость устройства при окупаемости 10 лет, руб	6571584

Экспериментально подтверждено, что для каждой конкретной сети при фиксированной нагрузке существует оптимальное значение разности фаз центров питания  $\Delta\delta = \delta_1 - \delta_2$  независимо от модулей напряжений ЦП. При этом поперечное регулирование с помощью ВДТ до необходимой разности  $\Delta\delta$  позволяет уменьшить потери активной мощности на 20% и более.

Фазы напряжения центров питания, обеспечивающие минимум потерь активной мощности, как правило, не отличается более чем на 1-3 градусов. Оптимальное значение  $\Delta\delta$  зависит в большинстве случаев от степени неоднородности сети и в меньшей степени зависит от характера и распределения нагрузок потребителей. Для однородных сетей оптимальное значение  $\Delta\delta = 0$

При вычислении оптимальной фазы напряжения на вторичной обмотке ВДТ достаточно будет посчитать режим несколько раз, в соответствии с количеством ступеней регулирования ВДТ.

ВДТ с поперечным регулированием дает существенное снижение потерь, когда с одной стороны питание осуществляется на генераторном напряжении. При таком варианте разность фаз центров питания будет достаточно большой, около 5-6 градусов, а ВДТ уменьшит это значение до оптимальных 1-2 градусов, что даст большую экономию электроэнергии.

На сегодняшний день ВДТ с поперечным регулированием в сетях 10 кВ не применяются. Однако, как показали расчеты, для некоторых сетей его использование может дать значительное снижение потерь электроэнергии. Целесообразность применения ВДТ определяется после выполнения работ по оценке существующих сетей и возможности производства ВДТ со стоимостью, обеспечивающей приемлемый срок его окупаемости.

#### Список литературы:

1. Герасименко А.А., Федин В.Т. Передача и распределение электрической энергии: Учебное пособие. – Ростов-н/Д.: Феникс; Красноярск: Издательские проекты, 2006. – 720 с.
2. Идельчик В.И. Электрические системы и сети: Учебник для вузов. М.: Энергоатомиздат, 1989.



### Проверка гипотезы о нормальном распределении генеральной совокупности по критерию Пирсона

*С.В. Голдаев, К.Н. Радюк*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск,  
[radjuk\\_karina@mail.ru](mailto:radjuk_karina@mail.ru)*

Нормальное или гауссовское распределение часто используется при количественном анализе надежности различных технических систем [1,2]. В ряде случаев, время восстановления ремонтируемых узлов приближенно распределено по нормальному закону. Порой близко к нему располагается наработка до отказа невосстанавливаемых изделий. Оно применяется и для учета постепенных отказов, возникающих в одной системе независимо от внезапных отказов, описывающихся экспоненциальным распределением. Такую систему представляют состоящей из двух элементов, включенных в смысле надежности последовательно [1]. Распределению Гаусса подчиняются ошибки измерений [3].

Закономерности, которым подчинены отказы энергетического оборудования, устанавливаются на основе изучения результатов наблюдений или регистрации событий в журнале эксплуатации объектов, составленных актов отказов методами математической статистики [4,5].

В ходе обобщения таких данных осуществляется распределение отказов по видам оборудования энергоблоков, которое позволяет выделить наименее долговечное.

Использование статистических методов обусловлено наличием в технологических схемах энергоблоков большого количества однотипных элементов [5].

Кроме расчета статистических характеристик случайных величин (математическое ожидание, дисперсия, среднеквадратичное отклонение и т.д.), основной задачей такого анализа результатов исследования (наряду с дисперсионным и регрессионным анализами) является проверка статистических гипотез [2], [4,5], которая заключается в сопоставлении некоторых критериев проверки, вычисляемых по выборке, со значениями этих показателей, определенных теоретически в предположении, что проверяемая гипотеза верна.

Чтобы принять или отвергнуть гипотезу, еще до получения выборки задаются уровнем значимости  $\alpha$ . Наиболее употребителен в технике уровень значимости 0,05 (хотя могут быть использованы и другие – 0,1; 0,02; 0,01 и т.д.). Меньшие значения  $\alpha$  соответствуют данным, полученным с высокой точностью и в большом объеме. Уровню значимости соответствует доверительная вероятность  $p = 1 - \alpha$ . По этой вероятности, используя гипотезу о распределении оценки (критерия значимости), находят доверительные границы.

Ниже описан вариант автоматизированной проверки статистической гипотезы о принадлежности экспериментальных данных нормальному распределению по критерию Пирсона, реализованной на Турбо Паскале.

Затруднения количественного анализа показателей надежности объектов, обработки статистических данных, подчиняющихся нормальному закону распределения, обусловлены тем, что расчетные формулы содержат определенные интегралы, которые не выражаются через элементарные функции [1–3], [6]. В работе [7] представлена методика расчета на ПК показателей надежности объектов, подчиняющихся нормальному распределению.

Исходные статистические данные группируются, для этого определяются: минимальный и максимальный член ряда, его размах и примерная величина интервала, затем выявляются интервалы равной длины. Строится гистограмма распределения, из характера которой можно предположить, что анализируемая случайная величина распределена по нормальному закону.

При использовании критерия Пирсона число степеней свободы подсчитывается по формуле  $k = s - 1 - r$ , где  $s$  – число разрядов;  $r$  – число параметров, оцениваемых по выборке. Как известно, нормальное распределение определяется двумя параметрами: математическим ожиданием  $a$  и средним квадратическим отклонением  $\sigma$  [6]. Поскольку оба эти параметра оцениваются по выборке (в качестве оценки  $a$  принимается выборочная средняя, в качестве оценки  $\sigma$  – выборочное среднеквадратическое отклонение), следовательно,  $r = s - 1 - 2 = s - 3$ .

Определяется число степеней свободы  $r$  распределения  $\chi^2$ ; оно равно числу разрядов  $k$

минус число наложенных связей:  $\sum_{i=1}^8 p_i^* = 1$ ; 2)  $m = m_x^*$ ; 3)  $\sigma_x = \sqrt{D_x} = \sigma_x^*$ .

Известно, что при большом числе опытов среднее арифметическое наблюдаемых значений случайной величины сходится по вероятности к ее математическому ожиданию, а среднее арифметическое их квадратов – ко второму начальному моменту  $\alpha_2[X]$ . Когда задан группированный статистический ряд, то часто используются «грубые» моменты [6]. Для этого в качестве «представителя»  $j$ -го выбирается его середина  $x_j$  и этому значению приписывается частота  $p_j$ , равная отношению  $n_j$  к суммарному количеству всех испытаний  $N_k$ .

Приближенное значение статистического среднего находится обычным образом

$$m_{cx} = \sum_{j=1}^s x_{cj} \cdot p_{cj} \quad (1)$$

Статистический второй начальный момент находится так

$$\alpha_{c2}[X] = \sum_{j=1}^s (x_{cj})^2 \cdot p_{cj} \quad (2)$$

Значения статистической дисперсии и среднеквадратичного отклонения вычисляются по формулам:

$$D_{cx} = \alpha_{c2}[X] - m_{cx}^2, \quad \sigma_{cx} = \sqrt{D_{cx}} \quad (3)$$

Находится эмпирическое значение  $\chi_H^2$

$$\chi_H^2 = \sum_{i=1}^8 (n_i - N_k \cdot P_i)^2 / (N_k \cdot P_i) \quad (4)$$

Вероятность попадания значения случайной величины  $X$  с параметрами  $m_{cx}$  и  $\sigma_{cx}$  в отмеченные в исходных данных разряды  $(\beta_1, \beta_2)$ , вычисляется по формуле [1,2], [6]

$$P_i(\beta_1 < x_{cj} < \beta_2) = \Phi_0[(\beta_2 - m_{cx})/\sigma_{cx}] - \Phi_0[(\beta_1 - m_{cx})/\sigma_{cx}] \quad (5)$$

где  $\Phi_0(u)$  – нормированная функция Лапласа.

Известен ряд интерполяционных зависимостей для  $\Phi_0(x)$ . Приведем одну из них, обеспечивающую погрешность менее 1% [10], которая была использована в работе [7]:

$$\Phi_0(x) = 0,5\sqrt{1 - \exp(-0,511x^2)} / (1 + 0,1253x^2) \quad (6)$$

С целью расширения возможностей методики вместо табличных значений критических точек [2], [6] для распределения  $\chi^2$ , была использована аппроксимация Корниша–Фишера, справедливая для произвольного значения числа степеней свободы [8],

$$\chi_p^2(k) = k + \sqrt{k}G_1(x) + G_2(x) + G_3(x)/\sqrt{k} + G_4(x)/k + G_5(x)/k\sqrt{k} \quad (7)$$

где для краткости записи использованы следующие функции  $G_i(x)$ :

$$G_1(x) = \sqrt{2}x, \quad G_2(x) = 2(x^2 - 1)/3, \quad G_3(x) = x(x^2 - 7)/9\sqrt{2},$$

$$G_4(x) = -(6x^4 + 14x^2 - 32)/405, \quad G_5(x) = x(9x^4 + 256x^2 - 433)/(4860\sqrt{2}).$$

В качестве аргумента функций  $G_i(x)$  принята верхняя  $p$ -квантиль  $x = u_p$  стандартного нормального распределения, т.е.  $p = 1 - P(x < u_p)$ . Соответственно величина  $\chi_p^2$  удовлетворяет соотношению  $p = 1 - P(\chi^2 < \chi_p^2)$ .

Для нахождения  $u_p$  была использована следующая формула из справочника [8]

$$u_p = 4,91 \left[ (1 - p)^{0,14} - p^{0,14} \right] \quad (8)$$

которая имеет относительную погрешность менее 0,03%.

Расчет осуществлялся следующим образом. Уменьшалась последовательно вероятность от 1 до того значения, когда теоретическое значение критерия  $\chi_p^2$  превысит эмпирическое значение  $\chi_H^2$ . Тестирование программы проверки гипотезы о нормальном распределении генеральной совокупности по критерию Пирсона осуществлялось на примерах, приведенных в пособиях [2], [6].

В случае подтверждения выдвинутой гипотезы можно вычислить нижнюю и верхнюю доверительные границы для вероятности безотказной работы и времени наработки на отказ анализируемого энергетического оборудования по автоматизированной методике [7].

Таким образом, автоматизация алгоритма проверки гипотезы о нормальном распределении генеральной совокупности по критерию Пирсона расширяет возможности программного обеспечения (методы структурных схем, статистических испытаний и интенсивностей переходов), реализованного на Турбо Паскале [7], [9, 10].

#### Список литературы:

1. Надежность теплоэнергетического оборудования ТЭС и АЭС: /Г.П. Гладышев, Р.З. Аминов, В.З. Гуревич и др.– М.: Высшая школа, 1991. – 303 с.
2. Шубин В.С. Рюмин Ю.А. Надежность оборудования химических и нефтеперерабатывающих производств – М.: Химия, 2006. – 359 с.
3. Теория и техника теплофизического эксперимента: Учеб. пособие для вузов /Ю.Ф. Гортышов, Ф.Н. Дресвянников, Н.С. Идиатуллин и др.; Под ред. В.К. Щукина. – М.: Энергоатомиздат, 1985. 360 с.
4. Надежность санитарно-технической арматуры в эксплуатационных условиях/ А.П. Свинцов, А.Н. Малов, Ю.В. Николенко и др //Водоснабжение и санитарная техника 2009. –№6 – С.58–63
5. Анализ показателей надежности вспомогательного оборудования энергоблоков /К.Э. Аронсон, Ю.М. Бродов, П.Н. Плотников и др. //Теплоэнергетика – 2011 – №8 – С.2–7.
6. Гмурман В.Е. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике. – М.: Высшая школа, 1997.
7. Голдаев С.В., Коровина А.М., Радюк К.Н. Реализация в среде Турбо Паскаль методики прогнозирования показателей надежности объектов, подчиняющихся распределению Гаусса /Энергетика: эффективность, надежность, безопасность: Материалы докладов семнадцатой всероссийской научно-технической конференции - Томск: СПБ Графикс, 2011 - С. 194–196
8. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников – М.: Физматлит, 2006. – 816 с.
9. Голдаев С.В. Практикум по надежности и оптимизации систем теплоэнергоснабжения. – Томск: Изд-во ТПУ, 2005. – 100 с.
10. Голдаев С.В., Коровина А.М., Радюк К.Н. Автоматизация расчета показателей надежности объектов, подчиняющихся распределению Вейбулла-Гнеденко /Материалы шестнадцатой Всероссийской научно-технической конференции «Энергетика: эффективность, надежность, безопасность». – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – С.333–335.

#### Силовые коммутационные транзисторы на основе нитрида галлия для высокоэффективных вторичных источников электропитания

*Ерофеев Е.В., Казадей В.А. \*, Казимиров А.И., Федин И.В.*

*Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Россия, г. Томск*

*\*ЗАО «Научно-производственная фирма «Микран», Россия, г. Томск*

[erofeev@sibmail.com](mailto:erofeev@sibmail.com)

Приборы на основе нитрида галлия не новы. Они изучаются с 1980-х годов. Первыми приборами на нитриде галлия стали светодиоды, которые за последние 20 лет нашли широкое применение. Затем на передний план вышли AlGaN/GaN гетероструктурные полевые транзисторы, или транзисторы с высокой подвижностью электронов (HEMT), отличающиеся высокими значениями мощности и рабочей частоты. Они в основном применяются в высокочастотных усилителях мощности систем военного и гражданского назначения. Сегодня, когда растут требования к снижению энергопотребления и уменьшению габаритов электронной аппаратуры, GaN транзистор оказался одним из самых перспективных приборов, способных заменить мощные кремниевые полевые транзисторы в компактных импульсных источниках питания, DC/DC- преобразователях, разумных сетях электропитания, электроприводах [1]. Силовые GaN транзисторы, значительно превосходят характеристики своих кремниевых аналогов. К основным преимуществам которых можно отнести значительное уменьшение массо-габаритов, повышенный КПД, а также улучшенные надежность характеристики [2]. Поэтому исследования и разработки в данном направлении с каждым годом приобретают все большую актуальность.

В данной работе представлены результаты разработки силовых коммутационных транзисторов на основе нитрида галлия для создания высокоэффективных вторичных источников электропитания.

В экспериментах по созданию силовых GaN транзисторов использовались эпитаксиальные гетероструктуры, выращенные на подложках сапфира. Технологический маршрут изготовления транзистора включал в себя операции по формированию меза-изоляции с помощью плазмохимического травления гетероструктуры в индуктивно-связанной плазме, формирования омических контактов на основе композиции Ti/Al/Mo/Au, а также затворной металлизации на основе Pd. Формирование субмикронного затвора транзистора с длиной основания 0,5 мкм выполнялось методом электронно-лучевой литографии. Внешний вид и морфология поверхности элементов транзистора исследовались методом электронной микроскопии. Параметры изготовленных транзисторов по постоянному току исследовались с помощью измерителя характеристик полупроводниковых приборов Л2-56.

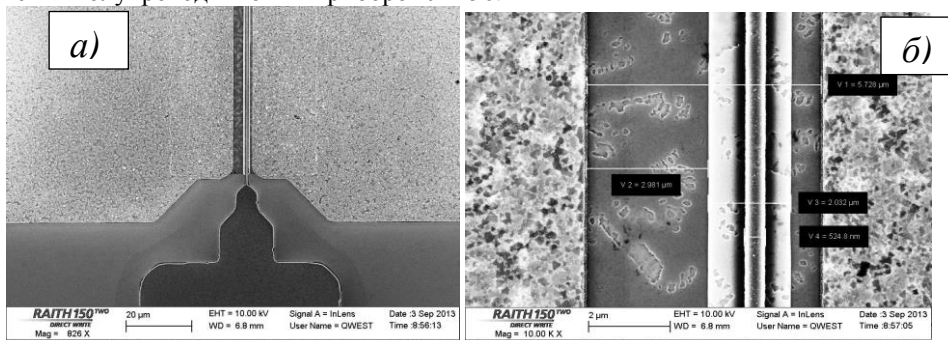


Рис. 1. Микроскопические изображения тестового GaN транзистора с шириной затвора  $W=100$  мкм (а) и канальной области транзистора (б)

Микроскопические изображения тестового GaN транзистора с шириной затвора  $W=100$  мкм, а также его канальной области приведены на рис.1.

На рис. 2 представлена типовая вольт - амперная характеристика разработанного нормально-закрытого GaN транзистора на пластине сапфира. Пороговое напряжение отпириания транзистора составило  $U_{пор} = +1.4$  В.

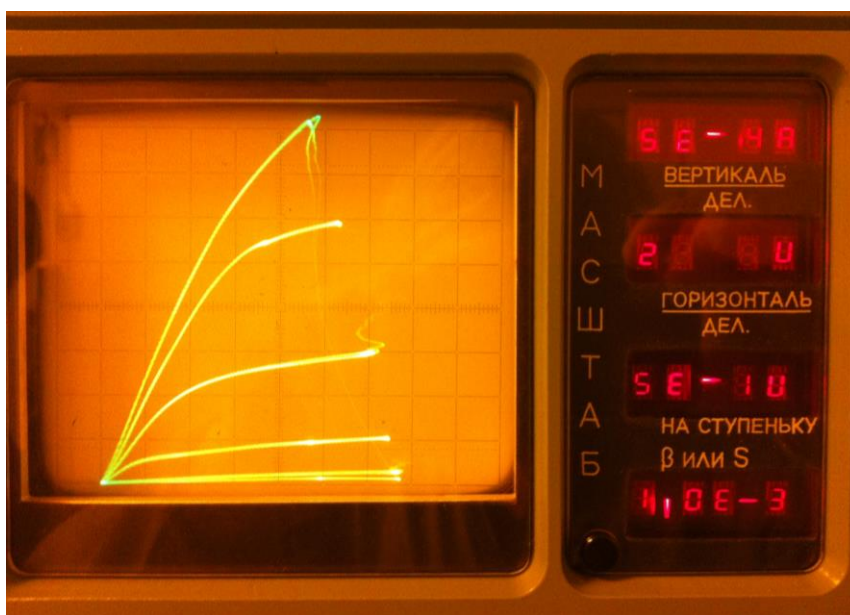


Рис. 2. Вольт-амперная характеристика тестового GaN транзистора на пластине сапфира

На рис. 3 представлено микроскопическое изображение периферии сильноточного GaN транзистора с шириной затвора  $W = 120$  мкм.

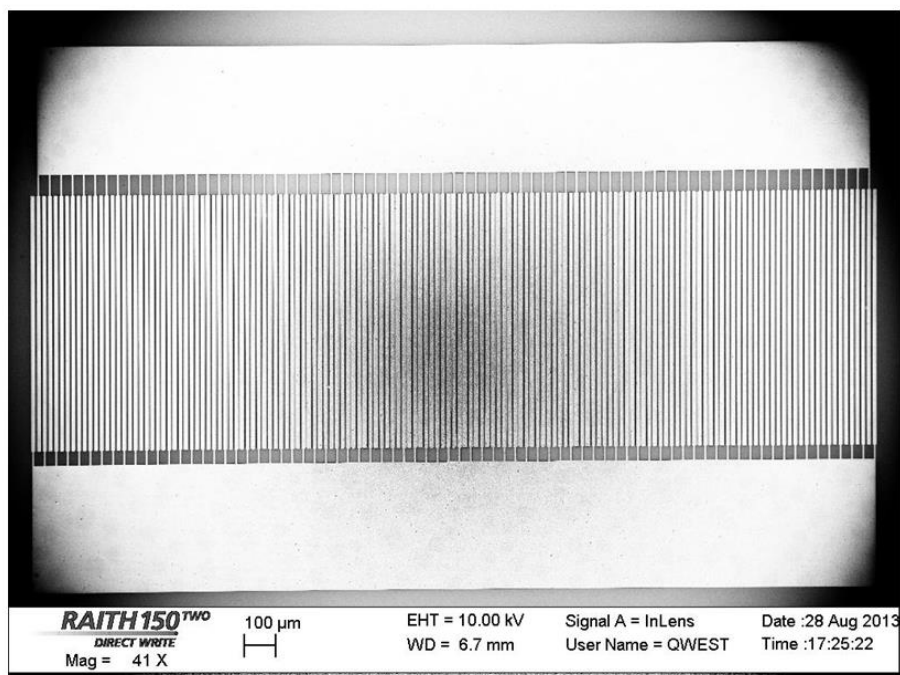


Рис. 3. микроскопическое изображение периферии сильноточного GaN транзистора с шириной затвора  $W = 120$  мкм

Следует сказать, что для различных конструкций GaN транзисторов при напряжении на затворе  $U_z = -5$  В и расстоянии сток-исток от 3,6 до 17,6 мкм получены напряжения пробоя между стоком и истоком от 120 до 250 В. При этом значения приведенного сопротивления транзистора в открытом состоянии составляют 0,2 и 5,8 мОм  $\times$  см<sup>2</sup>, соответственно.

Полученные в работе результаты измерения параметров транзисторов соответствуют зарубежным аналогам, представленным в работах [3]-[6], а также делают перспективным их использование при создании высокоэффективных вторичных источников электропитания.

#### Список литературы:

1. Briere M. GaN-based Power Device Platform. The arrival of a new paradigm in conversion technology. – [www.powersystemdesign.com](http://www.powersystemdesign.com)
2. GaN-on-Silicon wafers: the enabler of GaN power electronics. – Power Devices, 2012, №4, p. 6-9.
3. J. Würfl, O. Hilt, E. Bahat-Treidel, R. Zhytnytska, K. Klein, P. Kotara, F. Brunner, A. Knauer, O. Krüger, M. Weyers, G. Tränkle. Technological approaches towards high voltage, fast switching GaN power transistors // ECS Trans. – 2013. – V. 52. – №1. – PP. 979–989.
4. J. Würfl, O. Hilt, E. Bahat-Treidel, R. Zhytnytska, P. Kotara, O. Krüger, F. Brunner, M. Weyers. Breakdown and Dynamic Effects in GaN Power Switching Devices // 40th International Symposium on Compound Semiconductors (ISCS), Kobe, Japan, May 19-23. – 2013.
5. O. Hilt, E. Bahat-Treidel, E. Cho, S. Singwald and J. Würfl. Impact of Buffer Composition on the Dynamic On-State Resistance of High-Voltage AlGaIn/GaN HFETs // 24th Int. Symp. on Power Semiconductor Devices and ICs (ISPSD), Bruges, Belgium. – 2012. – V.14. – PP. 345–348.
6. G. Meneghesso, A. Zanandrea, A. Stocco, I. Rossetto, C. De Santi, F. Rampazzo, M. Meneghini, E. Zanoni, E. Bahat-Treidel, O. Hilt, P. Ivo, J. Würfl. GaN-HEMTs devices with Single- and Double-heterostructure for power switching applications // IEEE Int. Reliab. Phys. Symp. (IRPS), Monterey, CA, USA. – 2013. – PP. 3C1.1 – 3C1.7.

**Прогнозирование энергопотребления узла нагрузки с энергоемким нелинейным производством**

**Зайцева Н.М.**

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г.Томск  
[zaitzevns@mail.ru](mailto:zaitzevns@mail.ru)*

Актуальность темы. Важнейшим критерием управления энергосистемой является: определение объемов энергопотребления для подключения необходимых мощностей, производящих электроэнергию, или их отключения и поддержание равномерности электрической нагрузки в целом. Большинство энергосистем на территории РФ имеют в своей структуре мощные узлы нагрузки, представляющие собой крупные промышленные предприятия. При переходе к рыночным отношениям между производителями и потребителями электрической энергии задача определения объема энергопотребления предприятиями приобретает весомую экономическую окраску [1,2]. При этом, при оформлении договора купли-продажи электроэнергии (мощности) необходимыми приложениями являются: «Заявка на плановый объем потребления электрической энергии и максимальной мощности» и «Заявка на плановое почасовое потребление электрической энергии».

Потребление электроэнергии предприятий с линейным дискретным производством прямо пропорционально производимой продукции, и для его определения могут быть использованы модели и методы, основанных на статистике. Для ряда нелинейных инерционных и нелинейных многономенклатурных производств эта зависимость весьма сложная, и из-за их особенностей воспользоваться регрессионными моделями не представляется возможным, поэтому решение данной задачи должно основываться на детерминированных моделях производственного процесса, основанных на материальном балансе.

При этом, необходимо учитывать, что одним из основных критериев при управлении подобными предприятиями, как и любыми другими, является минимизация себестоимости выпускаемой продукции при постоянном изменении внешних воздействий: больших вариаций в выборе поставщиков сырья и энергоресурсов, а так же соотношений цен на последние, а в качестве дополнительных критериев могут быть выдвинуты и минимизация затрат электроэнергии, минимизация отходов и т.п. Ввиду нелинейности рассматриваемого производства переход на оптимальный (с точки зрения себестоимости) режим может вызвать резкое увеличение или уменьшение энергопотребления, что необходимо учитывать при составлении почасовых графиков потребления электроэнергии.

Очевидно, что для решения такой сложной задачи требуется разработка инструментария для ЛПР (лиц, принимающих решение), основанного на базе знаний о данном производстве, способного решать оптимизационные задачи при поиске стратегии управления им и определения его энергопотребления в различных режимах, а также для выработки стратегии, позволяющей выравнять электрическую нагрузку энергосистемы, в которой функционирует данное предприятие.

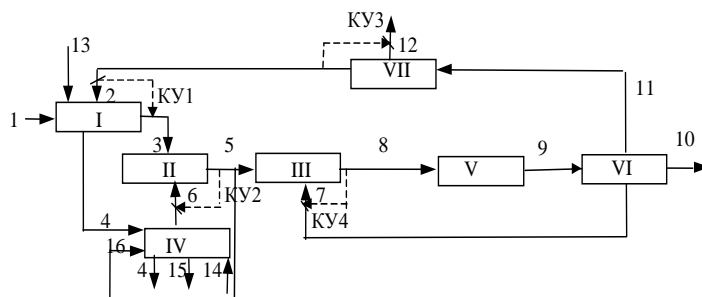


Рис. 1. Принципиальная структура статической модели производства

Решение поставленной задачи предлагается на примере глиноземного производства, являющимся нелинейным инерционным и замкнутым [3], для которого была разработана упрощенная статическая модель (МП). Все производство было представлено в виде семи блоков, образующих технологический цикл Байера (рис. 1). Блок I – выщелачивание боксита, блок II – разбавление бокситовой пульпы щелочной водой с промывки шлама, блок III – смешение пульпы с затравочным глиноземом, блок IV – блок промывки шлама с целью извлечения щелочи, блок V – разложение пульпы с получением глинозема, блок VI – разделение на щелочной раствор,

продукционный и затравочный гидрат, VII – выпаривание оборотного щелочного раствора до требуемой концентрации. Модель имеет четыре контура управления (КУ1-КУ4), с помощью которых поддерживается концентрационный режим технологических переделов. Входные и выходные потоки семи блоков-переделов производства обозначены на схеме оцифрованными стрелками.

В основу моделирования  $j$ -тых блоков-переделов ( $j=I, II, \dots, VII$ ) положены нелинейные алгебраические уравнения материального баланса, записываемые для всех  $i$ -тых потоков ( $i=1, 2, \dots, 16$ ), проходящих через моделируемый блок:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^{16} K_{ij} \cdot B_i \cdot G_i \cdot F_i = 0 & \quad \sum_{i=1}^{16} L_{ij} \cdot A_i \cdot G_i \cdot F_i = 0 \\ \sum_{i=1}^{16} H_{ij} \cdot F_i \cdot G_i = 0 & \quad \sum_{i=1}^{16} I_{ij} \cdot F_i = 0 \\ \sum_{i=1}^{16} J_{ij} \cdot F_i \cdot D_i = 0 & \quad M_i = 1.645 \cdot \frac{B_i}{A_i} \end{aligned}$$

где  $F_i$  - расходы растворов,  $D_i$  - плотности растворов,  $H_{ij}$  - весовое соотношение жидкого к твердому,  $A_i$  и  $B_i$  - концентрации жидкой фазы  $Al_2O_3$  и  $Na_2Ox$  соответственно,  $G_i$  - концентрации твердой фазы  $Al_2O_3$ ,  $I_i$ ,  $K_i$ ,  $L_i$  - функции  $i$ -го потока, имеющие положительное значение, если поток входящий, и отрицательное, если выходящий и равные 0, если данный поток не проходит через моделируемый блок.

В основу моделирования блока V (кинетики перехода оксида алюминия из раствора в твердую фазу) положено кинетическое уравнение 2-ого порядка:

$$\frac{dA}{dt} = -R_d \cdot K_d \cdot (A - A_p)^2$$

где  $A$  - концентрация оксида алюминия в растворе,  $A_p$  - его равновесная концентрация,  $l$  - длительность процесса разложения,  $K_d$  - константа скорости реакции. Величины  $K_d$  и  $A_p$  имеют экспоненциальную зависимость от показателей состава раствора и его температуры.

$$P = K_3 \cdot \sum_{i=1}^{16} K_{i3} \cdot F_i$$

Энергопотребление всего производственного кольца рассчитывается по формуле: Здесь  $K_{i3}$  – коэффициенты распределения затрат электроэнергии вдоль гидрохимического кольца (кВт.ч/ед.изм.Ф), их значения определяются мощностями приводов, насосов, мешалок и т.п.  $K_3$  поправочный коэффициент, отражающий долю не учтенных затрат электроэнергии.

Полученная модель имеет входные величины  $X$ , определяемые наличием четырех контуров управления (см. рис.1) КУ1-КУ4, контролируемые внешние воздействия  $Z$  (состав боксита, температура в декомпозиерах и т.п.) и выходные  $P$  (энергопотребление) и  $Y$  (концентрационные параметры производства).

Из выходных величин  $Y$  были выделены 3 значения, нуждающиеся в идентификации. Для соответствия их рассчитываемых значений реальным введены три идентификационных параметра, представляющие собой вектор идентификации модели  $U$ , и определен идентификационный критерий, позволивший реализовать алгоритм автоматической идентификации одним из методов: случайного поиска или градиентного спуска. После идентификации модели расхождение расчетных значений с реальными не превышало 2%.

Ввиду нелинейности глиноземного производства при переходе на другие технологические режимы может произойти резкое увеличение или уменьшение энергопотребления. Поэтому была разработана динамическая модель производства (МД), где структура производства, изображенная на рис.1, была изменена следующим образом: блок V был заменен последовательностью блоков, имитирующих работу аппаратов-декомпозиеров, описываемых системой дифференциальных уравнений. Помимо этого модель производства была дополнена обобщенной буферной емкостью.

Так как полученная модель содержит системы нелинейных алгебраических и дифференциальных уравнений, которые решались с помощью численных методов, то была произведена оценка ошибки модели. При моделировании на отрезке времени в 100 часов погрешность решения составила 3%, что вполне удовлетворяет цели разработки модели. В

результате были получены графики изменения энергопотребления при переходе на другие технологические режимы. Два из них представлены на рисунке ниже.

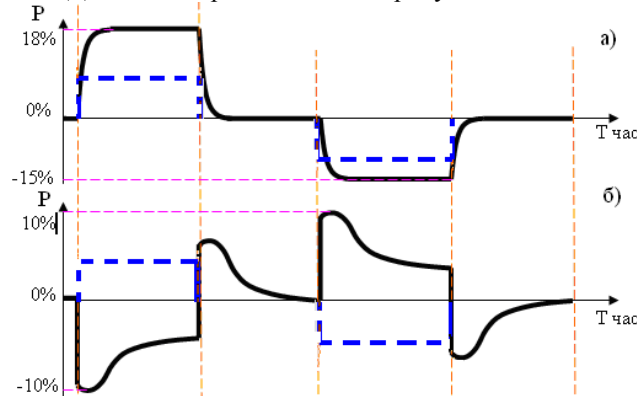


Рис.2. Реакция изменения энергопотребления P (сплошная линия) глиноземного производства при скачкообразном изменении (пунктирная линия) на 6% параметров относительно номинальных значений: каустического модуля М3(а), и содержания затравочного гидрата(б). Цена деления оси абсцисс – 120 часов

Для решения задачи определения стратегии управления предприятием в современных условиях рынка разработана модель оперативного управления(МОУ) в зависимости от цен на энергоресурсы и сырье[4]. Для глиноземного производства минимизация себестоимости осуществляется путем корректировки заданных концентрационных режимов участков. Себестоимость вычисляется с помощью выражения:

$S = C \cdot Q(X) \rightarrow \min$ , где  $Q(X) = \{Q_6, Q_n, Q_k, Q_3\}$  - вектор-столбец расходных коэффициентов (боксит, пара, каустика и электроэнергии соответственно) сырья и энергоносителей на 1 тонну глинозема, определяемых формулами (1),  $C = \{C_6, C_n, C_k, C_3\}$  - вектор-строка соответствующих цен, которые в современных условиях характеризуются нестабильностью.

$$Q_6 = K_6 \frac{F_1}{0.629F_{10}}, \quad Q_n = K_n \frac{K_{вып} F_{12}}{0.629F_{10}}, \quad Q_k = K_k \frac{F_{13}}{0.629F_{10}}, \quad Q_3 = K_3 \sum_{i=1}^{16} \frac{K_{эi} F_i}{0.629F_{10}} \quad (1)$$

Здесь  $K_{вып}$  - коэффициент расхода пара на 1м3 упаренной воды (Гкал/м3).  $K_{эi}$  - коэффициенты распределения затрат электроэнергии вдоль гидрохимического кольца (кВт.ч/ед.измерений F), их значения определяются мощностями приводов насосов, мешалок и т.п.  $K_6, K_n, K_k, K_3$  - поправочные коэффициенты, отражающие долю не учитываемых моделью затрат боксита, пара, каустика, электроэнергии и погрешности моделирования влияния концентрационного режима на составляющие себестоимости.

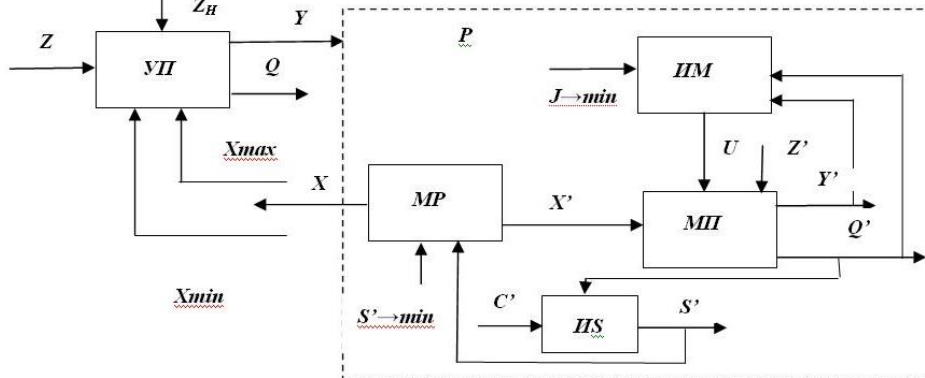


Рис.3. Структура модели оперативного управления производством(МОУ)

На рис.3 блоком УП обозначено собственно производство, X- вектор режимных параметров, Xmin, Xmax- допустимый диапазон его изменения, Z- контролируемые, ZH - неконтролируемые внешние воздействия, Y - вектор выходных параметров, Q- вектор расходных



коэффициентов, Р -регулятор (на рисунке он выделен пунктирной линией), МП – статическая модель производства, X', Z'- оценочные значения параметров производства и контролируемых внешних воздействий соответственно, Y', Q'- вектора выходных параметров и расходных коэффициентов соответственно, вычисляемые с помощью модели, ИМ – блок идентификации модели, J – критерий идентификации, U – вектор идентификационных коэффициентов модели, IS – блок расчета себестоимости, C' – вектор оценочных значений цен, S'- оценочное значение себестоимости, МР- блок моделирования параметров производства, S'→min – критерий выбора параметров.

Выводы

Предлагается следующая стратегия повышения эффективности функционирования подобных предприятий, являющихся мощными узлами нагрузки:

- 1) определение оптимального, с точки зрения себестоимости, режима функционирования предприятия с помощью модели МОУ,
- 2) расчет объема энергопотребления производством при этом режиме с помощью статической модели (МП),
- 3) определение с помощью модели МД и на основе тарифов на электроэнергию в разное время суток почасового потребления электроэнергии.

#### Список литературы:

1. Постановление Правительства РФ от 27.12.2010г. № 1172 «Об утверждении правил оптового рынка электрической энергии и мощности и о внесении изменений в некоторые акты правительства российской федерации по вопросам организации функционирования оптового рынка электрической энергии и мощности».
2. Постановление правительства РФ от 4.05.2012 г. № 442 (ред. от 29.12.2011) «Основные положения функционирования розничных рынков электрической энергии»
3. Зайцева Н.М. Выравнивание графика электрической нагрузки для глиноземного производства. // Промышленная энергетика. 2012. № 8.
4. Зайцева Н.М. Оперативное управление нелинейным инерционным энергоемким производством // Журнал «Проблемы энергетике» № 1-2 2012г, Россия, г.Казань.

#### О сокращении номенклатуры показателей надежности цифровых устройств релейной защиты

Захаров О.Г.

НТЦ «Механотроника»

zaharov\_og@mtrele.ru

Обоснована возможность исключения из нормативных документов показателей надежности, в названии которых использованы слова «требование на срабатывание».

В отношении цифровых устройств релейной защиты до настоящего времени действует руководящий документ [1], утвержденный в 1997 году, базирующийся на требованиях разработанного практически за 10 лет до этого стандарта [2].

Из множества показателей надежности цифровых устройств релейной защиты, зафиксированных в [1], обратим внимание на те, в названии которых использованы слова «требование на срабатывание»:

- средняя вероятность отказа в срабатывании устройства за год (при появлении требования);

- параметр потока ложных срабатываний устройства в год (при отсутствии требования).

Следует отметить, что в технической и нормативной литературе определение понятия, обозначаемого термином «требование на срабатывание» отсутствует.

Эти два показателя можно встретить практически во всех работах по надежности цифровых устройств релейной защиты, а также в других работах, например посвященных надежности пожарных извещателей.

Выбирая любое из рекомендованных значений того или иного показателя и фиксируя их в технических условиях на изделие [5, 6], разработчик и производитель должны предусмотреть методику оценки их фактических значений.

Рассмотрим сами показатели подробнее. Первый из двух рассматриваемых показателей, характеризует совмещение двух независимых событий:

- отказ устройства (событие А);
- требование на срабатывание (событие В).

В теории надежности отказ устройства рассматривается как случайное событие, заключающееся в том, что объект полностью или частично перестает выполнять заданные функции.

Точно таким же событием является формирование условий, совокупность которых можно представить как требование на срабатывание.

Если вероятность отказа цифрового устройства зависит от его надёжности, то возникновение требования на срабатывание определяется характеристиками энергосистемы, в которой это устройство эксплуатируется.

Как известно [7], вероятность одновременного возникновения двух независимых событий может быть определена как произведение вероятностей каждого из этих событий:

$$P(AB) = Q(A) \times P(B), \quad (1)...$$

где  $Q(A)$  – вероятность отказа устройства;

$P(B)$  – вероятность появления требования на срабатывание.

Из сказанного следует, что данный показатель нельзя отнести к индивидуальным характеристикам надёжности устройства, так как его значение зависит и от свойств системы, в которой используется цифровое устройство.

Для оценки вероятности отказа устройства  $Q(A)$  воспользуемся результатами, полученными в [8, 9].

При наработке на отказ  $T_0 = 125000$  часов вероятность безотказной работы устройства за первый год (8760 часов) эксплуатации составит (рис. 1):

$$P(A) = e^{-t/T_0} = e^{-8760/125000} = 0,932. \quad (2)...$$

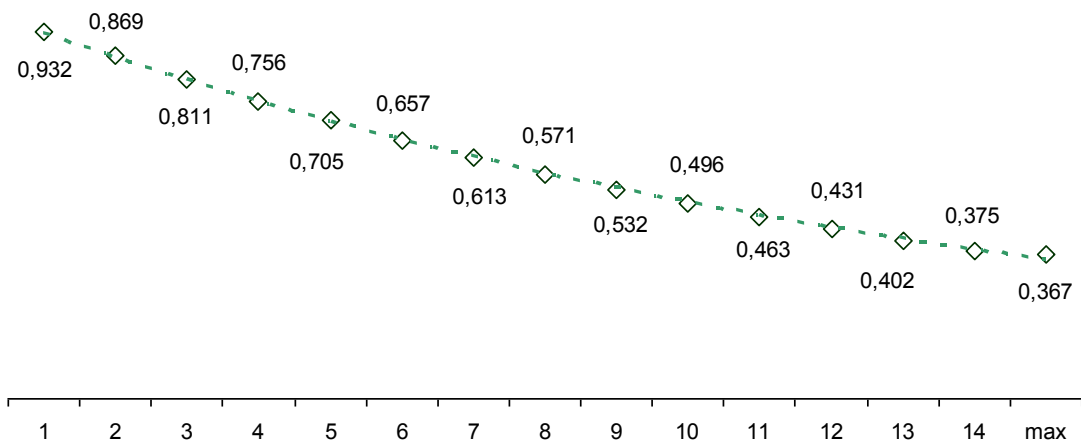


Рис.1 Изменения вероятности безотказной работы устройств при  $T_0=125000$  час

Вероятность отказа устройства  $Q(A)$  для первого года найдём по формуле для суммы противоположных событий:

$$Q(A) = 1 - P(A) = 1 - 0,932 = 0,068. \quad (3)...$$

Если ориентироваться на заведомо наихудший случай и предположить, что при отказе устройства оба события – появление требования на срабатывание устройства, формируемого электрической системой, или отсутствие требования на срабатывание – равновероятны, можно оценить значение вероятности события В как  $P(B) = 0,5$ .

Подставив значения  $Q(A)$  и  $P(B)$  в формулу (2) можно получить следующую грубую (явно завышенную) оценку значения показателя «средняя вероятность отказа в срабатывании устройства за первый год (при появлении требования)» для рассматриваемого класса цифровых устройств:

$$P(AB)_{0,5} = Q(A) \times P(B) = 0,068 \times 0,5 = 0,034. \quad (4)...$$

Однако на самом деле значение  $P(B)$  значительно меньше 0,5, так как в любой электрической системе «требование на срабатывание» формируется ограниченное количество раз, а всё остальное время для системы характерно отсутствие «требования на срабатывание».

Для получения более точной оценки показателя необходимо знать количество срабатываний защит в электрической системе за год и количество отказавших за этот же период цифровых устройств.

Например, по данным ООО «НТЦ «Механотроника», в 2011 году к цифровым блокам релейной защиты, эксплуатирующимся на энергетических объектах ОАО «Российские железные дороги» была предъявлена одна претензия. За тот же период на этих объектах зафиксировано 515 отключений. В данном случае значение  $P(B)$  может быть оценено как  $1/515 = 0,0019$ .

Кроме того, следует учитывать, что на любом энергетическом объекте одновременно находятся в эксплуатации изделия с разной наработкой. Так как с увеличением наработки вероятность отказа будет только расти, то вероятность отказа устройства для первого года работы можно рассматривать как минимальное значение для любого из цифровых устройств, установленных на данном энергетическом объекте.

Учитывая это и подставив полученное значение  $P(B)$  в формулу (2), можно найти:

$$P(AB)_{\min} = 0,068 \times 0,0019 = 0,00013. \quad (5)...$$

Напомним, что в документе [1] рекомендуется выбирать одно из двух значений средней вероятности отказа в срабатывании устройства за год (при появлении требования):  $1 \times 10^{-5}$  или  $1 \times 10^{-6}$  (размерность отсутствует).

Для второго показателя в этом же документе рекомендованы иные значения, отличающиеся на порядок:  $1 \times 10^{-6}$  или  $1 \times 10^{-7}$  (размерность также отсутствует).

Примечательно, что рекомендованные значения для второго из рассматриваемых показателей приведено и в стандарте [4], но представляет собой величину совсем другого порядка –  $0,0011/\text{год}$ .

Полученное по формуле (5) значение  $P(AB)_{\min} = 0,00013$  для изделий с наработкой на отказ  $T_0 = 125000$  на первый взгляд представляется не соответствующим ни одному из двух значений ( $1 \times 10^{-5}$  или  $1 \times 10^{-6}$ ), рекомендованных в руководящем документе [1], и отличается от них не менее чем на порядок.

Для значения  $Q(A) = 1 \times 10^{-5}$ , установленного в документе [1] вероятность безотказной работы изделия составит:

$$P(A) = 1 - Q(A) = 1 - 0,00001 = 0,99999. \quad (6)...$$

Используя формулу (2) можно определить минимальное значение наработки на отказ  $T_0\phi$ , которое соответствует значению  $P(A) = 0,99999$ :

$$T_0\phi = -8760 / \ln 0,99999 = -8760 / (-0,00001) = 876 \times 106. \quad (7)...$$

Таким образом, оказывается, что при  $Q(A) = 1 \times 10^{-5}$  фактическое значение наработки на отказ  $T_0\phi$  должно, как минимум, в несколько тысяч раз превышать рекомендованное значение наработки на отказ  $T_0 = 125000$  часов, заданное в этом же документе.

Произведённые по формулам (2), (6), (7) вычисления позволяют обоснованно предположить, что в руководящем документе [1] некорректно заданы значения вероятности отказа в срабатывании устройства.

При необходимости оценки вероятности безотказной работы за второй и последующие годы эксплуатации использовать формулу (2) нельзя, так как после подстановки в неё значения  $t = n \times 8760$  (количество часов в  $n$  годах продолжительностью каждый 365 дней) получим значение вероятности безотказной работы за  $n$  прошедших лет, а не за  $n$ -ый год.

Предположив, что за каждый год работы изделия наработка на отказ уменьшается на значение  $t = 8760$ , можно предложить формулу (8), которая позволит оценить вероятность безотказной работы за  $n$ -ый год:

$$P(A) = e^{-8760/[T_0 - (n - 1) 8760]} = e^{-1/[T_01 - (n - 1)]}, \quad (8)...$$

где  $n = 1, 2, 3, \dots$  - год, для которого необходимо оценить вероятность безотказной работы;

$T_01$  – наработка на отказ в годах.

При  $n = 1$  (то есть для первого года) формула (8) даёт тот же результат, что и формула (2). Одинаковый с формулой (2) результат формула (8) даёт и для того года, когда наработка на отказ  $T_0$  будет «израсходована» полностью (рис. 2).

Особенностью данного графика является ограниченная область определения: при превышении фактическим временем текущей наработки заданного времени наработки на отказ  $T_01 > T_0$  формула (8) теряет физический смысл.

Здесь необходимо ещё раз обратить внимание на то, что показатели  $P(A)$  и  $Q(A)$  характеризуют надёжность отдельного цифрового устройства, тогда как вероятность появления требования на срабатывание определяется характеристиками электрической системы, в которой установлены эти устройства. Именно эта особенность и делает неправильным включение

показателя «средняя вероятность отказа в срабатывании устройства за год (при появлении требования)» в руководящий документ [1] и, как следствие, в технические условия на цифровой блок релейной защиты [9, 10].

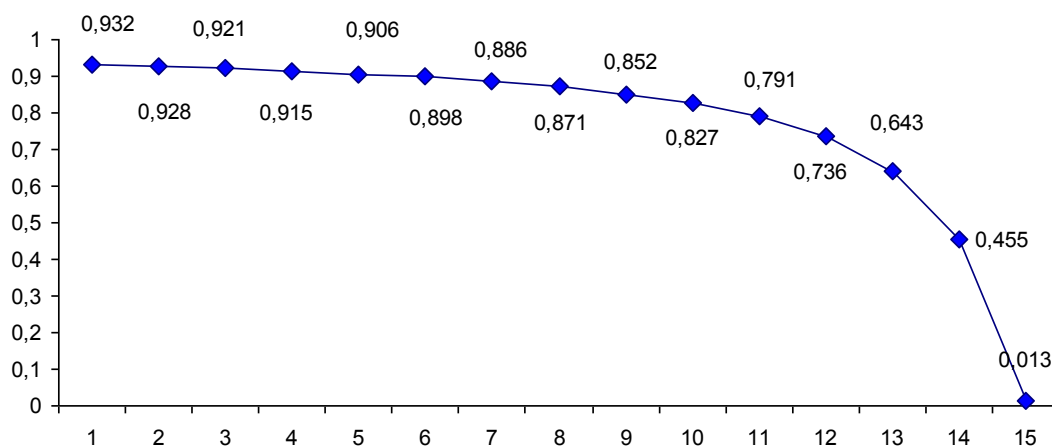


Рис. 2 Вероятность безотказной работы устройства в n-ом году при  $T_0 = 125000$  часов ( $T_{01} = 14,23$  года)

Второй из рассматриваемых в этой работе показателей - «параметр потока ложных срабатываний устройства в год (при отсутствии требования)» - также характеризует совмещение двух независимых событий:

– ложное срабатывание устройства (событие C), которое зависит от надежности этого устройства;

– отсутствие требования на срабатывание (событие D).

Если использовать терминологию, установленную в [4] то название этого показателя надежности должно быть сформулировано так:

- параметр потока ложных срабатываний устройств  $w$ , где ложное срабатывание – срабатывание при отсутствии требований.

Данное определение термина лучше, чем используемое многими специалистами определение ложного срабатывания, как срабатывания при отсутствии короткого замыкания [10]. Если ограничиться последним определением, то из рассмотрения оказываются исключенными те алгоритмы защиты, автоматики и сигнализации, условия срабатывания которых не связаны с наличием или отсутствием короткого замыкания.

В некоторых работах по релейной защите, например в [10], ложное срабатывание наряду с излишним срабатыванием и другими неправильными действиями защиты, отнесены к отказам функционирования релейной защиты, что нельзя считать корректным для отдельного устройства в составе системы релейной защиты.

Ложные срабатывания устройств могут происходить по разным причинам, далеко не всегда имеющим отношения к надежности устройства релейной защиты.

Часть внешних причин, вызывающих ложное срабатывание устройства, обусловлена поступлением на различные порты устройства электромагнитных помех, на которые оно реагирует так, как если бы соответствующий алгоритм сформировал требование на срабатывание.

Для исключения таких причин ложных срабатываний, устройства должны отвечать определенным требованиям по электромагнитной совместимости.

Даже если цифровое устройство отвечает всем требованиям по помехозащищенности, при проектировании электроустановки необходимо

руководствоваться рекомендациями, изложенными в отраслевых нормативных документах [12, 13, 14].

Для систем релейной защиты характерна ещё одна группа внешних воздействий, в результате воздействия которых исправное цифровое устройство формирует требование на срабатывание, а произошедшее после этого срабатывание цифрового устройства будет оценено как ложное.

Для исключения таких срабатываний в системах релейной защиты предусматривают блокирующие устройства (см., например, [15], с. 243), а в цифровых устройствах – алгоритмы, блокирующие их работу.

Правильнее такие причины рассматривать как дефекты схемных решений [16], приводящие к некорректной работе устройств или алгоритмов защиты.

Суммируя все сказанное можно утверждать, что рассмотренные внешние причины нельзя отнести к характеристикам надежности цифрового устройства релейной защиты.

Непрерывное наблюдение за работой цифровых устройств производства НТЦ «Механотроника» подтверждает, что именно несоблюдение рекомендаций, приведенных в отраслевых документах [12, 13] наиболее часто является внешними причинами ложных срабатываний цифровых устройств при отсутствии требования на срабатывание.

Для характеристики надежности отдельного устройства целесообразно рассматривать только те срабатывания, которые вызваны внутренними причинами, когда отказ того или иного элемента устройства приводит к срабатыванию устройства таким образом, как оно сработало бы при наличии требования на срабатывание.

Такой подход позволяет статистически определить показатель «поток ложных срабатываний», характеризующий надежность устройства, по формуле, аналогичной применяемой для оценки потока отказов  $\mu(t)$  в стандарте [3]:

$$w(t) = [R(t_2) - R(t_1)] / t_2 - t_1, \quad (9)...$$

где  $w(t)$  – параметр потока ложных срабатываний

$R(t_2)$  – количество ложных срабатываний к моменту времени  $t_2$ ;

$R(t_1)$  – количество ложных срабатываний к моменту времени  $t_1$ ;

Причем  $t_1 \leq t \leq t_2$ .

Кроме этого, для оценки верхнего значения этой характеристики устройства можно рассматривая все отказы устройства за время наблюдения как его ложные срабатывания, а для оценки потока ложных срабатываний использовать формулу, приведенную в стандарте [3]:

$$w(t)_{\max} < 1/T_0, \quad (10)$$

где  $w(t)_{\max}$  – верхняя граница параметра потока ложных срабатываний

$T_0$  – наработка на отказ.

В связи с тем, что основные причины ложных срабатываний являются внешними по отношению к устройству, не зависят от его надежности, а определяются принятыми схемными решениями и корректным соблюдением

требований по электромагнитной совместимости, регламентированных нормативными документами, использование показателя «параметр потока ложных срабатываний  $w$ » в технических условиях на цифровые устройства требует дополнительного обоснования.

#### Список литературы:

1. РД 34.35.310-97 Общие технические требования к микропроцессорным устройствам защиты и автоматики энергосистем. // М.: ОРГРЭС, 1997, 36 с.
2. ГОСТ 4.185-85. Система показателей качества продукции. Устройства комплектные низковольтные. Номенклатура показателей. М.: Издательство стандартов. 1985.
3. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. М.: Издательство стандартов, 1991
4. ГОСТ 25804.2-83 Аппаратура, приборы, устройства и оборудование систем управления технологическими процессами атомных электростанций. Требования по надежности.
5. ДИВГ.648228.001 ТУ. Блоки микропроцессорные релейной защиты БМРЗ. Технические условия.
6. СТО ДИВГ-050-2012. Блоки микропроцессорные релейной защиты БМРЗ. Технические условия.
7. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. М.: Наука, 1969, 576 с.
8. Гондуров С.А., Захаров О.Г. Определение наработки на отказ по результатам эксплуатации. // Вести в электроэнергетике, №1, 2010, С. 22.
9. Гондуров С.А., Захаров О.Г. Способ оценки наработки на отказ по результатам эксплуатации для устройств релейной защиты и автоматики // СТА (Современные технологии автоматизации) №3, 2010, С. 88.
10. А. Шалин. Микропроцессорные реле защиты: необходим анализ эффективности и надежности // Новости электротехники, №2 (38), 2006, С15.
11. ГОСТ 26291-84 (СТ СЭВ 4334-83). Надежность атомных станций и их оборудования. Общие положения и номенклатура показателей. М.: Издательство стандартов, 1985
12. СТО 56947007-29.240.043-2010. Руководство по обеспечению электромагнитной совместимости вторичного оборудования и систем связи электросетевых объектов. М.: НТФ «Энергопрогресс»,

- «Энергетик», 2010, 170 с.
13. СТО 56947007-29.240.044-2010. Методические указания по обеспечению электромагнитной совместимости на объектах электросетевого хозяйства. М.: НТФ «Энергопрогресс», «Энергетик», 2010, 170 с.
  14. Р 78.36.013-2002. Рекомендации. Ложные срабатывания технических средств охранной сигнализации и методы борьбы с ними. М.: МВД РФ, 2002
  15. Чернобровов Н.В., Семенов В.А. Релейная защита энергетических систем. М., Энергоатомиздат, 1998, 800 с.
  16. Захаров О.Г. Определение дефектов в релейно-контакторных схемах. М.: Росагропромиздат, 1991, 184 с.

### Децентрализованные системы энергообеспечения

*Золотов В.П.*

*Самарский государственный технический университет, Россия, г. Самара  
zolotovvp@mail.ru*

Централизованные системы энергообеспечения – предоставление потребителю электроэнергии и тепла - не способны обеспечить нужды последнего в полной мере и по разумной цене. Непрерывное увеличение их тарифов заставляет задумываться о возможностях альтернативных способов энергообеспечения. Выходом здесь может оказаться децентрализованное или локальное энергообеспечение, при котором необходимые количества электроэнергии и тепла в меньших объёмах под нужды отдельного жилого микрорайона, жилого посёлка, предприятия или коттеджного объединения вырабатываются непосредственно в месте их потребления в едином технологическом процессе. Такая организация производства энергии обладает рядом существенных преимуществ по отношению к централизованным:

1. Передача энергии потребителю происходит с некоторыми потерями. Минимизация потерь при транспортировке электроэнергии на большие расстояния обеспечивается повышением рабочего напряжения до 220 кВ (и ставится задача построения линий электропередачи на напряжения 500 и более кВ). В правительственных документах названы величины потерь по электроэнергии в 30% [1], потери по теплу в [2] определены тоже на уровне в 30%. Финансовые вложения на обеспечение передачи энергии значительны. Поставщик все расходы перекладывает на потребителя, повышая тарифы.

В локальных системах эти потери не существенны.

2. В централизованных системах энергообеспечения чаще всего реализуется отдельный способ выработки электроэнергии и тепла, который обеспечивает среднее по России значение КПД производства электроэнергии в 25% и тепла в 85-90% [4]. В итоге в лучшем случае общий коэффициент полезного использования потенциала сожжённого топлива оказывается на уровне в 55% [4,5]. В децентрализованных системах целесообразно организовывать единый технологический процесс их получения, дающий возможность после производства электроэнергии обеспечить утилизацию остающегося тепла на нужды теплоснабжения. Этими мерами общий коэффициент использования потенциала сожжённого топлива повышается до общего уровня в 90% [5], снижая себестоимость процесса и уменьшая тарифы. Кроме того, следует учесть факт, что в централизованных системах производства электроэнергии тарифы для потребителя в восемь-десять [3,4] раз превышают себестоимость её производства в локальных системах с целью аккумуляирования энергетиками финансы к строительству новых энергопроизводящих мощностей (за последние двадцать лет не построено ни одного крупного энергоузла, «...ввод в действие новых производственных мощностей сократился от 2 до 6 раз...» [1]). Следовательно, в локальных системах тарифы для потребителя в большей степени будут определяться стоимостью первичного энергоносителя (природного газа или жидких нефтепродуктов), эксплуатационных расходов и ориентировочно составят:

- по электроэнергии -1 руб./кВт-час для систем с утилизацией тепла на нужды теплоснабжения или 1.5 руб./кВт-час для систем без утилизации (платим 3,0 и более рубля за кВт-час);

- по теплу 500-600 руб./Гкал (платим 1000 и более рублей за Гкал).

3. В централизованных системах отопления в распределённой трубопроводной сети находится большое количество горячей воды. Изменения температуры наружного воздуха в зимнее время приводят к необходимости регулирования температуры теплоносителя для сохранения ком-

фортных условий в жилых помещениях потребителя. Но при объёмах 10 000 м<sup>3</sup> воды и более в сети трубопроводов система теплоснабжения становится практически не управляемой из-за большой её инерционности – изменения температуры горячей воды у потребителя происходят через 20-26 часов после её корректировки на выходе котельного агрегата. На улице стало теплее, а батареи отопления по-прежнему усиленно греют квартиру. Типичными становятся ситуации «перетопа» и «недотопа» - дискомфорт жилых помещений, приводящие к перерасходу энергоносителя. Системы теплоснабжения подавляющего большинства городов, особенно малых, работают с перерасходом (за один отопительный сезон) [2]:

- топлива - не менее 15-20 %;
- электроэнергии - 40% и более за отопительный сезон.

В локальных системах эти проблемы отсутствуют, а системы управления легко решают проблемы автоматической корректировки температуры теплоносителя в зависимости от погоды.

4. В централизованных системах теплоснабжения для уменьшения коррозии оборудования и труб распределённой сети в воду добавляют некоторые химические соединения, которые оказывают вредное воздействие на организм человека. Экологические службы не всегда могут проследить соответствие их содержания требуемым гигиеническим нормам. Зачастую после купания в ванной человек ощущает раздражение кожи из-за воздействия этих химических реагентов. Инерционность мышления руководителей служб теплоснабжения мешает внедрению иных путей борьбы с этими явлениями, хотя существуют проверенные способы безреагентной обработки сетевой воды [7]. В локальных системах, меньших по масштабу и сложности, все эти вопросы легче решаются, легче реализуются новые технические возможности организации их работы.

5. Для централизованных систем характерна значительная изношенность всего технологического оборудования (по официальным данным степень изношенности достигает 60-65%), около 50% объектов коммунального теплоснабжения и инженерных сетей требуют замены [1]. Отсюда частые аварийные ситуации. Порыв магистрального теплопровода приводит к замерзанию микрорайонов с опасностью размораживания всей технологической системы. А это огромные финансовые расходы на последующее её восстановление (характерен пример трагедии города Алчевск Луганской области Украины, где 23.01.06 из-за порыва трубы центрального теплопровода в морозы без теплоснабжения осталось всё 120-тысячное население города.) Интенсивность таких отказов возросла, а финансовые ограничения не дают возможности проведения работ по замене изношенных труб сетей. Всё это перекладывается на потребителей тепла, увеличивая платежи.

Стоит отметить также, что для централизованных систем теплоснабжения при подключении нового потребителя расходы последнего только на реализацию выставленных технических условий зачастую превосходят стоимость котельной установки, которую потребитель мог бы построить под свои нужды. А ведь далее последуют эксплуатационные платежи.

В децентрализованных - локальных системах используются только внутриквартирные и внутридомовые сети трубопроводов, обслуживание которых требует существенно меньшие финансовые расходы. Снижается риск возникновения аварийных ситуаций, повышается надёжность эксплуатации.

6. Внутридомовые системы отопления и горячего водоснабжения также находятся в неудовлетворительном состоянии. По регламенту обслуживания систем теплоснабжения в начале каждого отопительного периода для каждого дома должна проводиться процедура промывки внутридомовой системы гидropневматическим способом – подачей воды с пузырьками сжатого воздуха. В подавляющем большинстве городов и населённых пунктов системы отопления домов эффективно не промывались в течение длительного периода, поэтому их гидравлическое сопротивление превышает нормативное в 2-3 раза [2]. Следовательно, рабочее давление сетевых насосов не может прокачать необходимое количество горячей воды для нужного температурного режима в помещениях. А повышать давление насосов нельзя из-за опасности порыва теплотрасс. Люди в домах замерзают.

В то же время есть простое техническое решение этой проблемы – очистка теплотрассы и внутридомовой системы труб от ржавчины, грязи и биологической флоры созданием слабых ультразвуковых колебаний в потоке воды с помощью трансзвукового струйно-форсуночного аппарата – транссолика [5,6]. Вся грязь, ржавчина отслаивается от стенок труб, биологическая флора уничтожается ультразвуком. Все механические включения потоком воды уносятся в грязевики и периодически удаляются. Происходит самоочистка теплотрасс и внутридомовых систем теплоснабжения, улучшается работа приборов отопления. Практическая проверка

состояния системы с трансоником выявила полное отсутствие каких-либо отложений. Эти аппараты великолепно себя зарекомендовали в эксплуатации в течение более десяти лет.

Эти пункты отмеченных преимуществ – свидетельство предпочтительности децентрализованного локального энергообеспечения. По величине эксплуатационных расходов, по надёжности и качеству предоставляемых услуг локальные системы всегда будут предпочтительными по отношению к централизованным.

#### Список литературы:

1. Энергетическая стратегия России на период до 2020 года. Российская бизнес-газета, № 429 от 07.10.2003 г.
2. В.А. Чупрынин, генеральный директор ООО «ОргкоммунЭнерго», Ю.Я. Суздаев, начальник ЖКХ Рязанского района Рязанской области. Основные причины кризиса в теплоснабжении России и методы борьбы с ним. (<http://www.rosteplo.ru>)
3. Фёдоров В.А., Смирнов В.М. Опыт разработки, строительства и ввода в эксплуатацию малых электростанций. Москва, «Теплоэнергетика» №1, 2000 г.
4. Дубинин В.С., Лаврухин К.М. Комбинированная выработка тепловой и электрической энергии в котельных. Журнал «Новости теплоснабжения», №4(20), апрель 2002 г., с. 44-47.
5. Золотов В.П. Локальное теплоснабжение. Вестник СамГТУ, серия «Технические науки», 2005, № 25. Самара, СамГТУ.
6. Плисс А.А., Золотов В.П., Будкин А.В. Комбинированное производство электрической и тепловой энергии: состояние, перспективы. Вестник СамГТУ. Сер. Технические науки, -2008.- № 2(22). – Самара, СамГТУ, с. 201-210.
7. Матвиевский А.А., Овчинников В.Г. Безреагентная технология водоподготовки. Журнал «Новости теплоснабжения», № 7, 2005 г.

#### Разработка вакуумного выключателя с жидкометаллической контактной системой

*Иванов Н.А. Казанцев А.А.*

*Самарский государственный технический университет, Россия, г. Самара  
integral\_is\_x@mail.ru*

В настоящее время в сетях среднего напряжения из всех существующих типов выключателей по параметрам высокой надежности и экологичности, по обслуживанию и эксплуатации, по диапазонам номинальных параметров и экономичности наиболее целесообразным является применение вакуумных выключателей. Наибольший спрос рынка на вакуумную коммутационную технику к 2015 году составит 80% всего рынка коммутационной техники среднего напряжения. Самоокупаемость вакуумных выключателей особенно высока при использовании в распределительных устройствах с частыми коммутациями. [1]

К вакуумным выключателям сегодня предъявляют различные требования: от коммутаций трансформаторов и электродвигателей, воздушных и кабельных линий, реакторов и конденсаторных батарей, до применения в цепях электрофильтров и питания электродуговых печей, как в режиме переключений, так и в аварийных режимах.

Недостатком контактных систем вакуумных выключателей является возникновение коммутационных перенапряжений, которые могут достигать 6-7-кратного фазного напряжения, что значительно больше, чем при других видах внутренних перенапряжений. Перенапряжения возникают вследствие высоких значений токов среза, скорости изменения тока при отключении и дребезга контактов при включении. В процессе эксплуатации вакуумного выключателя имеет место эрозия контактных поверхностей. При этом увеличивается сопротивление контактов, что приводит к дополнительным потерям электроэнергии.

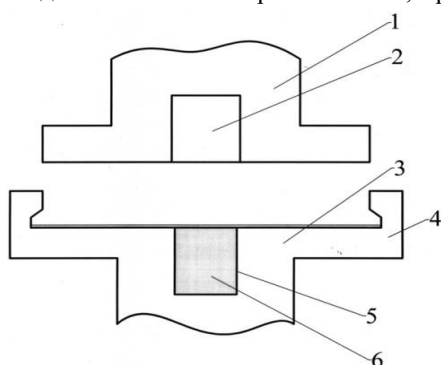
Известна контактная система, в межконтактном объеме которой используется жидкометаллическое рабочее тело. Жидкометаллическое рабочее тело в роли контакта обладает рядом достоинств, а именно, малое переходное сопротивление, отсутствие явлений сваривания, залипания. Но из-за своей подвижности жидкий металл под действием электродинамических сил и при движении контактов способен разбрызгиваться, поэтому электрические аппараты с жидкометаллическим рабочим телом должны иметь герметическую конструкцию в зоне контакта.[2] Так же жидкие металлы способны покрывать изоляционные материалы, что приводит к резкому снижению пробивного напряжения. Из-за текучести жидкого металла такие электрические аппараты должны быть установлены строго вертикально, во избежание замыкания контактов и вытекания жидкометаллического рабочего тела при наклоне относительно



вертикальной оси.

Использование в контактной системе вакуумного выключателя жидкометаллического рабочего тела предполагает улучшение его характеристик, а именно снижение перенапряжений при коммутациях, уменьшение тока среза и скорости изменения тока при отключении, увеличение пробивного напряжения, уменьшение дребезга контактов при включении, и снижение эрозии контактов, что приведет к уменьшению сопротивления контактов, а следовательно к снижению потерь электроэнергии при протекании тока нагрузки.

Рассмотрим конструкцию вакуумного выключателя с жидкометаллическим рабочим телом в межконтактном объеме на примере. В дугогасительном канале, в геометрических центрах подвижного и неподвижного контактов выполнены глухие цилиндрические отверстия разного диаметра, в отверстие подвижного контакта и на контактирующую поверхность его помещено жидкометаллическое рабочее тело, причем 95% его находится в отверстии и 5% на поверхности.



Контактная система вакуумного выключателя изображена на рис. 1.

Рис.1. 1-неподвижный контакт, 2-глухое цилиндрическое отверстие, 3-подвижный контакт, 4-отражатель, 5-глухое цилиндрическое отверстие, 6-жидкометаллическое рабочее тело.

Устройство работает следующим образом: в исходном положении неподвижный контакт 1 и подвижный контакт 3 разомкнуты, жидкометаллическое рабочее тело 6 в состоянии покоя. При включении выключателя подвижный контакт 3 приходит в движение, и жидкометаллическое рабочее тело 6 приобретает

кинетическую энергию, которая позволяет ему при соприкосновении неподвижного контакта 1 и подвижного контакта 3 переместиться в глухое цилиндрическое отверстие 2. Это обеспечивает надежное электрическое соединение неподвижного контакта 1 и подвижного контакта 3 сразу после коммутации, что исключает появление дуги. Отражатель 4 служит для предотвращения разбрызгивания жидкометаллического рабочего тела 6 при включении.

Во включенном положении выключателя жидкометаллическое рабочее тело 6 под действием силы тяжести перемещается обратно в глухое цилиндрическое отверстие 5. Таким образом, в каждом цикле «включение - отключение» пленка жидкометаллического рабочего тела на поверхности контактов обновляется.

За счет жидкометаллического рабочего тела 6 увеличивается площадь соприкосновения неподвижного контакта 1 и подвижного контакта 3 выключателя, что снижает электрическое сопротивление контактного перехода и приводит к снижению потерь электроэнергии.

При отключении выключателя размыкание неподвижного контакта 1 и подвижного контакта 3 происходит при наличии жидкометаллической пленки на контактных поверхностях. При этом образуются параллельные дуги, что вызывает ограничение отключаемого тока. Это приводит к уменьшению тока среза выключателя, снижению уровня перенапряжений и эрозии самих контактов.

В качестве жидкометаллического рабочего тела подходит эвтектический сплав галлий-индий-олово. Сплав нетоксичен, не взрывопожароопасен, имеет сравнительно низкое электрическое сопротивление, сохраняет жидкое состояние в широком интервале температур от 10°C до 2000 °C, обладает малой величиной переходного сопротивления и имеет высокую теплопроводность.

На настоящий момент проведены расчеты параметров рабочей камеры устройства в зависимости от номинального тока. Разработана методика проведения стендовых испытаний контактной системы, для получения нагрузочных и температурных характеристик при номинальных токах и токах короткого замыкания. Результаты теоретического исследования позволяют рассматривать данную схему как работоспособную и допустимую к дальнейшим испытаниям.

#### Список литературы:

1. Евдокунин Г.А. Тилер Г. Современная вакуумная коммутационная техника для сетей среднего напряжения. – СПб.: Издательство Сизова М.П., 2000. – 114 с., с илл.
2. Беляев В.Л. Особенности конструкций и работы многоамперных электрических аппаратов/ Учеб.пособие. – СПб.: СЗТУ, 2005. – 274 с.

**Методика оценки комплексной эффективности использования ресурсов энергетическими предприятиями по экологическим критериям**

*Гаврилова А.А., Салов А.Г., Иванова Д.В., Чиркова Ю.В.*

*Самарский государственный архитектурно-строительный университет, Россия, г. Самара  
[darya.i@inbox.ru](mailto:darya.i@inbox.ru)*

Деятельность промышленных предприятий оказывает негативное влияние на состояние окружающей среды. Изменившиеся экономические условия, структура производства, старение основных производственных фондов, нерациональное использование природных ресурсов обостряют проблемы охраны окружающей среды. Таким образом, все более актуальными становятся вопросы рационального природопользования, энергетического менеджмента, оценки возможных последствий строительства и эксплуатации объектов энергетики, минимизации вредных воздействий на окружающую среду.

Конструктивными подходами для решения обозначенных проблем являются методы системного анализа и моделирования деятельности производственно-экономических систем, позволяющие получать необходимую информацию для совершенствования процессов управления [1].

В данной статье в целях создания методики оценивания комплексной эффективности предлагается начать с формализации задачи имитационного моделирования деятельности генерирующего предприятия по экологическим критериям и построение системы управления.

Для моделирования производственной зависимости между входными и выходными показателями производства применяются производственные функции типа Кобба-Дугласа [2]. Для описания деятельности генерирующего предприятия используем трехфакторную неоднородную производственную функцию:

$$Y_s(t) = AK(t)^\alpha L(t)^\beta T(t)^\gamma \quad (1)$$

Выходной величиной является суммарный выпуск продукции, выпуск энергии  $Y_s$ . Для его определения используем три базовых входных параметра энергетического производства – объем основных фондов предприятий  $K$ , численность трудовых ресурсов  $L$  и количество топливных ресурсов  $T$ . Для простоты примем их экзогенными переменными, т.е. не подверженными влиянию других величин.

Положим, что базовый технологический цикл на производстве длится один год. Размеры материальных  $K$ , трудовых  $L$  и топливных  $T$  ресурсов, используемых в течение года в процессе производства, будем брать в объеме, рассчитанном на начало года. Объем выпущенной продукции  $Y_s$  будем исчислять на конец технологического цикла, т.е. на конец года.

На первом этапе в качестве управляющей переменной примем относительную долю промышленных инвестиций в структуре годового выпуска промышленной продукции и величину амортизационных отчислений.

Нормы амортизационных отчислений будем считать зависящими от долговечности эксплуатируемых основных фондов [3]. Динамику амортизационных отчислений будем учитывать, начиная с 1990 года.

Считаем, что изменения управляющих переменных возможны с периодом, равным длительности одного технологического цикла. Полагается, что ежегодные капиталовложения в отрасль инвестируются из дохода энергетического комплекса  $Y_s$  согласно управляющей переменной  $s_1(t)$  – доли инвестиций в структуре ежегодного выпуска продукции:

$$I(t) = s_1(t)Y(t-1) \quad (2)$$

Положим, что на входные ресурсы, определяющие выпуск продукции, – объем основных фондов производства и численность работающего персонала – накладываются естественные разумные ограничения:

$$0 < K(t) < K_{max}, \quad 0 < L(t) < L_{max} \quad (3)$$

где  $K_{max}$  и  $L_{max}$  определяются величиной производственного потенциала производства.

На управляющую переменную  $s_1(t)$  накладывается естественное ограничение  $0 < s_1(t) < 1$ . Считая временной интервал с 1990 до 2013 года – интервалом достаточно устойчивого функционирования производственных структур, по статистическим данным идентифицировалась величина управляющего параметра  $s(t)$ , определяющего далее объем инвестиционного фонда.

Величина  $s(t)$  определялась с применением сглаживания на основе формулы:

$$K(t) = K(t-1) + s(t)Y(t-1) \quad (4)$$

Дальнейшее аналитическое продолжение траектории управляющей переменной осуществлялось путем прогнозирования на основе экспертных оценок нескольких вероятных вариантов ее развития.

Определив прогнозные значения основных фондов  $K$  по формуле (4) и величины выпуска продукции  $Y_s$  на период 2014-2015 гг. с помощью модели (1), используем эти данные в качестве исходных для имитационной модели управления энергетическим производством по экологическому критерию – снижению выбросов вредных веществ. В качестве агрегированного показателя экологической эффективности функционирования энергосистемы примем валовые выбросы вредных веществ  $Vb(t)$  и учтем дополнительный входной параметр – величину финансирования природоохранных мероприятий  $F$ .

Построим математическую модель вида:

$$Vb(t) = AY_s(t)^\alpha F(t)^\beta K(t)^\gamma \quad (5)$$

где управляющим воздействием является величина отчислений на природоохранные мероприятия  $F$  в структуре ежегодного выпуска продукции.

$$F(t) = s_2(t)Y(t-1)$$

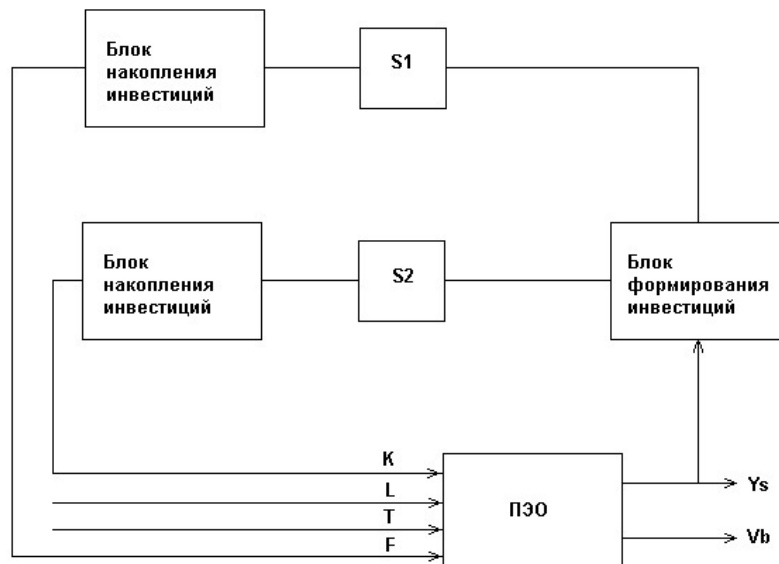


Рис.1. Структура имитационной системы управления генерирующим предприятием.

Аналогично на управляющую переменную  $s_2(t)$  накладывается естественное ограничение  $0 < s_2(t) < 1$ . Величина  $s_2(t)$  определяется на основе формулы:

$$F = F(t-1) + s_2(t)Y(t-1) \quad (6)$$

Таким образом, используя имитационные модели (1) и (5) представим производственно-экономический объект в виде зависимости количества произведенной энергии от трех факторов: объема основных фондов предприятий, численности трудовых ресурсов и количества топливных ресурсов и зависимости величины валовых выбросов вредных веществ от количества произведенной энергии [4]. Структура управления производственно-экономической системой представлена на рисунке 1.

В представленной системе управления в качестве управляющих переменных примем относительную долю промышленных инвестиций в структуре годового выпуска промышленной продукции  $s_1(t)$  и величину отчислений на природоохранные мероприятия в структуре ежегодного выпуска продукции  $s_2(t)$ .

Выводы:

1. Предложена методика оценки системной эффективности энергосистемы по экологическим критериям.
2. Сформулированный подход позволяет при подстановке реальных статистических данных показателей деятельности энергетического комплекса определить необходимый объем финансирования природоохранных мероприятий, который приведет к снижению выбросов вредных веществ в атмосферу и повысит эффективность использования основных ресурсов.

#### Список литературы:

1. Краснов С.В., Гаврилова А.А. Проблемы организации производства – энергоснабжение и эффективность управления ресурсами./ *акад. журнал «Интеллект, инновации, инвестиции»*, ч.1, спец. выпуск по материалам I меж. декабрьские научные чтения, 2012, г.Оренбург. – С. 146–149.
2. Дилигенский Н.В., Гаврилова А.А., Цапенко М.В. Построение и идентификация математических моделей производственных систем – С.: ООО «Офорт», 2005, – 126 с.
3. Гаврилова А.А. Применение имитационного моделирования для анализа устойчивости производственно-экономического объекта./ *Инфокоммуникационные технологии*, №4 (т.9), 2011, –С.67– 72.
4. Гаврилова А.А., Чиркова Ю.В., Иванова Д.В. Применение имитационного моделирования в организации производства с учетом экологических показателей./ *Материалы X Международной научно-практической конференции «Татищевские чтения: актуальные проблемы науки и практики»*, г. Тольятти, 2013 г., – С. 96–102.

#### Подготовка специалистов для предприятий электроэнергетики с применением деловых игр

*Калани Э.Я.*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск*

[honey\\_emma@mail.ru](mailto:honey_emma@mail.ru)

Требования к современной подготовке персонала энергопредприятий включают знание схем, устройства и конструкции энергетического оборудования; понимание технологических процессов; знание правил технической эксплуатации, правил устройства электроустановок и правил техники безопасности; обладания навыками планирования режимов и быстрой реакцией в нестандартных ситуациях [1]. Различные аспекты профессиональной подготовки студентов-электроэнергетиков регламентированы Федеральным образовательным стандартом подготовки магистров по направлению «Электроэнергетика и электротехника» и соответствующими основными образовательными программами вузов по этому направлению.

В частности, профессиональная подготовка магистрантов-электроэнергетиков осуществляется в Томском политехническом университете (ТПУ) при изучении дисциплины «Оперативное управление в электроэнергетике». Освоение дисциплины предполагает изучение оборудования и технологических процессов, правил технической эксплуатации, правил устройства

электроустановок, получение навыков ведения штатных и аварийных режимов, а также проведения оперативных переключений в ходе деловых игр [2].

Как показывает практика, вопросы повышения эффективности подготовки и тренировки оперативного персонала энергопредприятий целесообразно решать с использованием специальных тренажёров диспетчера, отражающих как поведение энергосистемы (ЭС) в различных режимах работы, так и основной характер деятельности диспетчера. При обучении и проверке знаний оперативного персонала тренажёры обеспечивают освоение следующих функций:

– производство оперативных переключений на оборудовании электростанций и подстанций;

– ведение нормального режима ЭС с поддержанием установленных значений частоты и потоков мощности;

– анализ аварийных ситуаций, возникающих в основной сети ЭС, принятие решений по предотвращению развития аварии, восстановление нормального режима [3].

Применение тренажёров в образовательном процессе требует разработки специального учебно-методического обеспечения, поскольку для студентов они используются в качестве обучающих, а не тренировочных систем. В настоящее время на кафедре электрических сетей и электротехники ТПУ проводится работа по созданию учебно-методического комплекса (УМК) по дисциплине «Оперативное управление в электроэнергетике», включающего блок деловых игр с использованием режимных тренажёров. Основные модули УМК: электронный учебник, система тестирования и лабораторный практикум. Лабораторный практикум содержит методические указания к деловым играм по оперативным переключениям и по ведению режима.

Инструментом для деловых игр по оперативным переключениям выбран тренажёр «Модус» [4], который предназначен для обучения персонала энергетических объектов порядку проведения оперативных переключений. Во время деловой игры осваиваются такие виды работ, как взаимодействие оперативного персонала, действия при срабатывании аварийной сигнализации, подготовка к использованию типовых бланков и программ переключений, проведение и регистрация переключений в оперативном журнале.

В качестве инструмента для деловых игр по ведению режима ЭЭС используется режимный тренажёр диспетчера «Феникс». Он представляет собой программный комплекс, предназначенный для проведения сеансов противоаварийных тренировочных учений с отображением оперативной обстановки в ЭС.

Учебная режимная модель Морозовской ЭС, используемая в составе тренажёра [5] и принятая для постановки деловых игр, позволяет моделировать основные оперативные состояния ЭС, такие как нормальные установившиеся режимы, установившиеся режимы с отклонением основных параметров режима за пределы допустимых значений, режимы с ненормальной частотой в сети, переходные режимы, связанные с нарушением устойчивости [3].

В качестве примера дадим краткое описание фрагмента разработанного учебно-методического обеспечения деловой игры «Аварийное отключение ВЛ 220 кВ Центральная – ТЭЦ-2 с работой АРОДЛ (автоматика разгрузки при отключении двух линий электропередачи) на ТЭЦ-2 в ремонтной схеме сети», проводимой в Морозовской ЭС. В составе Морозовской ЭС находится Морозовское Региональное Диспетчерское Управление (РДУ), под управлением (или в ведении) которого находятся следующие объекты: Святогорская ГРЭС, Южная ГРЭС, Светлая ГЭС, ТЭЦ-1, ТЭЦ-2, блок-станции ТЭЦ нефтеперерабатывающего завода и ТЭЦ центрального металлургического комбината, три подстанции 500 кВ, 18 подстанций 220 кВ, пять подстанций 110 кВ. Фрагмент оперативной схемы 500, 220, 110 кВ Морозовской ЭС представлен на рис. 1.

Целью деловой игры является получение навыков введения параметров режима в допустимую область при аварийном отключении ВЛ 220 кВ в ремонтной схеме сети Морозовской ЭС. В ходе деловой игры необходимо не допустить развития нарушения электрического режима в ЭС, выявить все отклонения параметров послеаварийного режима от нормальных значений и привести значения параметров электрического режима к нормально-допустимым.

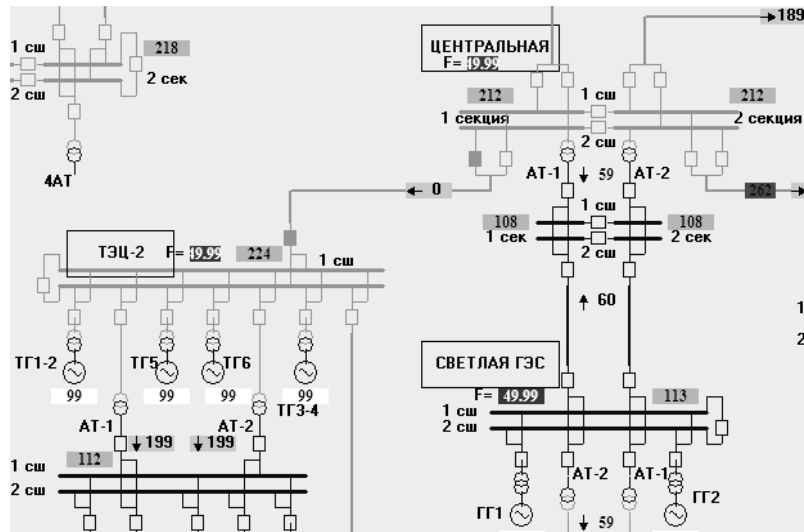


Рис. 1. Фрагмент оперативной схемы Морозовской ЭС

Участниками деловой игры являются: Руководитель, Инструктор и Участники (Диспетчеры ОДУ ОЭС и Морозовского РДУ). Инструктор исполняет роль руководства деловой игры и, одновременно выполняет функции подчиненного по отношению к Диспетчерам персонала, имитируя приём и исполнение команд Диспетчеров на объектах ЭС [6]. Студенты получают роли Инструктора и Диспетчеров. Участникам предоставляются следующие данные: исходный режим, отклонения от нормальной схемы и аварийное возмущение в ЭС, вводная и задание, оптимальное решение задачи ликвидации аварийного возмущения (для режима обучения).

В учебном сеансе деловой игры можно выделить пять этапов.

На первом этапе изучается терминология, схема и оборудование.

Второй этап представляет собой начальный период уяснения исходного оперативного состояния схемы и режима ЭС. Студент-Диспетчер работает с Интерфейсом Диспетчера режимного тренажёра (рис. 2) и вызывает на связь Инструктора для уточнения режима работы и состояния оборудования объектов ЭС, по которым в Интерфейсе Диспетчера отсутствует текущая информация, а также для уточнения состояния схемы.

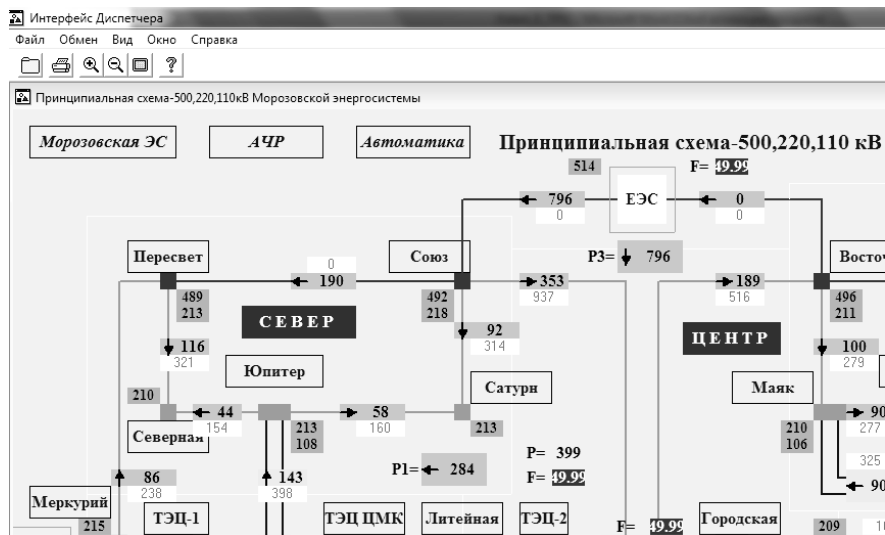


Рис. 2. Интерфейс Диспетчера в режимном тренажёре диспетчера «Феникс»

Третий этап – период развития аварийной ситуации по сценарию деловой игры при участии противоаварийной автоматики, во время которого обучаемый оценивает сложившуюся ситуацию и намечает план ликвидации аварии. Оценка ситуации производится на основе

информации, получаемой при помощи Интерфейса Диспетчера, а также по сообщениям, которые воспроизводит Инструктор.

Четвёртый этап – период ликвидации аварийной ситуации и восстановления оперативного состояния ЭС. Студент-Диспетчер осуществляет решение задачи в соответствии с принятым планом ликвидации аварии, посредством выдачи команд на объекты, которые вводит в модель Инструктор, управляя моделью ЭС. В модель ЭС вводятся следующие управляющие воздействия:

– коммутационные изменения в схемах распределительных устройств станций и подстанций;

– изменение управляемых параметров, регулирование активной мощности агрегатов электростанций, смена уставок АРВ генераторов электростанций, изменение положения РПН трансформаторов, отключение и включение нагрузки в узлах ЭС [6].

Пятый этап – оценка действий студентов в процессе деловой игры. Команды, отдаваемые Участниками, записываются одним из них в протокол решения задачи. Оценка действий студентов проводится на основе протокола решения задачи и технологической карты, включающей систему выставления штрафных и поощрительных баллов за решение режимной задачи.

Как показывают предварительные результаты, деловые игры являются эффективным способом освоения студентами широкого круга практических работ по оперативному управлению в электроэнергетике. В процессе деловой игры с использованием универсального режимного тренажёра диспетчера «Феникс» магистранты приобретают навыки управления энергетическими объектами в различных оперативных состояниях, включая аварийные и послеаварийные режимы. Таким образом, подтверждается целесообразность дальнейшего развития деловых игр в качестве элемента образовательного процесса.

#### Список литературы:

1. Стандарт организации ОАО «СО ЕЭС». СТО 59012820.03.100.30-002-2009. Профессиональная подготовка, поддержание и повышение квалификации персонала: утв. и введен в действие: приказом ОАО «СО ЕЭС» от 06.11.2009. № 434. М. 2009.
2. Магид С.И., Архипова Е.Н., Музыка Л.П. Научная методология в современном образовательном процессе персонала электроэнергетики РФ // *Надёжность и безопасность энергетики: научно-технический журн.* 2008. № 1. URL: <http://www.sigma08.ru/jur1-5.htm> (дата обращения 10.06.2013).
3. Воронин В.Т. Режимные тренажёры, как средство обеспечения надёжной работы оперативного персонала // *Оперативное управление в электроэнергетике. Подготовка персонала и поддержание его квалификации: журнал.* 2005. №1.
4. Тренажёр оперативных переключений «Модус» [Электронный ресурс] // Компания Модус [сайт]. [2012]. URL: <http://swman.ru/content/blogcategory/20/48/> (дата обращения 15.06.2013).
5. Режимный тренажёр диспетчера «Феникс» [Электронный ресурс] // ЗАО «Монитор Электрик»: [сайт]. [2012]. URL: <http://www.monitel.ru/files/downloads/products/Broshyura%20%20Finist.pdf> (дата обращения 15.06.2013).
6. Хрущев Ю.В., Бацева Н.Л., Фикс Н.П., Калани Э.Я. Постановка деловых игр по оперативному управлению в электроэнергетике для профессиональной подготовки магистрантов // *Электроэнергетика глазами молодежи: науч. тр. IV междунар. науч.-техн. конф., Т.2* // Мин-во образования и науки РФ, Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т (НПИ) имени М.И. Платова. – Новочеркасск: Лик, 2013.

#### Разработка мини-ГЭС на базе синхронного генератора с постоянными магнитами

**Карачев В.С., Алеко М.Н.**

*Новосибирский государственный технический университет, Россия, г. Новосибирск  
kara-vadim@yandex.ru*

Одной из самых острых проблем современной России является демографическая ситуация, в частности неравномерная плотность заселения территории. Как известно, Восточная Сибирь – самая богатая часть страны по нахождению в ней полезных ископаемых, водных и лесных ресурсов [1] – имеет самую малую плотность заселения – меньше двух человек на один квадратный километр [2]. Отсюда вытекает острая потребность в освоении территории Восточной Сибири экономически активным населением.

При освоении новых территорий возникает ряд проблем снабжающего характера, и одна из самых важных из них – снабжение электроэнергией. Ввиду чрезвычайной обширности

территории, сложности рельефа и ландшафта, а так же климатических условий, проведение линий электропередач может оказаться дорогим, трудоемким и в итоге экономически нецелесообразным мероприятием. В этом случае, логичнее сделать выбор в направлении альтернативной энергетики. В связи с известным обилием быстрых горных рек на всей территории Восточной Сибири, можно сделать вывод, что использование энергии течения является оптимальным решением данного вопроса.

Таким образом, для обеспечения электроэнергией небольших поселений в отдаленных частях Сибири необходим автономный источник питания, преобразующий энергию течения. Малая гидроэнергетика является прекрасной альтернативой централизованному энергоснабжению для удаленных и труднодоступных районов и районов с ограниченной передаточной мощностью ЛЭП. Использование мини-ГЭС позволяет зафиксировать стоимость энергоресурсов на приемлемом для потребителя уровне, решает проблему перебоев электроэнергии. При относительно низких капитальных затратах можно снабжать небольшое поселение дешевой электроэнергией в любое время года, не нарушая природного ландшафта и окружающей среды в процессе строительства и на этапе эксплуатации.

В итоге, все вышеизложенное обусловило следующую цель проводимого исследования: разработку автономной гидроэнергетической установки, способной обеспечивать качественной электроэнергией поселок с небольшими сельскохозяйственными угодьями, не требующей относительно больших затрат для строительства, неприхотливой в обслуживании и эксплуатации.

Задачи, поставленные в работе: выбор наиболее приемлемого гидротехнического сооружения для достижения поставленной цели и соответствующего гидромеханического оборудования (варианта исполнения конструкции ГЭС), выбор типа электрической машины, силового оборудования, способного обеспечить должное качество электрической энергии и проектирование системы управления.

Для выбора наиболее приемлемого гидротехнического сооружения рассмотрены возможные варианты [3]:

- водозабор;
- деривационный канал;
- напорный бассейн;
- напорный трубопровод;
- отводящий канал с гасителем.

Для решения поставленных задач, из выше представленных исполнений, наиболее подходящим сооружением является отводящий канал с гасителем, так как он требует наименьших ресурсных затрат, проще в строительстве, неприхотливо к окружающему ландшафту (достаточно лишь более-менее высокого порога) и наиболее мобилен. В дальнейшем, будем рассматривать именно этот вариант сооружения.

Выбор гидромеханического оборудования осуществляется в большей степени выбором вида гидротурбины. Гидротурбина состоит из подводящего тракта, непосредственно – рабочего колеса направляющего аппарата и отводящего тракта. На практике существует два класса гидротурбин: активные и реактивные. В класс реактивных турбин входят: пропеллерные, повортно-лопастные и радиально-осевые турбины. В класс активных турбин входят, главным образом, ковшовые турбины. Выбор типа гидротурбины зависит от гидротехнических параметров (рис. 1), которые могут быть совершенно различны даже на разных участках одной реки, поэтому ее выбор индивидуален для конкретного места.

Системы генерирования электроэнергии (СГЭЭ) на базе машиноventильных систем в зависимости от используемого типа генератора подразделяются на системы «синхронный генератор–преобразователь частоты» (СГПЧ) и «асинхронный генератор–преобразователь частоты» (АГПЧ). При этом, по мнению многих разработчиков [4–5], СГЭЭ на базе СГПЧ, а именно магнитоэлектрических генераторов (МЭГ), являются наиболее универсальными, могут использоваться в установках любого класса и любой мощности, они позволяют максимально реализовать достоинства гидротурбины с переменной скоростью вращения. Основные преимущества СГПЧ:

- повышенное производство электроэнергии;
- снижение расходов на обслуживание;
- повышенная надежность гидроэнергетической установки (ГЭУ);
- упрощение конструкции ГЭУ и снижение капитальных затрат и другие.

Более того, система АГПЧ без дополнительного источника реактивной мощности не могут работать в автономном режиме, что нам совершенно не подходит. Так же изготовление



многополюстных МЭГ дает возможность отказаться от мультипликатора [5], что в свою очередь снизит материальные затраты и повысит надежность. На основании вышеизложенного, описанные выше обстоятельства вкупе с поставленными целями толкают нас на выбор синхронной машины с возбуждением от постоянных магнитов (СМГМ) в качестве преобразователя энергии для мини-ГЭС.

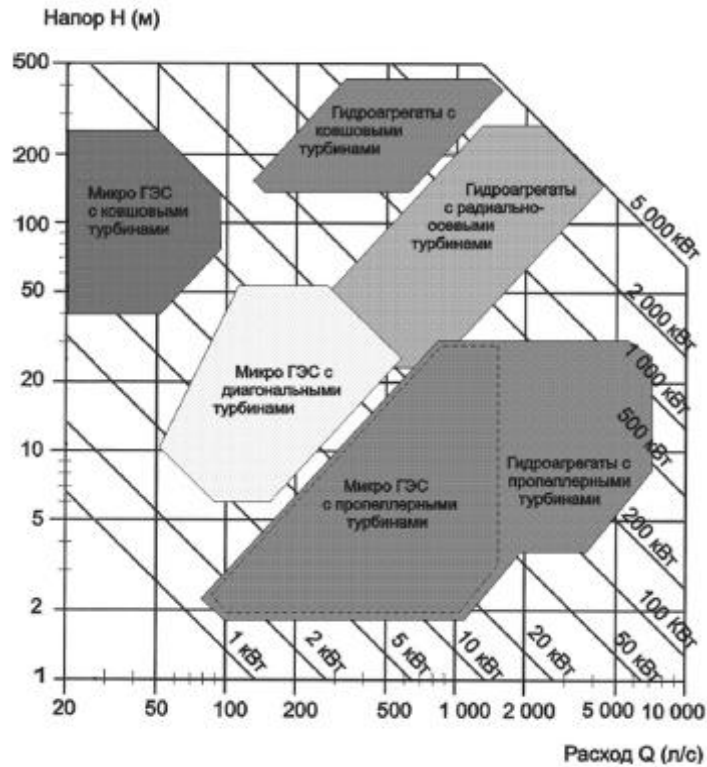


Рис. 1 Диаграмма для выбора типа гидротурбины [3]

Следующим шагом в проектировании мини-ГЭС является выбор машиноventильной системы. Управление системой на базе МЭГ реализуемо преобразователями следующих типов: В-ПСН-ИН, УВ (В)-ИТ, УВ(ИН)-ИН, НПЧ с ЕК. Для мощных автономных систем генерирования электрической энергии, в которых механическая энергия вращающегося с переменной частотой вала преобразуется в электрическую энергию переменного тока, перспективной является система, построенная по схеме «синхронный генератор с постоянными магнитами – активный выпрямитель – инвертор напряжения» (рис. 2).

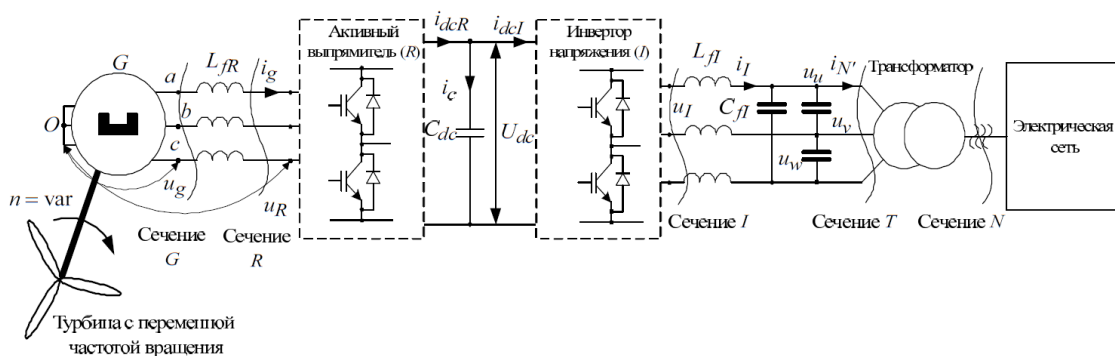


Рис. 2 Схема силовой части системы СГ-ВН-ИН [4]

СГЭЭ такого типа реализует полный набор режимов, требуемых от систем генерирования электрической энергии (ЭЭ) для мощных автономных систем, а именно: режим генерирования при работе на нелинейную, несимметричную и нестационарную нагрузки, режим электростартерного запуска гидротурбины, и др. В связи с революционными изменениями в области

интеллектуальной силовой электроники (появились новые, полностью управляемые мощные высоковольтные полупроводниковые ключевые элементы и специализированные цифровые микроконтроллеры с высокой производительностью) современные устройства преобразования параметров электроэнергии в качестве элементной базы для силовой схемы преобразователей используются, как правило, транзисторные IGBT и MOSFET модули, работающие в ключевом режиме, что способствует формированию заданного качества электроэнергии используя ШИМ с высокой частотой преобразования. Транзисторы управляются с помощью специализированных цифровых микроконтроллеров высокой производительности. Ввиду всего этого, в дальнейшем считаем наиболее целесообразным использовать для преобразования качественной ЭЭ активный выпрямитель на базе инвертора напряжения.

После того, как выбраны вариант конструктивного исполнения мини-ГЭС, тип генератора и силового оборудования, следующим этапом работ является анализ энергетических показателей и основных рабочих характеристик мини-ГЭС путем математического моделирования на ЭВМ.

#### Список литературы:

1. Сибирская советская энциклопедия, тт. 1-4. – Новосибирск, 1929—1932.
2. Попов А., Чернышов С. Мертвый Восток // Эксперт. – 2013. – №861. – С. 23–28.
3. Картанбаев Б.А. Руководство по строительству и эксплуатации микро гидроэлектростанций (микро ГЭС. – Кыргызская Республика, 2011.-57 с.
4. Харитонов С.А. Электромагнитные процессы в системах генерирования электрической энергии для автономных объектов: монография. – Новосибирск: Издательство НГТУ, 2011. – 536 с.
5. Шевченко, А.Ф. Многополюсные магнитоэлектрические генераторы с дробными однозубцовыми обмотками для ветроэлектрических установок // Электротехника. – 1997. – №9. – С. 13-23

#### Методика определения расхода воды при проектировании малых ГЭС на горных водотоках Таджикистана

*Киргизов А.К., Касобов Л.С. \*, Расулов С.*

*Таджикский технический Университет имени акад.М.С. Осими, Таджикистан, г. Душанбе*

*\*Институт Энергетики Таджикистана, г. Кургантюбе*

[loiknstu@mail.ru](mailto:loiknstu@mail.ru)

Согласно официальным источникам[1], потенциальные гидроэнергетические ресурсы малых рек Средней Азии составляют 3,1 млн. кВт, или 27,2 млрд. кВт/ч. Эта мощность распределяется по среднеазиатским государствам следующим образом: Таджикистан 1,6 млн. кВт и 14 млрд. кВт/ч соответственно; Узбекистан 0,5 млн. кВт и 4,4 млрд. кВт/ч; Киргизстан- 0,8 млн. кВт и 7,0 млрд. кВт/ч; Туркменистан -0,2 млн. кВт и 1,8 млрд. кВт/ч. Почти 51,4% гидроэнергетические ресурсы малых рек Средней Азии сосредоточены в Таджикистане.

Следует, отметить, что более детальное изучение гидроэнергетических ресурсов малых рек по всей территории Таджикистана не проводилось. Однако проблема удорожания топлива, как по добыче, так и по транспортировке и отсутствие финансовые ресурсы у государства на строительство крупных и средних ГЭС, ставят вопрос о широком использовании ресурсов малых рек на новую прогрессивную основу. Следовательно, изучение, оценки и пополнение потенциальных ресурсов малых рек Таджикистана задача государственного уровня, требующей большой труд крупного специализированного коллектива, а не отдельного исследователя, и от ее своевременного решения зависит прогресс и энергетической безопасности электроснабжение децентрализованных и труднодоступных потребителей страны, к которым практически можно отнести потребители, расположенные на территорию высокогорного Памира.

Но как показывает практика проектирования малые ГЭС на малых горных водотоках, из-за отсутствия информации, особенно, гидрологические, допускались грубые просчёты при определении гарантированной и установленной мощности станции. Поэтому, ниже приводим наиболее приемлемый на наш взгляд подход к определению расчетного стока на таких реках.

Памир достаточно богат гидроэнергетическими ресурсами. По официальным данным на его территорию сосредоточены около 32,53 млрд. кВт/ч. запасы потенциальных ресурсов водотоков меньше 10 км, из которых в настоящее время используются только 0,6%. Низкая освоенность свидетельствует о слабом уровне экономического развития и большом потенциале роста в будущем для данного края.

Среди факторов, тормозящих гидроэнергетическое освоение малых рек, можно отметить, прежде всего, слабую изученность режима малых рек и влияния МГЭС на природную среду, не разработанность методики и затрудненность прогнозирования многих сторон их воздействия. Отсутствие материалов по режиму малых рек затрудняет, и снижают эффективность разработок конкретных проектов.

Главной причиной изменения водности рек из года в год является различие в величинах запасов - снега и в количестве выпадающих жидких осадков. Горный рельеф обуславливает основную особенность речных бассейнов - вертикальную зональность климатических, почвенных и ботанических условий. Эти особенности определяют характер питания и режим стока, рек. Поэтому важнейшей характеристикой горного бассейна является распределение его площади по высоте. Питание рек осуществляется в основном за счет запасов сезонного снега и жидких осадков. Роль ледников и вечного снега гораздо меньше, так как они, как правило, занимают незначительную часть площади всего бассейна, но для рек Памира большое значение имеет ледниково-снежный тип питания.

В горах с увеличением высоты возрастает количество осадков, понижается температура воздуха и, как следствие, увеличивается сток. Характер изменения, осадков с высотой отличен не только для отдельных бассейнов, но даже для разных склонов одного и того же водосбора.

Изменчивость среднегодового стока на Памире относительно невелика и коэффициент вариации изменяется в пределах 0.12-0.25. Это напрямую связано с преобладающим ледниково-снеговым типом питания, т.к. ледники являются мощным фактором, регулирующим сток [3].

Следует отметить, что благодаря достаточной зарегулированности стока ледниками и вечными снегами, внутригодовое распределение стока на этих реках не зависит от водности года, что значительно облегчает расчеты. Также, очевидна общая закономерность сдвиги максимума стока, с июля на август при продвижении с запада на восток, связанная с увеличением средневзвешенной высоты местности и соответственно возрастающей ролью ледникового стока.

Памир обычно подразделяют на два района – Восточный и Западный. Граница между ними проводится по условной «линии врезания», западнее которой начинаются активная глубинно эрозионная деятельность рек. Формирования стока в этих районах полностью отличается друг от друга.

На Восточном Памире преобладает средне гористый рельеф, а Западный Памир отличается высокогорным расположением. Устойчивый снежный покров в долинах Западного Памира наблюдается с ноября по март-май, в долинах Восточного Памира установление снежного покрова охватывают период с августа по октябрь.

Как было отмечено выше, на большинство малых рек Памира не имеется гидрологические посты и это является препятствием для определения гарантированной мощности водотока при проектировании малых ГЭС.

В Советском периоде, научно-исследовательские организации проводили обширные научные исследования по определению стока малых горных рек Кавказа и Средней Азии. Однако, в них отсутствует информация по малым водотокам[2]. Для этого предлагаем новый подход учитывающий региональные особенности формирования стока на малых водотоках.

Краткосрочное прогнозирование стока горных рек основано на учете закономерностей движения воды в руслах и учете притока воды на пути движения стока. Прогнозы, составляются на основе метода соответственных уровней (расходов) воды. Прогноз расходов в нижнем створе участка реки сводится к решению соответственных расходов воды вида[4]:

$$Q_{Ht} = Q_{Bt-\tau} + \int_0^l g dl$$

$Q_{Ht}$  - расход вода в нижнем створе в момент времени  $t$ ;  $Q_{Bt-\tau}$  расход воды в верхнем створе в момент  $t - \tau$ ,  $\tau$  - время добегаания воды, от верхнего до нижнего створа;  $g$  - боковой (промежуточный) приток воды на участке;  $l$  - длина участка;

Для безприточных участков реки, чаще всего используют связи вида:

$$Q_{Ht} = f(Q_{Bt-\tau})$$

$$H_{Ht} = f(H_{Bt-\tau})$$

Здесь  $H_{Bt}$  уровень воды в нижнем створе участка в момент  $t$ ;  $H_{Bt-\tau}$  - уровень воды в верхнем створе участка в момент  $t - \tau$ ;

На длинных участках с большой русло пойменной емкостью имеет место трансформация паводка, для ее учета используют связи

$$Q_{нт} = (Q_{вт-т}, \Delta Q_T)$$

Где  $\Delta Q_T$  - характеристика трансформации паводковой волны.

Долгосрочные прогнозы стока горных рек осуществляются на основе приближенного решения уравнения водного баланса учитывающего любой интервал времени в пределах года.

#### Список литературы:

1. Абдуллаева Ф.С., Баканин Г.Б., Гордон С.М. и т.д. Гидроэнергетические ресурсы Таджикской ССР.- Недра.: Ленинград, СССР, 1965.-220с.
2. Годовые гидрологические отчеты (1960-1985). Том 5. Бассейны рек Центральной Азии. Выпуск 0-2, Бассейны рек Амударья и Зеравшан. Управление гидрометеорологической службы Таджикской ССР. Ташкент
3. Главтаджикгидромет. Гидрографический экспедиционный отдел. Схемные проработки. «Использование гидроэнергетических ресурсов малых и средних водотоков ГБАО средствами малой гидроэнергетики». Книга 1. Климато-Гидрологическое обоснование. Душанбе 1995.-184с.
4. Георгиевский Ю.М., Шаночкин С.В. Прогнозы стока горных рек.-Текст лекций. ЛПИ (ЛГМИ), 1987.-55 с.

#### Режим загрузки резервного источника питания

*Кириков А.В., Обоскалов В.П.\**

*ОАО «Тяжпромэлектромет», Россия, г. Екатеринбург*

*\*Уральский федеральный университет, Россия, г. Екатеринбург*

*kirpikov.av@gmail.com*

Наличие резервного автономного источника питания (АИП) для потребителей особой категории надежности является обязательным. Отсюда не возникает задача его технико-экономического обоснования.

Для потребителей первой категории надежности, допускающих перерыв электроснабжения на время не более длительности автоматических переключений в электрической сети необходимы два быстродействующие источника питания, например, подключение к централизованной электрической сети двумя независимыми связями. Здесь АИП в качестве второго независимого источника питания, как правило, может быть использован только при его постоянной работе (распределенная генерация). Использование АИП в холодном резерве возможно лишь в том случае, когда длительность пускового периода технологически приемлема для потребителя первой категории надежности данного производства.

Для потребителей второй категории надежности, допускающих перерыв электроснабжения на время ручных оперативных переключений (до одного часа) существует альтернатива – либо АИП (в том числе и в холодном резерве), либо дополнительное подключение к централизованной электрической сети (второй независимый источник электроснабжения). Техничко-экономическое обоснование АИП определяется сопоставлением капиталовложений в АИП или на присоединение к электрической сети. Данный тезис относится и к потребителям первой категории надежности, для которых допустимо использование АИП в качестве второго независимого источника питания.

Для потребителей третьей категории надежности допускается электроснабжение от одного источника питания. При этом перерыв электроснабжения (при отказах и ремонтах в системе электроснабжения) допускается на время, не более одних суток. Здесь АИП может быть использован в любом качестве – или в качестве основного (распределенная генерация) или в качестве резервного источника питания. В последнем случае значимым при технико-экономическом обосновании АИП является ущерб потребителю от недоотпуска электроэнергии.

Наличие резервного генератора позволяет ставить вопрос о целесообразности его использования в течение некоторого времени суток (например, в часы пиковых цен на электроэнергию) в качестве устройства распределенной генерации (УРГ). При выборе варианта АИП, – как правило, это дизель электрогенератор (ДЭГ), в качестве резервного источника питания предусматривается хранилище резервного топлива (дизельное топливо) ограниченной емкости. Емкость хранилища можно выбирать на этапе проектирования с условием возможности работы ДЭГ в режиме распределенной генерации (РГ), но в любом случае режим загрузки ДЭГ должен определяться с учетом ограничения по суточному объему использования топлива. Задача выбора

стратегии загрузки ДЭГ на суточном интервале представляется как оптимизационная, с ограничением.

В качестве целевой функции принимается прибыль от работы ДЭГ в режиме РГ

$$\Pi = \sum_{t \in H} \pi_t P_t - \pi_T B(P_t),$$

где  $P_t$  – мощность ДЭГ;  $B(P_t)$  – расходная характеристика ДЭГ;  $H$  – множество часовых интервалов, где прибыль положительна

$$H = \left\{ t : \pi_t P_t > \pi_T B(P_t) \right\}.$$

В целом оптимизационная задача представляется в виде

$$\max \left\{ \sum_{t \in H} \pi_t P_t - \pi_T B(P_t) \right\} \quad (6)$$

при ограничениях

$$\sum_{t \in H} B(P_t) = B_{\max}; \quad (7)$$

$$0 \leq P_t \leq P_{\max}. \quad (8)$$

Простые ограничения(8) можно учесть алгоритмически. При их нарушении принимаются предельные величины и соответствующий временной интервал исключается из множества  $H$ .

Из выражений (6), (7) формируется функция Лагранжа

$$L = \sum_{t \in H} \pi_t P_t - \pi_T B(P_t) - \lambda \left[ \sum_{t \in H} B(P_t) - B_{\max} \right]$$

Соответствующие ей условия необходимости Куна-Таккера

$$\frac{\partial L}{\partial P_t} = \pi_t - \pi_T \varepsilon(P_t) - \lambda \varepsilon(P_t) = \pi_t - [\pi_T - \lambda] \varepsilon(P_t) = 0 \quad (9)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda} = - \left[ \sum_{t \in H} B(P_t) - B_{\max} \right] = 0 \quad (10)$$

где  $\varepsilon(P_t) = B'(P_t)$  – относительный прирост расхода топлива ДЭГ.

Из уравнений (9) получаем критерий оптимальности

$$\pi_t / \varepsilon(P_t) = \pi_T - \lambda = const,$$

то есть ДЭГ на суточном интервале загружается таким образом, что соответствующий нагрузке относительный прирост расхода топлива был бы пропорционален текущей рыночной

цене,  $\varepsilon(P_t) = r\pi_t$ .

При квадратичной расходной характеристике  $B(P) = aP^2 + bP + c$  характеристика

относительных приростов (ХОП)  $\varepsilon(P_t) = B'(P_t) = 2aP_t + b$ .

Принимая во внимание условие пропорциональности  $\varepsilon(P_t) = r\pi_t$  можно получить представление мощности генерации через цену электроэнергии

$$P_t = \frac{r\pi_t - b}{2a}.$$

Часовой расход топлива

$$B(P) = aP^2 + bP + c = (aP + b)P + c = \frac{1}{4a}(r\chi_t)^2 + \left(c - \frac{b^2}{4a}\right)$$

Суточный расход топлива

$$\sum_{t \in H} B(P_t) = \frac{r^2}{4a} \sum_{t \in H} (\chi_t)^2 + \frac{T_H}{4a} (4ac - b^2) = B_{\max}$$

где  $T_H$  – длительность периода  $H$ .

Полученное выражение позволяет определить уравнение относительно коэффициента пропорциональности  $\gamma$ :

$$r^2 \sum_{t \in H} (\chi_t)^2 = 4aB_{\max} - T_H (4ac - b^2).$$

Отсюда

$$r = \sqrt{\frac{4aB_{\max} - T_H (4ac - b^2)}{\chi_{\text{ц}} T_H}}$$

где  $\chi_{\text{ц}}$  – второй начальный момент цены электроэнергии на интервале  $H$ :

$$\chi_{\text{ц}} = \frac{1}{T_H} \sum_{t \in H} (\chi_t)^2.$$

В качестве теста для проверки расчетных выражений был выполнен расчет оптимального распределения нагрузки при расходной характеристике ДЭГ с параметрами (у.е.)  $a = 0,01$ ;  $b = 0,1$ ;  $c = 10$ ;  $B_{\max} = 100$ . Расчет (сольверExcel) представлен в табл.1. В первом и втором столбцах показан произвольно выбранный ценовой график. В третьем столбце – варьируемые значения мощности ДЭГ. Четвертый и пятый столбцы отображают соответственно расходную характеристику и часовую прибыль. Далее показаны ХОП и отношение относительного прироста к цене. Последняя строка определяет сумму столбца.

В результате оптимизации (начальные значения  $P_i = 0$ ) был получен вектор мощностей, для которого суточная прибыль является максимальной и составляет 179,98 ед. При этом оказалось, что относительные приросты действительно пропорциональны цене,  $\gamma = 0,17$ . Максимизация функции Лагранжа позволяет получить множитель Лагранжа. В рассматриваемом примере  $\lambda = 4,76$ . Эта величина говорит о том, что суточная прибыль увеличится на 4,76 ед., если  $B_{\max}$  увеличить на единицу.

Таблица 1. – Оптимизация распределения нагрузки ДЭГ

t	ц	P	B(P)	PЦ-B(P)	ε(P)	γ=ε(P)/ц
1	2,5	16,71	14,46	27,32	0,43	0,17
2	2,3	14,98	13,74	20,71	0,40	0,17
3	2,1	13,25	13,08	14,75	0,37	0,17
4	2,4	15,85	14,10	23,94	0,42	0,17
5	2,6	17,59	14,85	30,88	0,45	0,17
6	2,8	19,32	15,67	38,44	0,49	0,17
7	2,4	15,85	14,10	23,94	0,42	0,17
		Сумма	100	179,98		

Вывод. Критерием оптимальности дополнительной загрузки резервных дизель-генераторов при ограниченном расходе топлива является пропорциональность цене относительного прироста затрат на производство электроэнергии.

### Моделирование систем автоматического регулирования возбуждения генераторов

Киселев Д. Н, Ершов Ю. А

Сибирский федеральный университет, Россия. г. Красноярск

Регулирование возбуждения генераторов оказывают существенное влияние на переходные процессы в энергосистеме, поэтому необходимы адекватные системы автоматического регулирования возбуждения. Для разработки таких систем на стадии проектирования, а также для обучения обслуживающего персонала важно иметь информацию о процессах, происходящих в системе в различных режимах работы, в том числе аварийных. Получить необходимую информацию на реальном объекте возможно с помощью компьютерного моделирования. Набор моделей должен обеспечить воспроизведение основных характеристик эксплуатируемых АРВ, влияющих на качество электромеханических переходных процессов [1].

Моделирование регулятора возбуждения реализовано в программе Matlab (приложение Simulink). Это позволяет контролировать работу устройств АРВ в режиме реального времени и проверить правильность их функционирования при различных режимах электрической системы. Разработанная модель сделана на основе возбудителя, представленного в [2] и регулятора, представленного в [3]. Функциональная схема модели регулятора возбуждения представлена на рис 1.

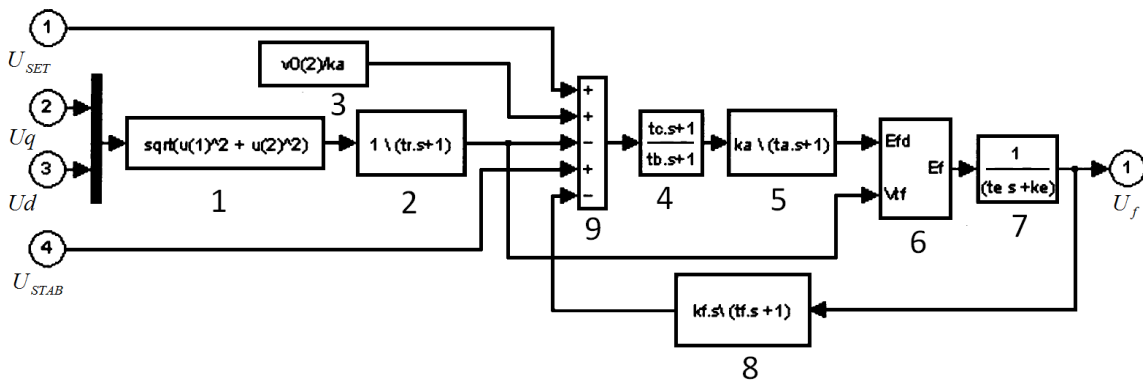


Рис. 1. Модель регулятора возбуждения

На вход блока поступают ортогональные составляющие напряжения генератора ( $U_d$ ,  $U_q$ ), желаемое значение напряжения  $U_{SET}$ , напряжение стабилизации  $U_{STAB}$ . Вычисление напряжения прямой последовательности (блок 1) происходит по выражению

$$U_{ff} = \sqrt{U_q^2 + U_d^2}.$$

Затем, в блоке 2, происходит выделение напряжения 1-ой гармоники.

$$W_2(s) = \frac{1}{tr.s + 1},$$

где  $tr$ - постоянная времени нижних частот.

В блоке 3 задается начальное значение напряжения на зажимах генератора  $Vt0$  и начальное значение напряжения возбуждения  $Vf0$ . При правильно выбранных начальных условиях процесс моделирования может быть начат с установившегося режима. Начальное значение напряжения на зажимах генератора для этого обычно задается равным 1 о.е. Начальное значение напряжения возбуждения можно вычислить с помощью утилиты LoadFlow блока PowerGui.

Блок 4 представляет собой передаточную функцию

$$W_4(s) = \frac{tc.s + 1}{tb.s + 1},$$

где  $tb$  и  $tc$ - постоянные времени стабилизатора.

В нормальном режиме временные постоянные  $tb$  и  $tc$  очень малы, однако при переходном процессе они способствуют стабилизации величины напряжения.

Блок 5 представляет собой передаточную функцию

$$W_5(s) = \frac{ka}{ta.s + 1},$$

где  $ta$ - постоянная времени регулятора,  $ka$  – коэффициент усиления регулятора.

Модель возбудителя (блок 7) представлена в виде передаточной функции между напряжением возбуждения  $U_f$  и выходным напряжением регулятора  $E_f$ .

$$W_7(s) = \frac{U_f(s)}{E_f(s)} = \frac{1}{Ke + sTe}$$

где  $Ke$ - коэффициент усиления,  $Te$ - постоянная времени модели возбудителя.

Блок 8 используется для вычисления производной напряжения и осуществления обратной связи. Передаточную функцию можно представить в виде

$$W_8(s) = \frac{Kf.s}{tf.s + 1}$$

где  $Kf$ - коэффициент усиления,  $tf$ -постоянная времени реального дифференцирующего звена.

Функциональная схема, поясняющая работу блока 6 представлена на рис. 2

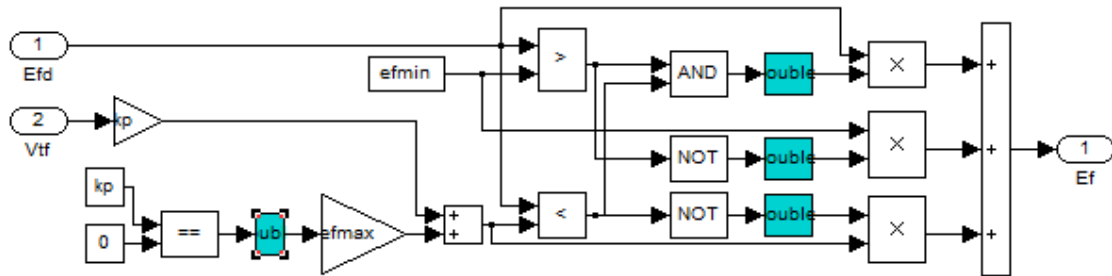


Рис.2. Функциональная схема блока 6.

Параметры блока: Минимальное  $E_f \min$  и максимальное  $E_f \max$  значения выходного напряжения регулятора в о.е. и его коэффициент усиления  $Kp$ . Верхний предел может быть постоянным и равным  $E_f \max$  или переменным и равным значению выпрямленного напряжения на зажимах генератора  $V_{tf}$ , умноженному на коэффициент усиления  $Kp$ . Если коэффициент усиления задан равным нулю, то используется первый вариант, если  $Kp$  задан положительным значением, то используется второй вариант.

Для испытания модели регулятора возбуждения была создана модель (рис.3), состоящая из генератора G1, нагрузки H1, регулятора возбуждения AVR и осциллографа Scope

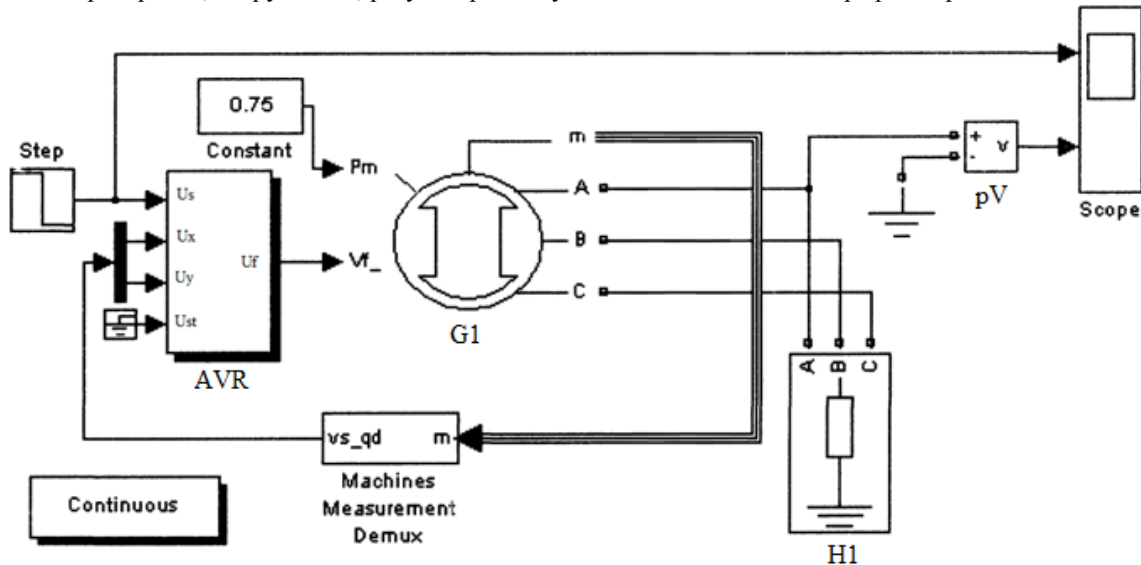


Рис.3. Испытание модели в программе Simulink



В результате испытаний были получены осциллограммы напряжения  $U_{SET}$ , напряжений на шинах генератора  $U_G$  и напряжения возбуждения  $U_f$ .

Результат работы регулятора возбуждения представлен на рис. 4

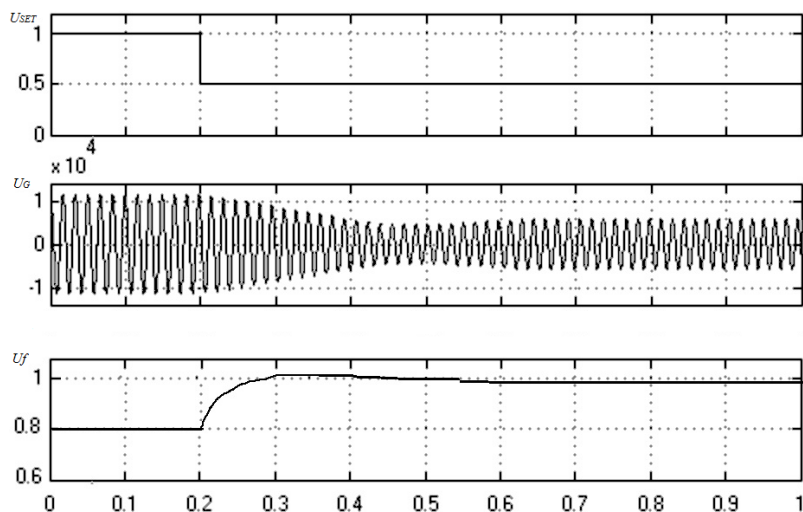


Рис.4. Испытание модели автоматического регулятора возбуждения

На рис.4 показано каким образом в момент времени 0.2 с происходит изменение напряжения возбуждения  $U_f$  при изменении входных параметров напряжения генератора.

На базе данной модели могут быть созданы более сложные системы автоматического регулирования возбуждения синхронных машин с большим количеством входных параметров.

Вывод: разработанная модель может использоваться в лабораторных и научных целях при исследовании систем регулирования возбуждения.

#### Список литературы:

1. Овчаренко Н. И. Аппаратные и программные элементы автоматических устройств энергосистем. – М.: Изд-во НИЦ ЭНАС, 2004. - 512 с.: ил.
2. Recommended Practice for Excitation System models for Power System Stability Studies, IEEE Standard – 1992. 422 с.
3. Черных И. В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. Изд-во: ДМК Пресс, Питер, 2008, 288 с: ил.

#### Электромагнитная совместимость работы частотно-регулируемого электропривода с установками компенсации реактивной мощности

*П.В. Коровченко, О.И. Цинкович*

*Горный университет, г. Санкт-Петербург, Россия*

[tsinkovich\\_o@mail.ru](mailto:tsinkovich_o@mail.ru)

Электромагнитная совместимость подразумевает совместную работу электрооборудования, взаимовлияние которого не приводит к выходу из строя любого звена в системе электроснабжения промышленного предприятия. В этой связи, чрезвычайно актуальным является оценка влияния высших гармоник, создаваемых в электрической сети частотно-регулируемыми приводами, на параметры работы конденсаторных батарей, предназначенных для компенсации реактивной мощности.

Работы, проводимые в Санкт-Петербургском «Горном университете», позволили оценить влияние шестипульсных преобразователей, применяемых в электроприводе, на параметры работы конденсаторных батарей (КБ) [1-3]. Дальнейшим развитием решения вышеуказанной задачи является определение влияния совместной работы шести- и двенадцатипульсных преобразователей.

Для решения поставленной задачи была сформирована оригинальная имитационная модель, построенная с использованием блоков приложения Simulink математической системы Matlab.

В результате исследований были получены результаты, которые однозначно указывают на необходимость учета не только гармонического состава тока и напряжения в виде их АЧХ, но и в виде сдвига фаз на различных гармониках между напряжением и током. Установлено, что существенную роль играет соотношение мощности шести- и двенадцатипульсных преобразователей.

Последнее можно проиллюстрировать кривыми, представленными на рисунке 1.

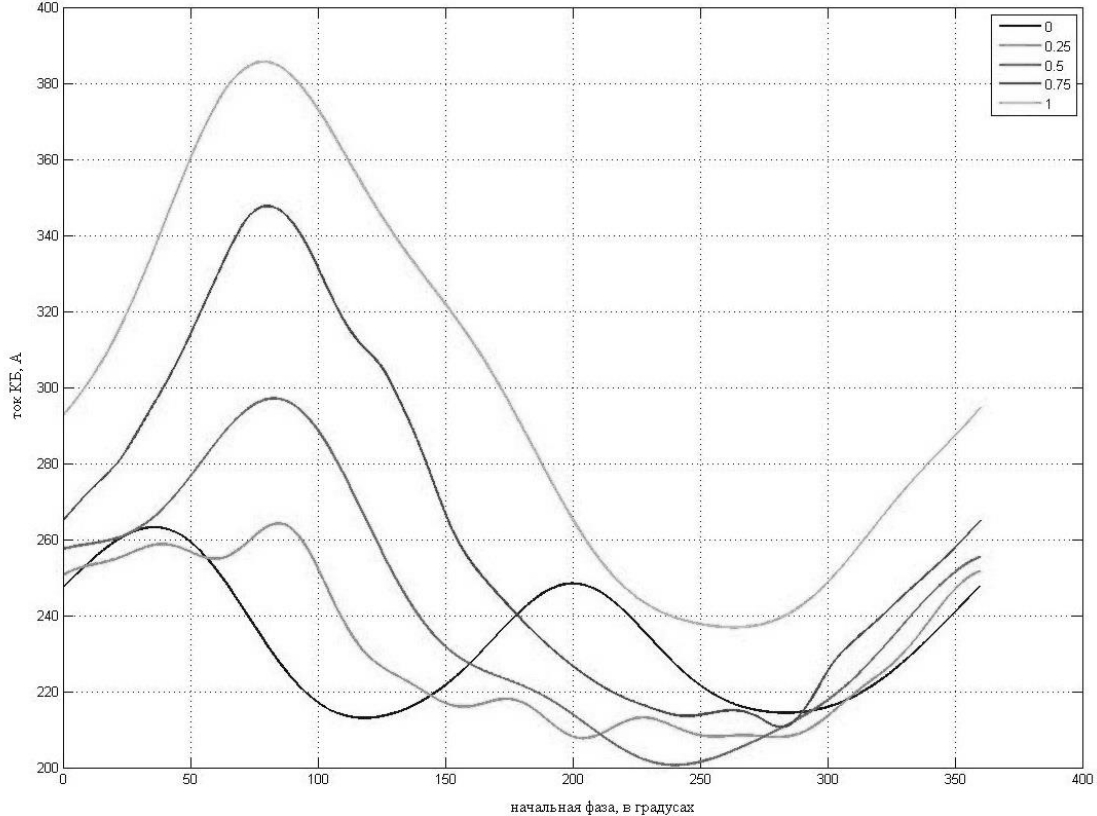


Рис. 1. Зависимости действующих значений тока КБ от начальной фазы источника напряжения на пятой гармонике для различных соотношений шести- и двенадцатипульсных преобразователей в составе нагрузки.

На рисунке представлены графики изменения тока КБ для наиболее выраженной пятой гармоники при расчете системы электроснабжения с характерными осредненными её параметрами в зависимости от начальной фазы источника напряжения для различных соотношений мощностей шести- и двенадцатипульсных преобразователей в составе потребителей, суммарная установленная мощность которых остается неизменной.

Как видно, увеличение доли шестипульсных преобразователей в общей установленной мощности нелинейной нагрузки приводит к возрастанию максимального действующего значения тока КБ на пятой гармонике. Кроме того, в данном случае увеличивается диапазон действующих токов КБ в зависимости от начальной фазы источника напряжения на пятой гармонике.

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы:

- При выборе КБ необходимо учитывать начальную фазу источника напряжения в случае, когда в сети присутствует нелинейная нагрузка;
- Параметры нелинейной нагрузки значительно влияют на режим работы КБ, в том числе приводят к отказу установок для повышения коэффициента мощности вследствие достижения недопустимых значений тока КБ.

Кроме того, влияние нелинейной нагрузки приводит к существенной разнице между значениями емкостей КБ для повышения коэффициента мощности при учете всего гармонического состава тока в сети и при учете только первой гармоники [4].

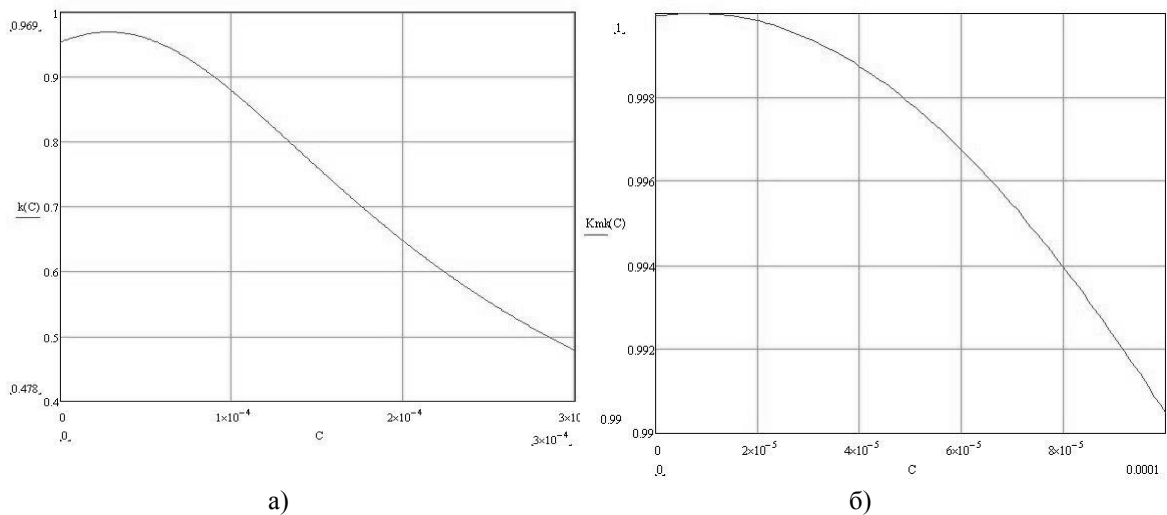


Рис. 2. Зависимость коэффициента мощности сети от емкости КБ при: а) учете полного гармонического состава тока; б) при учете только первой гармоники тока.

На основе схемы замещения, содержащей нелинейную нагрузку, с параметрами, характерными для распределительной сети промышленного предприятия, была получена аналитическая зависимость коэффициента мощности от емкости КБ. Аналогичная зависимость была определена в случае учета только первой гармоники тока, полученной при помощи разложения в ряд Фурье.

Как видно из рис. 2, емкость КБ для обеспечения максимального коэффициента мощности сети при учете всего спектра тока в четыре раза больше, чем аналогичный показатель, полученный при учете только первой гармоники тока.

В результате проведенных исследований, установлено что:

- начальная фаза источника напряжения на данной гармонике влияет на действующее значение соответствующей гармоники тока КБ;
- увеличение доли шестипульсных преобразователей в общей мощности нелинейной нагрузки приводит к увеличению максимального значения тока КБ и усилению указанного влияния в целом;
- учет всего гармонического состава тока приводит к увеличению емкости КБ, устанавливаемой с целью повышения коэффициента мощности сети.

Таким образом, для обеспечения рациональных режимов работы системы электроснабжения и предотвращения отказов должны быть выполнены условия электромагнитной совместимости в части взаимодействия КБ и частотно-регулируемого электропривода.

#### Список литературы:

1. Шклярский Я.Э., Добуш В.С. Влияние энергетических характеристик на определение параметров электрической сети // Научно-технические ведомости СПбГПУ. - №4 -СПб. - 2012. - С. 77-80.
2. Шклярский Я. Э. Добуш В. С. Оценка фазовых соотношений гармонических составляющих частотно-регулируемого привода// Записки Горного института. - Т. 196. – СПб. 2012. - С. 285-288.
3. Шклярский Я. Э., Брагин А. А., Добуш В. С. Влияние гармонического состава тока и напряжения на мощность искажения // Электронный научный журнал "Нефтегазовое дело". 2012. №4. С. 26-31.
4. Tsinkovich O.I. Capacitor Bank Evaluation for Power Factor Improvement of an Industrial Plant's Distribution Network with Non-Linear Load // Oil and Gas Business: electronic scientific journal. 2013, Issue 4, pp. 281-290.

**Кабельная арматура в электроэнергетике**  
**Кузьменко А.Е., Федюк Р.С., Ильинский Ю.Ю.**

*Учебный военный центр Дальневосточного федерального университета, Россия, г. Владивосток  
levv14@mail.ru*

Соединительные и оконечные устройства (кабельная арматура) должны быть выполнены таким образом, чтобы кабели были защищены от проникновения в них из окружающей среды влаги и других вредных веществ вне зависимости от материала изоляции. При этом кабельная арматура должна выдерживать испытательные напряжения, соответствовать техническим параметрам электрических сетей, иметь достаточную термическую и динамическую стойкость и соответствовать требованиям стандартов [1]. Для обеспечения длительной работы указанных элементов электрической сети всегда приходится решать задачи, касающиеся условий их работы и технического обслуживания.

Правильный выбор кабельной арматуры и соблюдение технологии прокладки и монтажа кабелей являются основой безотказной длительной эксплуатации линий электропередачи [2]. Конструкция и тип кабельной арматуры выбираются в зависимости от типа изоляции кабеля, рода тока, номинального напряжения, токов КЗ, числа и сечения токопроводящих жил, условий окружающей среды и прокладки.

Современная сертифицированная кабельная арматура не представляет риска для здоровья персонала и безопасна для окружающей среды. Более того, благодаря исключению пайки, битумного или двухкомпонентного наполнения и работ со свинцом удалось уйти от экологически вредных операций, которые всегда ассоциировались с монтажом кабельной арматуры. После монтажа современной муфты не остаётся никаких вредных и особо грязных остатков, которые потребовали бы специальных и дорогих методов утилизации.

Конструкции соединительных и концевых муфт для кабелей с бумажно-масляной пропитанной изоляцией (БМПИ) до 35 кВ за весь период их применения изменялись только за счёт совершенствования технологии изготовления и применения современных материалов. До настоящего времени используются муфты, заливаемые битумной мастикой марок МБМ или МК. Внутренняя изоляция в них выполняется при помощи неконденсаторной подмотки роликами и рулонами из предварительно пропитанной и проваренной кабельной бумаги.

Для оконцевания кабелей до 10 кВ включительно в помещениях использовались сухие или заливные битумные разделки, в зависимости от влажности и пожароопасности помещений. На открытом воздухе применялись металлические заливные муфты с фарфоровыми изоляторами типа КН, а в местах перехода с воздушной линии на кабельную — так называемые мачтовые муфты типа КМ.

В 60-х годах XX века ряд фирм разработал серию новых полимеров для применения в качестве изоляции на напряжение выше 1 кВ. Полученные материалы характеризуются исключительной стойкостью к длительному воздействию электромагнитного поля высокой напряжённости, а также окружающей среды (температуры, влажности, механического воздействия и т.д.). Некоторые из них, кроме указанных свойств, обладают памятью исходной формы, т.е., изменяя под воздействием высокой температуры первоначальную форму, при повторном нагреве возвращаются к исходной, повторяя размеры и профиль любого предмета, обеспечивая при этом достаточно высокий уровень герметизации. Были разработаны так называемые термоусаживаемые трубки (ТУТ) и самоспекающиеся ленты, с использованием которых созданы конструктивно новые концевые и соединительные муфты сначала для кабелей с БМПИ, а затем и с полимерной изоляцией для одно- и многожильных кабелей с круглыми и секторными жилами.

За последние 20 лет требования к арматуре значительно изменились и регламентируются стандартами: белорусскими СТБ, российскими ГОСТ Р и международными МЭК. Для изготовления термоусаживаемой арматуры, отличающейся низким дымо- и газовыделением, не поддерживающей горение, не содержащей галогенов и отвечающей современным требованиям безопасности, выполнен большой объём конструкторско-технологических и изыскательских работ.

В 90-х годах XX века в кабельных сетях крупных городов СНГ произошёл фактически переворот в применении кабельной арматуры — от привычной традиционной заливной к новой технологичной термоусаживаемой полимерной. Практически с 2000 года кабельная арматура на основе термоусаживаемых материалов заменила традиционные заливные битумные муфты. Основными изготовителями такой кабельной арматуры стали Подольский завод

электромонтажных изделий (ПЗЭМИ) в России и фирма Raychem в Германии. Эти предприятия поставляют кабельную арматуру, комплектующие и инструмент только собственного производства, прошедшие обязательную проверку и испытания в сертифицированных лабораториях.

Современная кабельная арматура выше 1000 В имеет систему выравнивания напряжённости электрического поля, которая может быть выполнена в виде отдельных элементов набора или уже нанесена на внутреннюю поверхность изоляционных трубок. В концевых муфтах внешние изоляционные трубки обладают поверхностной эрозионной стойкостью и трекингоустойкостью и обеспечивают герметизацию кабельных наконечников и наружных покровов кабеля. Область соединения жил закрывается трёхслойными термоусаживаемыми трубками, которые обеспечивают беспустотное поверхностное соединение внутренних изоляционных и внешнего полупроводящего слоёв.

Термоусаживаемые элементы поставляются в растянутом состоянии, что позволяет легко надевать их на разделанные концы кабелей. При нагревании происходит их усадка и плотный водонепроницаемый обхват кабеля, причём термоплавкий клей и наполнитель заполняют все пустоты. Конструкция кабельной арматуры повторяет кабель и может, как и он сам, изгибаться по трассе.

Кабельная арматура сконструирована и полностью испытана в соответствии с фирменными стандартами, которые соответствуют национальным и международным. В распоряжении ведущих производителей кабельной арматуры имеются протоколы испытаний, выполненных в различных независимых институтах и лабораториях, на длительное воздействие электрических нагрузок и окружающей среды, продолжительной работы в нормальных и аварийных режимах.

ВНИИКП совместно с ведущими заводами, изготавливающими кабельную арматуру, разработаны оригинальные конструкции кабельной арматуры, не имеющие мировых аналогов. В их число входит запатентованная конструкция соединительной кабельной муфты для кабелей с БМПИ и СПЭ-изоляциями напряжением 10 кВ. Эта конструкция предусматривает наличие межфазного заполнителя и элемента в виде листов, вставленных в трубу восстановления оболочки, изготовленных из термоплавкого композиционного материала, подшивающегося после монтажа. При усадке трубы межфазная распорка и листовая заполнитель расплавляются, но не стекают, а наполняют равномерно межфазное пространство и обеспечивают монолитное заполнение без присутствия воздуха.

Созданный ЗАО «ПЗЭМИ» полиолефиновый термоусаживаемый безгалогенный материал марки Н-1 пониженной пожароопасности, радиационноусаживаемый, перерабатываемый методами экструзии и литья под давлением и подобранный силиконовый самослипающийся противопожарный герметик марки SP601S фирмы Hilti дали движение в развитии арматуры и материалов, не поддерживающих горение.

Разработаны и сертифицированы муфты, предназначенные для применения на АЭС вне гермозоны в системах классов 3, 4 по классификации ОПБ 88/97, а также общепромышленного использования. При поставках на рынок СНГ и на экспорт выпускаются муфты марок 3,4Стпнг; Стпнг-10; 3,4КВтпнг; КВтпнг-10.

Применение современных технологичных материалов, новой технологии позволило значительно снизить влияние человеческого фактора на технологический процесс. Результат использования новой технологии привёл к значительному снижению повреждаемости в кабельных сетях 6—10 кВ России и Республики Беларусь, так как основной причиной повреждений кабельных линий являются повреждения концевых и соединительных муфт.

Законченная система универсальных муфт стала распространяться в 90-х годах. Сюда вошли переходные муфты для соединения кабелей с пластмассовой изоляцией с кабелями с бумажной изоляцией, переходные муфты для соединения кабелей, разных по сечению, с различной конструкцией и материалом жил.

Муфты монтировались и эксплуатировались в экстремальных климатических и погодных условиях, на практике подтверждая верность самой концепции универсальной муфты, отвечающей новым тенденциям в технологии монтажа и эксплуатации, соответствие требованиям к данному виду кабельной арматуры и надёжность конструкции, показанную в ходе интенсивных многолетних испытаний.

В это же время в России, Республике Беларусь и Польше появился ряд предприятий, выпускающих аналогичную продукцию. Качество изолирующих и «выравнивающих» трубок, подмоточного материала для выравнивания электромагнитного поля и клеевых составов не имеет

сертификата происхождения. Протоколы сертификационных испытаний вызывают сомнения в их достоверности. Ярким примером тому является ситуация, возникшая в Ленинградских Кабельных Сетях в 1999—2000 годах, когда при протекании сквозных трёхфазных токов КЗ повреждались 2, 3, а иногда и более концевых и соединительных муфт, смонтированных в разное время на одном кабеле и на транзитной цепочке кабельных линий.

Заявления ряда поставщиков об изготовлении части комплектующих кабельной арматуры на местах не выдерживают никакой критики, так как внешние признаки и отсутствие сертификатов происхождения материалов демонстрируют низкое качество изделий. У всех местных изготовителей отсутствует производственная база по полимерным комплектующим, соединители и наконечники изготавливаются из отходов алюминия. Термоусаживаемые трубки (ТУТ), подмоточные и клеевые ленты не имеют сертификатов происхождения, не маркированы, не имеют отличий у кабельной арматуры до 1 и 10 кВ, не пластичны, требуют дополнительного подогрева при монтаже, коэффициент усадки ТУТ едва превышает 2, когда для гарантированной герметизации требуется не менее 4.

Монтаж концевых и соединительных муфт при строительстве кабельных линий — наиболее сложная операция в кабельных работах. При этом они выполняются чаще всего в полевых условиях и при различной погоде. Организация рабочего места, разделка кабеля, монтаж концевых и соединительных муфт должны производиться специально подготовленным персоналом, имеющим представление о технологиях изготовления кабеля и досконально знающим процесс монтажа кабельной арматуры. Так как технология монтажа у разных типов муфт может отличаться, электромонтёр-кабельщик должен быть обучен под каждый тип кабельной арматуры [7]. Заводы-изготовители кабельной арматуры организуют обучение кабельщиков с выдачей сертификата на право монтажа кабельной арматуры собственного производства, как платное, так и бесплатное. Кабельная арматура разных заводов имеет некоторые особенности и отличия, поэтому наличие сертификата одного завода не даёт права проводить монтаж муфт другого предприятия. При нарушении этого правила чаще всего и происходят нарушения технологии монтажа кабельной арматуры, которые приводят к повреждениям кабеля.

Во времена Минэнерго СССР электромонтёр-кабельщик допускался к самостоятельной работе в лучшем случае через год работы на кабелях при наличии специального образования (ПТУ), практического опыта работы по прокладке кабеля и монтажу кабельной арматуры и после сдачи квалификационного теоретического и практического экзамена. Эти требования были обязательны как для персонала предприятий электросетей, так и для персонала СМО, который выполнял работы по строительству новых кабельных линий. Заказчики для снижения стоимости СМР в нарушение СНиП 3.05.06-85 для строительства кабельных линий привлекают организации, не имеющие практического опыта монтажа кабеля, у персонала которых нет достаточного опыта работы и сертификатов на монтаж кабельной арматуры. Данные статистического анализа повреждений кабелей и кабельной арматуры говорят о том, что основными причинами повреждений являются:

- нарушение технологии монтажа (40%);
- внешние механические воздействия при монтаже и эксплуатации (30%);
- применение кабельной арматуры, не соответствующей параметрам сетей (15%);
- нарушение технологии испытаний (10%);
- дефекты кабеля (5%).

#### Список литературы:

1. Ларина Э.Т. Силовые кабели и высоковольтные кабельные линии. — М.: Энергоатомиздат, 1996.
2. Пантелеев Е.Г. Монтаж и ремонт кабельных линий. 2-е изд. — М.: Энергоатомиздат, 1990. — 288 с.

#### Распределение мощности и электроэнергии для различных иерархических систем

*Курбака Г. В.*

*Черкасский государственный технологический университет, Украина, г. Черкассы*

[kyrbaka77@mail.ru](mailto:kyrbaka77@mail.ru)

Введение. Решение задачи о распределении мощности и электроэнергии в энергетических и производственных системах в большинстве случаев понимается как решение в оптимальной постановке на основе необходимой информации, которая считается известной, достаточной и

достоверной. Однако при этом не учитывается наличие у потребителей собственных интересов. Отсутствие у центрального планирующего органа (ЦПО) достоверной информации при распределении мощности и электроэнергии (ресурса  $P, W$ ) приводит к значительным экономическим потерям.

Анализ последних источников исследований и публикаций. Потребителям, как правило, известны принципы распределения  $P, W$  на основе поступающей в ЦПО информации. Более или менее широкие возможности в предоставлении ЦПО недостоверной информации, способность потребителей работать в диапазоне ниже предельного, являются теми степенями свободы, которые каждый отдельный потребитель может применять для достижения собственных интересов. В результате в комплексе «Энергосистема-потребитель» особое значение приобретают межэлементные связи: действие каждого потребителя влияет не только на его собственный выигрыш, но и на выигрыш других потребителей, т. е. функционирование комплекса можно рассматривать как игру, в которой ЦПО является главным игроком, выбирающим принцип распределения  $P, W$  и тем самым задающим правила игры.

Цель. Задача управления системой формируется следующим образом. ЦПО стремится выбрать такой тип распределения мощности  $P$  и электроэнергии  $W$ , чтобы в результате решения рассматриваемой игры достигался минимум потерь для энергосистемы в целом.

Рассмотрим распределение мощности и электроэнергии для различных иерархических уровней управления. Система состоит из ЦПО и «подчиненных» ему  $j$ -тых потребителей ресурса  $P, W$ . В каждый плановый период ЦПО располагает запасом ресурса  $P, W$  в количестве  $R$ , который выдает каждому  $j$ -му потребителю в количестве, в соответствии с запросом на ресурс  $B_j$  и с коэффициентом важности потребителя  $a_j$ , а также с учетом удельного ущерба от недоотпуска

ресурса  $y_j$ . [1 – 5]. Коэффициент важности потребителя  $a_j = \frac{B_{авар.j}}{B_j}$ , где  $B_{авар.j}$  – аварийное наименьшее допустимое значение выделяемого ресурса  $P, W$ .

Эффективность решения задачи распределения ресурсов характеризуется функцией  $F_j(x_j, y_j)$ , которая выражает ущерб  $j$ -го потребителя от недополучения ресурса  $x_j = P$ ,  $x_j = W$ . Цель ЦПО состоит в сведении к минимуму суммарного ущерба системы  $F$ :

$$F = \sum_{j=1}^n F_j(x_j, y_j) \rightarrow \min$$

; дефицитная система:  $\sum_{j=1}^n B_j > R$  ;  $\sum_{j=1}^n x_j = R$  ; недефицитная система:  $\sum_{j=1}^n x_j \leq B_j$  ;  $\sum_{j=1}^n x_j < R$  ;  $j = \overline{1, n}$ .

Несмотря на кажущуюся простоту формулировки, задачу можно решать в условиях отсутствия достоверной информации об эффективности использования ресурса потребителями  $F_j(x_j, y_j)$  и при наличии индивидуальных интересов у потребителей, направленных на оптимизацию собственных целевых функций.

Рассмотрим следующие подходы к решению задачи. При распределении ресурса по принципу Аукциона [6 – 8] выстраивается вариационный ряд потребителей по величине некоторого показателя  $Q(a_j, y_j, B_j)$ , зависящего в общем случае от коэффициента важности потребителя, удельного ущерба от недоотпуска ресурса, а также величины запроса. В первую очередь ресурс  $P, W$  выделяется пользователю с максимальным показателем приоритета в количестве равном запросу, затем пользователю, следующему в убывающем ряду, и т. д.. В случае равных показателей приоритетов у нескольких потребителей и дефицита  $P, W$  ресурс распределяется между ними прямо пропорционально запросам  $B_j$ . В качестве показателя

приоритета брать  $Q(a_j, y_j)$ ,  $Q(a_j, y_j, B_j)$ ,  $Q(a_j, y_j / B_j)$  Однако, несмотря на простоту реализации, принцип аукциона не всегда удовлетворяет всем выдвигаемым требованиям.

Наиболее распространенной в настоящее время является процедура, когда ресурс распределяется прямо пропорционально “прямым” приоритетам  $Q(a_j, y_j)$  –  $j$ -х потребителей. Анализ недостатков реальных систем, использующих принцип прямо пропорционального распределения, свидетельствует о наличии серьезных нерешенных проблем. Поэтому для придания системе большей гибкости учитываются, также запросы потребителей на ресурс и организуется пропорциональное распределение  $P, W$ , с поправками на весовые коэффициенты приоритета.

Для практического использования применяется следующий принцип пропорционального распределения:

$$X_i = \left\{ \begin{array}{l} B_i, \text{ если } \sum_{j=1}^n B_j \leq R, \\ \min \left[ B_i, \frac{a_i y_i B_i}{\sum_{i=1}^n a_i y_i B_i} R \right], \text{ если } \sum_{j=1}^n B_j > R \end{array} \right\}, \quad j = \overline{1, n}.$$

Однако данная система является устойчивой не во всех случаях. Существование преимущества по сравнению с рассмотренными принципами аукциона и пропорционального распределения имеет принцип распределения, названный принципом обратных приоритетов. В

данном случае за коэффициент потерь следует принять величину  $a_j y_j / B_j$  и распределить ресурс по правилу:

$$X_i = \left\{ \begin{array}{l} B_i, \text{ если } \sum_{j=1}^n B_j \leq R, \\ \min \left[ B_i, \frac{a_i y_i / B_i}{\sum_{i=1}^n a_i y_i / B_i} R \right], \text{ если } \sum_{j=1}^n B_j > R \end{array} \right\}, \quad j = \overline{1, n}. \quad (1)$$

При анализе практических результатов распределения ресурса  $P, W$  по последнему выражению выявляется следующий недостаток: из-за наличия потребителей, имеющих относительно высокий коэффициент потерь  $a_i y_i / B_i$  и малую величину запроса, может возникнуть некоторая

нераспределенная величина ресурса  $P, W$  при учете ограничения  $B_j \geq x_j$ , что в условиях дефицита ресурса является недопустимым. Для устранения этого недостатка необходимо применять итерационный, многошаговый принцип обратных приоритетов. Первоначально распределение  $P, W$  производится по прямо пропорциональному принципу. На первом шаге из

множества индексов  $j = \overline{1, n}$ , выделяется подмножество элементов  $k_1$ , для которых  $V_i(B_i) \geq B_i$ ,

где  $V_i^{(1)}(B) = \frac{a_i y_i / B_i}{\sum_{j=1}^n a_i y_i / B_j} R$ .



Элементом с номером  $i \in k_1$  выделяется ресурс в количестве  $x_i = B_i$ . На втором шаге из рассмотрения исключается подмножество элементов  $k_1$  (так же, как и распределенная им часть ресурса  $P, W$ ), и к оставшимся потребителям применяется правило (1).

Аналогичным образом выделяется подмножество элементов  $k_2$ . На третьем шаге из рассмотрения исключается подмножество потребителей  $(k_1) \cup (k_2)$ . Далее процедура продолжается аналогично

и заканчивается за конечное число итераций. Понятно, что в случае если сумма  $B_j > R$ , на последнем шаге остаток ресурса между потребителями последней группы не будет делиться по обратным приоритетам, то есть  $x_i = V_i(k)(B_i)$ , где  $k$  – число итераций. Следовательно, ресурс  $P, W$  будет распределяться полностью не только в равновесии, но и в любой точке  $B$  (имеется в виду ситуация дефицита).

В таблицах 1, 2 приведены результаты модельных расчетов различными методами задачи распределения мощности в энергетической системе для десяти предприятий.

Таблица 1. Распределение ресурса по принципу аукциона

Номер потребителя	Исходные данные распределения				Аукцион					
					$Q(a_i y_i)$		$Q(a_i y_i B_i)$		$Q(a_i y_i / B_i)$	
	$y_i$	$B_i$	$B_{ав. i}$	$a_i = \frac{B_{ав. i}}{B_i}$	$x_i$	$\varphi_i$	$x_i$	$\varphi_i$	$x_i$	$\varphi_i$
1	157	2500	250	0,1	0	157	0	157	2500	0
2	4830	32400	21000	0,65	32400	000	32400	000	32400	0
3	4100	34500	1730	0,05	34500	0	34500	0	22800	1390,4
4	1560	7000	700	0,1	7000	0	7000	0	7000	0
5	2280	14200	2130	0,15	14200	0	14200	0	14200	0
6	780	2800	140	0,05	0	780	0	780	2800	0
7	585	6400	1280	0,2	0	585	0	585	6400	0
8	1623	16500	1650	0,1	16500	0	16500	0	16500	0
9	268	3500	180	0,05	0	268	0	268	0	268
10	217	2600	130	0,05	0	217	0	217	0	217
Сумма		122400			104600	2007		2007		1875,4

Таблица 2. Распределение ресурса по прямо и обратно пропорциональному принципу

Номер потребителя	Исходные данные распределения				Прямо пропорциональное распределение		Обратно пропорциональное распределение	
					$x_i$	$\varphi_i$	$x_i$	$\varphi_i$
$y_i$	$B_i$	$B_{ав. i}$	$a_i = \frac{B_{ав. i}}{B_i}$	$x_i$	$\varphi_i$	$x_i$	$\varphi_i$	
1	157	2500	250	0,1	391	132,5	2500	0
2	4830	32400	21000	0,65	32400	0	32400	0
3	4100	34500	1730	0,05	5105	3493,3	3023	3740,7
4	1560	7000	700	0,1	3884	694,4	7000	0
5	2280	14200	2130	0,15	8516	912,6	12255	312,3
6	780	2800	140	0,05	971	509,5	2800	0
7	585	6400	1280	0,2	2913	318,7	6400	0
8	1623	16500	1650	0,1	4041	1225,5	5008	1130,4
9	268	3500	180	0,05	334	242,4	1949	118,8
10	217	2600	130	0,05	270	194,5	2122	39,9
Сумма		122400			58825	7723,4	75457	5342,1

Из таблицы 2 видно, что наиболее эффективным эвристическим методом распределения ресурсов является метод обратно пропорционального распределения при использовании, которого ущерб ограничения мощности составляет 5342,1 у.е.

Выводы. Для распределения дефицитного ресурса  $P$ ,  $W$ , как в энергосистемах, так и в системах электроснабжения предприятий, при условии неполной информированности ЦПО о достоверных потребностях пользователей в ресурсе, целесообразно применять в качестве базового метода многошаговый принцип обратных приоритетов.

#### Список литературы:

1. Фокин С.Н. Учет, контроль и планирование времени функционирования ЭВМ. – Обмен опытом в радиопромышленности, 1982, № 5.
2. Фокин С.Н., Черноиванова Т.П. Сравнительный анализ принципов распределения времени функционирования ЭВМ. – Вопросы радиоэлектроники, 1984, № 5.
3. Бурков В.Н., Коргин Н.А., Новиков Д.А. Введение в теорию управления организационными системами / Под ред. чл.-корр. РАН Д.А. Новикова. М.: Либроком, 2009. 264 с.
4. Бурков В.Н., Горгидзе И.И., Новиков Д.А., Юсупов Б.С. Модели и механизмы распределения затрат и доходов в рыночной экономике. М.: ИПУ РАН, 1997. 61 с.
5. Новиков Д.А. Теория управления организованными системами. 2-е издание. М.: Физматлит, 2007. 584 с.
6. Бурков В.Н., Кондратьев В.В. Механизмы функционирования организационных систем. – М.: Наука, 1981.
7. Дабагян А.В., Заруба В.Я. Схема аукциона в задаче распределения ограниченного ресурса. – Автоматика и телемеханика, 1981, № 1.
8. Бурков В.Н. и др. Распределение водных ресурсов. – Автоматика и телемеханика, 1980, № 3.

#### Анализ применения метода последовательного эквивалентирования в сочетании с методом простой итерации для расчета режимов региональных энергосистем

*Кутукова Е.С., Малафеев А.В.*

*Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Россия,  
г. Магнитогорск*

[katya\\_kutukova@mail.ru](mailto:katya_kutukova@mail.ru)

В связи с существенным влиянием крупных промышленных потребителей, таких, как предприятия черной и цветной металлургии, на режим РЭЭС, в ряде случаев необходимо определять параметры режима для расчетных схем, включающих в себя как распределительные сети объекта, так и основную сеть РЭЭС.

В настоящей работе для расчета параметров режима использован метод последовательного эквивалентирования [1], ориентированный на расчет режимов систем электроснабжения крупных промышленных предприятий и обеспечивающий сходимость за 2-3 итерации при условии задания узлов связи с энергосистемой узлами с неизменным напряжением. Для хорошей сходимости достаточно использовать метод простой итерации.

Таким образом, необходимо оценить использование метода последовательного эквивалентирования в сочетании с методом простой итерации применительно к условиям сложноразветвленных сетей напряжением 220-500 кВ региональных энергосистем.

В качестве объекта исследования была выбрана Челябинская энергосистема, одним из наиболее крупных потребителей которой является Магнитогорский энергетический узел.

Для большинства узлов связи с соседними РЭЭС была известна информация (по данным филиала ОАО «ФСК ЕЭС» – МЭС Урала) только о модулях напряжений и токов, либо о значениях активных мощностей. Тем не менее, для системообразующей сети имелась информация о распределении активных и реактивных мощностей, что позволило из уравнения их баланса получить недостающие значения параметров режима для узлов связи [2].

В работе проведено исследование сходимости итерационного процесса по напряжению и мощности. Ход итерационного процесса по величинам напряжения, активной и реактивной мощности на примере узла связи ПС «Козырево» и ПС «Шагол» проиллюстрирован на рис. 1–6.

Таким образом, при использовании метода простой итерации сходимость для узлов связи напряжением 500 кВ, электрически удаленных от узлов связи напряжением 220 кВ, наблюдается только по реактивной мощности. Для узлов связи 500 кВ, электрически мало удаленных,

наблюдается сходимость как по напряжению, так и по активной и реактивной мощности. При этом в последнем случае имеет место лучшая сходимость по всем параметрам режима.

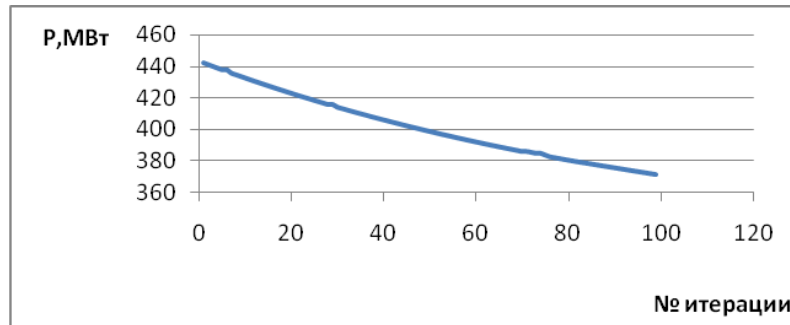


Рис. 1. Сходимость по активной мощности для узла связи ПС «Магнитогорская»

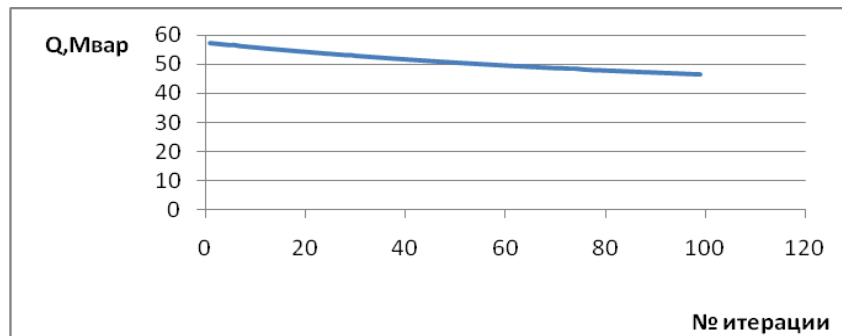


Рис. 2. Сходимость по реактивной мощности для узла связи ПС «Магнитогорская»

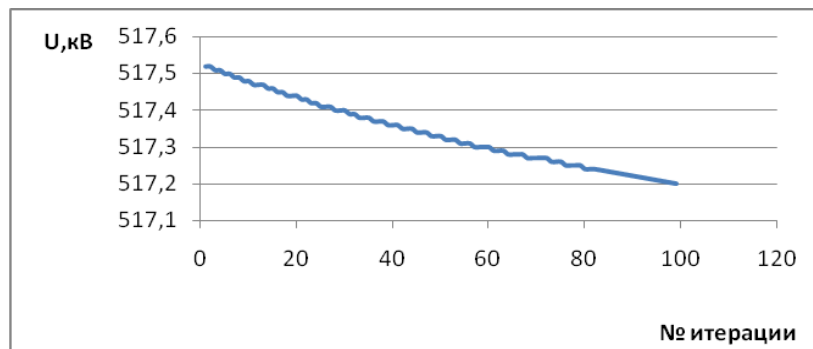


Рис. 3. Сходимость по напряжению для узла связи ПС «Магнитогорская»

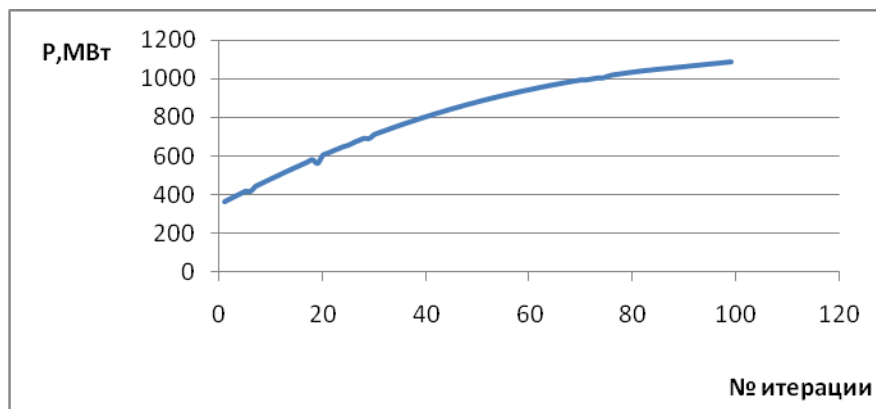


Рис. 4. Сходимость по активной мощности для узла связи ПС «Шагол»

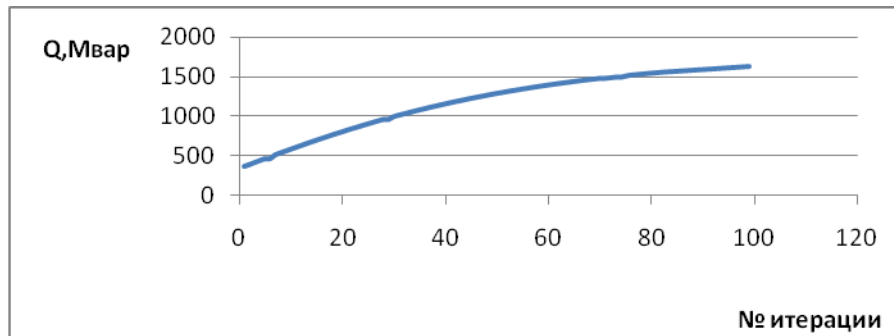


Рис. 5. Сходимость по реактивной мощности для узла связи ПС «Шагол»

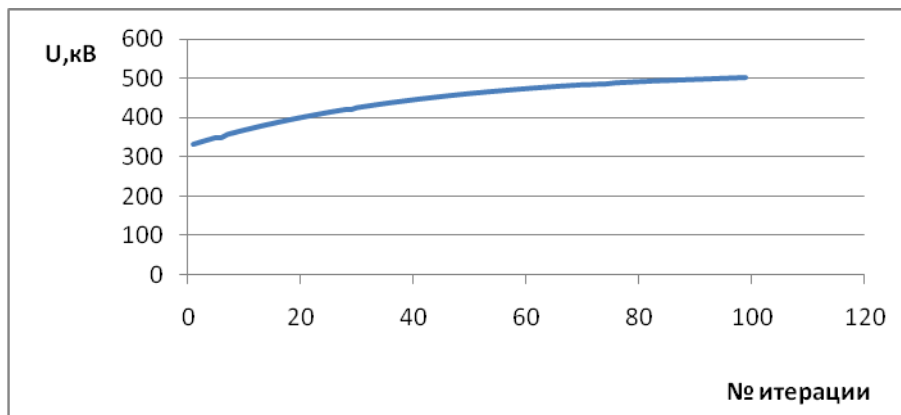


Рис. 6. Сходимость по напряжению для узла связи ПС «Шагол»

Следовательно, для адаптации метода последовательного эквивалентирования к условиям региональных энергосистем необходимо использование более сложных итерационных методов решения, обеспечивающих сходимость при существенно меньшем числе итераций.

#### Список литературы:

1. Игуменцев В.А., Заславец Б.И., Малафеев А.В., Буланова О.В., Ротанова Ю.Н. Модифицированный метод последовательного эквивалентирования для расчета режимов сложных систем электроснабжения // Промышленная энергетика. – 2008. – №6. – С. 16-22.
2. Гамм А.З. Статистические методы оценивания состояния электроэнергетических систем. – М.: Наука, 1976. – 220 с.

#### Использование программной среды labview для моделирования двигателя постоянного тока Ле Ван Туан

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск  
[lebinho89@gmail.com](mailto:lebinho89@gmail.com)

Введение. В настоящее время, в сфере высшего образования проводится работа по введению инновационных методов обучения, способствующих получению более качественного образования. В связи с этим многие университеты и техникумы проводят улучшение базы лабораторного оборудования. Одной из проблем является то, что решение данной задачи остается непосильным для многих учебных заведений с экономической точки зрения.

Поэтому в ряде случаев практические исследования и применения информационных технологий в целом наиболее целесообразно проводить на персональных компьютерах. Данный способ решения поставленной задачи является наиболее доступным и довольно эффективным в своем плане.

В настоящее время существование многих программных сред позволяет программистам упростить решение сложнейших в своем роде задач. В данной статье рассматривается использование программной среды LabVIEW для моделирования двигателя постоянного тока, а также его 3D-модели.

LabVIEW предоставляет возможность программирования используя графический язык, предназначенный для создания программ в форме структурных схем. LabVIEW содержит обширные библиотеки функций и инструментальных средств, предназначенных для создания систем сбора данных и систем автоматизированного управления. LabVIEW также включает стандартные инструментальные средства разработки программ. [1]

Программы в LabVIEW называются виртуальными приборами, так как их вид и функционирование имитируют реальные измерительные приборы, при этом виртуальные приборы подобны функциям в программах стандартных языков программирования.

Электродвигатель постоянного тока (ДПТ) — электрическая машина постоянного тока, преобразующая электрическую энергию постоянного тока в механическую энергию [2]. Электрические машины постоянного тока используют как в качестве генератора, так и в качестве двигателя. Двигатели постоянного тока получили большое распространение:

- они широко используются для привода подъёмных средств в качестве крановых двигателей;

- служат приводом транспортных средств в качестве тяговых двигателей;

- используются для привода устройств автоматики;

- используются для привода прокатных станов;

- используются для привода штатных подъёмников.

Практическая часть. Моделирование двигателя постоянного тока в среде Labview. Для начала используя физическую модель двигателя разберем входных величин данного проекта:

- напряжение (Voltage) -  $U$ ,

- момент инерции (Torque) –  $J$ ,

- угловая скорость -  $\omega$

- ток -  $I$ .

Математическое описание двигателя [3]:

$$U = R \cdot I + k \cdot \omega$$

$$k \cdot I = J \left( \frac{d\omega}{dt} \right) + T$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{k \cdot I - T}{J}$$

Все эти величины описаны в подпрограмме «dc\_motor\_math (Subvi)», структурная схема которой представлена на (Рис.1.).[4]

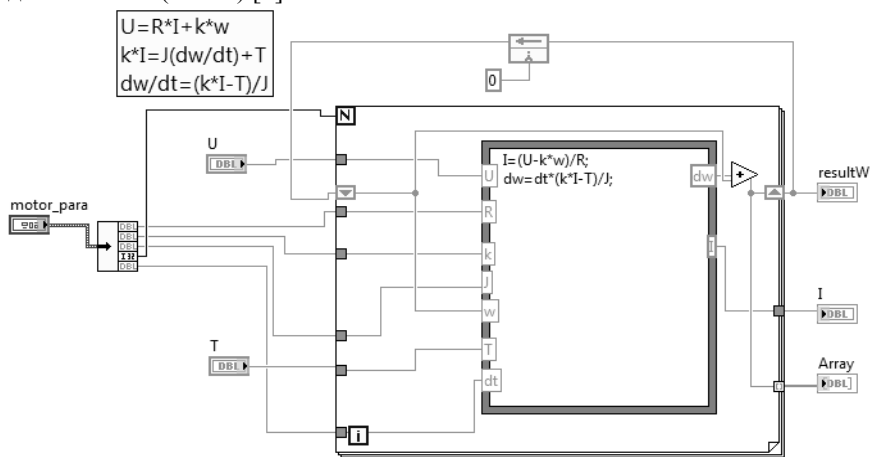


Рис.1. Блок-диаграмма подпрограммы «dc\_motor\_math (Subvi)»

Ввод параметров двигателя в компоненте Cluster «Motor\_para», имеющем сопротивление цепи якоря  $R$ , коэффициент ЭДС двигателя  $k$ , крутящий момент  $J$  и величину времени  $dt$  (предположим  $dt = 10^{-6} c$ ).

Далее построена другая подпрограмма «dc\_motor\_3d (Subvi)» для моделирования двигателя в трехмерном пространстве. Угловая скорость этого двигателя равна угловой скорости двигателя, описывающейся в подпрограмме «dc\_motor\_math (Subvi)».

Наконец построение главного прибора - это виртуальный двигатель вместе с 3D-моделью в программной среде Labview (рис. 2.) и (рис. 3.) «dcmotor\_main (vi)».

Виртуальная двигатель состоит из двух главных частей [5]:

- Блок-диаграммы рис. 2. (блок-диаграмма представляет собой наглядное представление решения задачи и содержит исходные коды для виртуального двигателя);
- Лицевой панели рис. 3. (лицевая панель содержит кнопки управления, переключатель, графики, трехмерное изображение т.п.).

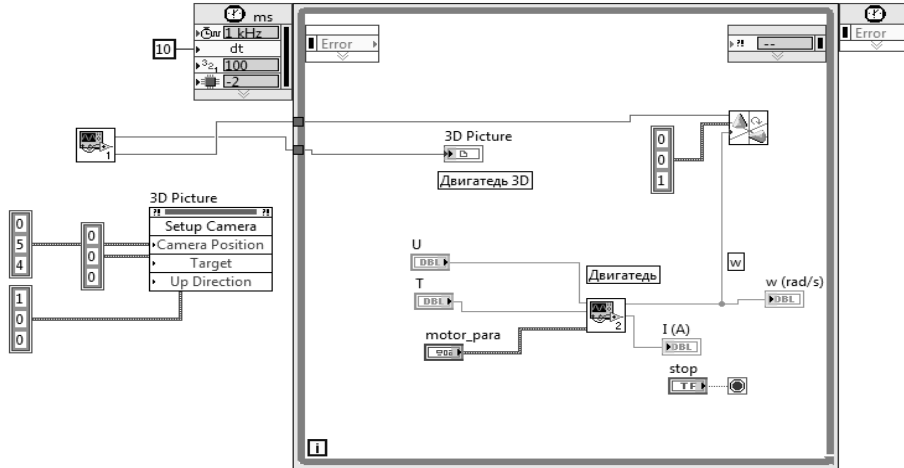


Рис. 2. Блок-диаграмма «dcmotor\_main (vi)».

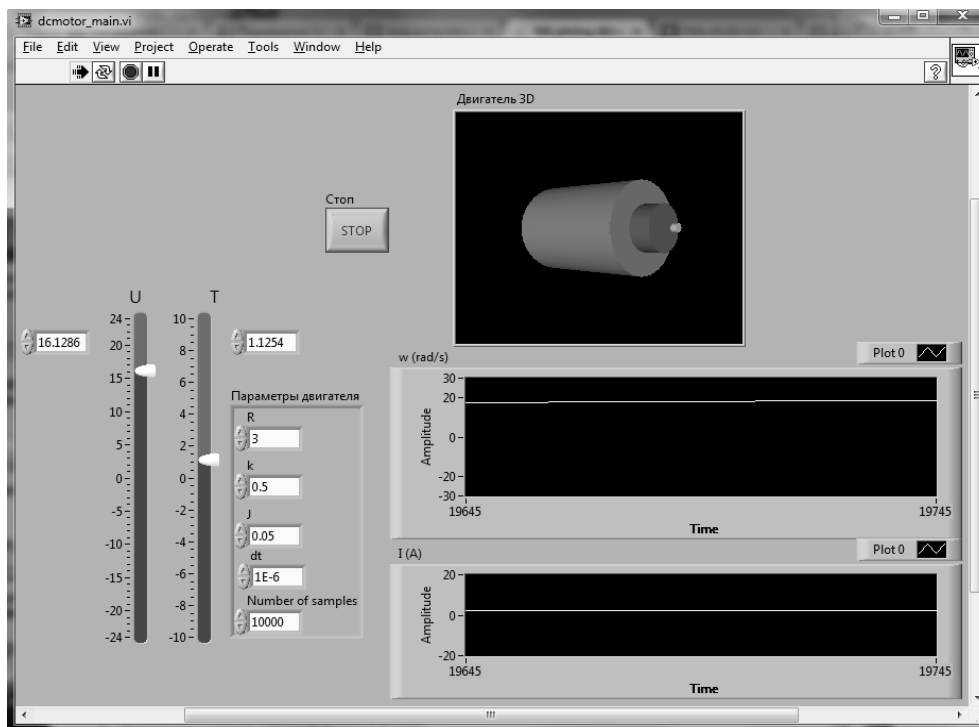


Рис. 3. Лицевая панель «dcmotor\_main (vi)».

На рисунке 3 представлена возможность управления входными величинами U, T и задания параметров значений R, k, J, dt, число цикла. Соответственно входным параметрам в результате моделирования получаем выходные значения: угловую скорость  $\omega$  и ток I.

Заключение. В данной работе представлено использование программной среды Labview для моделирования простого двигателя постоянного тока. Подобным образом возможно моделирование наиболее сложных систем. К примеру, возможно моделирование: двигателя переменного тока, рук робота и много другое.[6]

**Список литературы:**

1. Тревис Дж. Labview для всех. –М.: ДМК Пресс, 2005. -544 с.
2. [http://ru.wikipedia.org/wiki/Электродвигатель\\_постоянного\\_тока](http://ru.wikipedia.org/wiki/Электродвигатель_постоянного_тока)
3. <http://edu.dvgups.ru/metdoc/gdtran/depen/elmask/emash/metod/yushenko/11.htm>
4. TechTeach [Электронный ресурс] - Режим доступа - <http://techteach.no/> свободный - Загл. с экрана
5. Жуков К. Г. Модельное проектирование встраиваемых систем в LabVIEW. –М.: ДМК Пресс, 2011. – 688 с.
6. Hocdelam Group [Электронный ресурс] - Режим доступа - <http://hocdelam.org/> свободный - Загл. с экрана

**Модели принятия решений по эксплуатации электрооборудования на основе нечеткой логики  
Левин В.М.**

ФГБОУ ВПО Новосибирский государственный технический университет, Россия, г. Новосибирск  
[vlevin@ngs.ru](mailto:vlevin@ngs.ru)

Значительная часть электрооборудования подстанций, включая силовые трансформаторы (СТ), эксплуатируется по фактическому состоянию. Это предполагает определение необходимости и целесообразности их вывода в ремонт по результатам диагностической оценки. Оценка состояния СТ выполняется с помощью периодического или on-line контроля и направлена на идентификацию «критических» дефектов, наличие которых свидетельствует о большом риске отказа при дальнейшей эксплуатации. В соответствии с действующими нормами [1, 2] оценка состояния СТ производится комплексно по результатам диагностирования каждого из элементов конструкции (обмотки, магнитопровод, система охлаждения, вводы, РПН, трансформаторное масло и др.) с применением утвержденных методов. При этом для каждого элемента конструкции и метода диагностирования определяются признаки, по значениям которых фактическое состояние СТ относится к определенному классу. Совпадение оценок по двум и более методам повышает уверенность в принятии решений.

В целом ситуация принятия решений о выводе СТ в ремонт характеризуется высокой степенью неопределенности и, как следствие, нежелательными исходами и убытками, что и составляет понятие «риск» [3]. На этапе постановки диагноза неопределенность обусловлена различием состава диагностических измерений и достоверностью их интерпретации. Неопределенность диагноза приходится компенсировать проведением повторных измерений для подтверждения полученных ранее результатов. Это создает ситуацию отложенного решения и снижает эксплуатационную надежность оборудования. При прогнозировании в СТ дефекта высокой силы проявления подобная ситуация становится недопустимой. На этапе выбора рассматриваемых альтернатив неопределенность вызвана различием предпочтений в определении критерия (цели) управления состоянием СТ.

Таким образом, для принятия решений по эксплуатации СТ в условиях неопределенности актуальна разработка моделей, позволяющих реализовать некоторый компромисс между точностью диагностических оценок и определенностью воздействий, направленных на снижение риска отказа СТ. Универсальным инструментом разработки подобного класса моделей служит теория нечетких множеств и нечеткой логики [4, 5].

Произведем формализацию задачи принятия решений о выводе СТ в ремонт по фактическому состоянию с применением аппарата теории нечетких множеств и нечеткого логического вывода.

Пусть  $x_i$  – контролируемые параметры (признаки), характеризующие состояние СТ по одному из методов диагностирования  $(i = \overline{1, n})$ . Так, например, по методу хроматографического анализа растворенных газов в масле СТ (ХАРГ) в качестве признаков идентификации состояния эффективны [6]: нелинейная дискриминантная функция вектора относительных концентраций

$$x_1 = \frac{\sum_{j=1}^7 a_j^2}{\sum_{j=1}^7 a_j}$$

диагностических газов (здесь:  $a_j = A_j / A_{j\text{äð}}$ ,  $A_j$ ,  $A_{j\text{äð}}$  – измеренные и предельно-допустимые значения концентраций в %об.), а также максимальная относительная скорость

концентрации  $j$ -го характерного газа  $x_2 = \max(V_i \text{ä } j)$ , %мес. Пусть  $D(x_i)$  – область

определения входных параметров модели  $x_i = \{x_1, x_2\}$ , несчетное множество точек оси действительных чисел. Зададим входную лингвистическую переменную «Уровень параметра» с

обозначением нечетких подмножеств множества  $D(x_i)$ : «Высокий», «Средний», «Низкий». В качестве выходного параметра модели ( $y$ ) введем лингвистическую переменную «Состояние СТ» либо «Степень риска отказа», взаимно-однозначное соответствие между которыми и принимаемым решением по эксплуатации СТ задает таблица 1.

Таблица 1. Соответствие между лингвистическими терминами и экспертными решениями.

«Состояние СТ»	«Степень риска отказа»	Решение по эксплуатации СТ
Норма	Несущественная (НС)	Эксплуатация без ограничений
Норма с отклонениями	Низкая (Н)	Учащенный контроль
Норма со значительными отклонениями	Средняя (С)	Дополнительные обследования
Ухудшенное	Высокая (В)	Эксплуатация с ограничениями, планирование ремонта
Предельное	Наивысшая (НВ)	Немедленный вывод из работы

Параметрическое описание нечетких подмножеств выполняется при помощи построения соответствующих функций принадлежности  $\mu(x_i)$  для каждого из термов лингвистической переменной. Существующие методы построения функций принадлежности базируются на использовании экспертной информации. В качестве таковой могут применяться нормативы предельно-допустимых значений на изменение контролируемого параметра, либо результаты его статистического распределения. В ряде случаев применяется непосредственное задание функции принадлежности таблицей, графиком или формулой [4, 5]. На рис.1 изображены функции принадлежности лингвистических переменных, полученные с применением вышеуказанных методов.

Формализация процессов принятия решений в условиях неопределенности, как правило, сводится к применению одного из алгоритмов нечеткого логического вывода [5].

Наиболее популярный в технических задачах алгоритм Мамдани содержит следующие основные этапы: формирование базы правил, фаззификация входных параметров, агрегирование, активизация подзаключений в нечетких правилах продукций, аккумуляция, дефаззификация. Опуская математические подробности теории нечетких множеств, рассмотрим особенности перечисленных этапов нечеткого логического вывода применительно к формируемой модели принятия решений о выводе СТ в ремонт по фактическому состоянию. Модель состоит из трех параметров,  $x_1$  и  $x_2$  – входные переменные,  $y$  – выходная переменная. Для каждой из переменных определены лингвистически задаваемые терм множества и построены соответствующие им функции принадлежности (рис.1). Задачей нечеткого вывода в данном случае является определение числового значения выходной переменной  $y$ .

Формирование базы правил заключается в представлении экспертных знаний в области диагностирования СТ по ХАРГ, что с учетом [6] выглядит следующим образом:

1. ЕСЛИ  $x_1$  «Низкий», ТО  $y$  «Несущественная»
2. ЕСЛИ  $x_1$  «Средний» И  $x_2$  «Низкий», ТО  $y$  «Низкая»
3. ЕСЛИ  $x_1$  «Средний» И  $x_2$  «Средний», ТО  $y$  «Средняя»



4. ЕСЛИ  $x_1$  «Высокий» И  $x_2$  «Низкий», ТО  $y$  «Средняя»
5. ЕСЛИ  $x_1$  «Средний» И  $x_2$  «Высокий», ТО  $y$  «Высокая»
6. ЕСЛИ  $x_1$  «Высокий» И  $x_2$  «Средний», ТО  $y$  «Высокая»
7. ЕСЛИ  $x_1$  «Высокий» И  $x_2$  «Высокий», ТО  $y$  «Наивысшая».

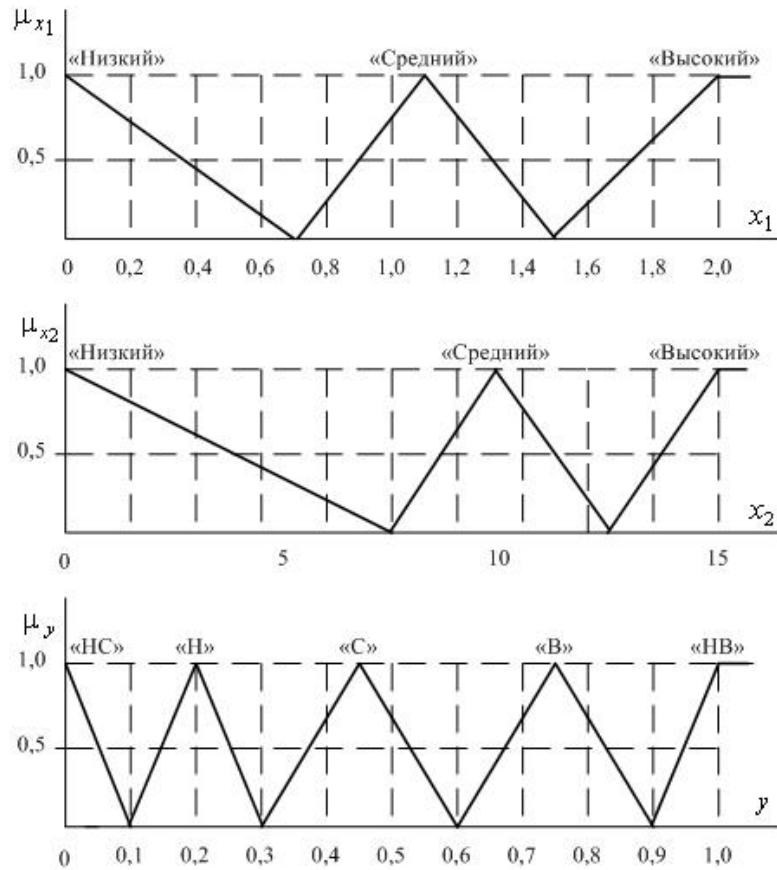


Рис.1. Функции принадлежности лингвистических переменных.

Фазификация входных параметров состоит в определении числовых значений функций принадлежности  $\mu_{x1}$  и  $\mu_{x2}$  по значениям  $x_1$  и  $x_2$ , полученным в результате диагностирования СТ по методу ХАРГ. Содержание этапа иллюстрирует рассмотренный в [6] пример идентификации дефектов в трансформаторе ТДТН-31500/110. В табл.2 приведены значения входных параметров системы нечеткого вывода, рассчитанные по протоколам ХАРГ СТ и соответствующие им значения функций принадлежности для каждого из термов соответствующей лингвистической переменной.

Таблица 2. Параметры системы нечеткого вывода.

Дата ХАРГ	$x_1$ (о.е.)	$x_2$ (%мес.)	«Высокий»		«Средний»		«Низкий»	
			$\mu_{x1}$	$\mu_{x2}$	$\mu_{x1}$	$\mu_{x2}$	$\mu_{x1}$	$\mu_{x2}$
19.11.1999	0,87	162	0	1	0,42	0	0	0
09.10.2002	3,6	11	1	0	0	0,85	0	0
08.04.2003	8,2	34	1	1	0	1	0	0
15.10.2003	4,1	0	1	0	0	0	0	1

Агрегирование представляет собой процедуру определения степени истинности подусловий по каждому из правил системы нечеткого вывода.

Активизация состоит в нахождении степени истинности каждого из подзаключений правил нечетких продукций по известным значениям истинности всех условий системы нечеткого вывода. На данном этапе путем отсечения по высоте функции принадлежности выходного терм

множества по каждому из приведенных правил продукций, используя оператор  $\min$  (нечеткая конъюнкция «И»), получаем соответствующие нечеткие подмножества. Таблица 3 содержит результат совместного выполнения процедур агрегирования и активизации подзаклучений по каждому из правил продукций для всех протоколов ХАРГ СТ рассматриваемого примера (табл.2).

Аккумуляция подзаклучений – это процедура нахождения итоговой функции принадлежности нечеткого множества выходной лингвистической переменной одновременно для всех правил продукций с использованием оператора  $\max$ -объединения нечетких множеств.

Таблица 3. Аккумуляция заключений для правил системы нечеткого вывода.

Номер правила продукций	1	2	3	4	5	6	7
Значения истинности подзаклучений для каждого из протоколов ХАРГ СТ	0	0	0	0	0,42	0	0
	0	0	0	0	0	0,85	0
	0	0	0	0	0	0	1
	0	0	0	1	0	0	0

Дефаззификация (приведение к четкости) выходной лингвистической переменной использует результат аккумуляции подзаклучений для получения количественного значения выходного параметра  $y$ . Расчеты выполняются по одной из специальных формул, например, формуле «центра тяжести» [4]:

$$y_R = \frac{\max \int y \cdot \mu(y) dy}{\max \int \mu(y) dy},$$

где:  $y_R$  - результат дефаззификации (абсцисса центра тяжести площади графика итоговой функции принадлежности выходной переменной);  $y, \mu(y)$  - нечеткое множество выходной лингвистической переменной после этапа аккумуляции, ее функция принадлежности;  $\min, \max$  - левая и правая границы интервала носителя нечеткого множества  $y$ . Для рассматриваемого примера процедура дефаззификации не имеет особой значимости, поскольку итоговая функция принадлежности относится только к одному из термов выходной лингвистической переменной. Это позволяет получить экспертное решение уже на этапе аккумуляции подзаклучений, минуя вычисления  $y_R$ .

Таким образом, учет фактического состояния СТ ТДТН-31500/110, идентифицируемого по результатам ХАРГ (табл.2), позволяет принять следующие экспертные решения по его дальнейшей эксплуатации: 19.11.1999 и 09.10.2002 – «Эксплуатация с ограничениями, планирование ремонта»; 08.04.2003 – «Немедленный вывод из работы»; 15.10.2003 (после дегазации масла) – «Дополнительные обследования».

Предложена нечетко множественная модель принятия решений при эксплуатации СТ по фактическому состоянию. Модель основана на формализации экспертных знаний в виде нечетких множеств лингвистических переменных, построении функций принадлежности входных и выходных параметров с использованием статистических распределений, применении алгоритма нечеткого логического вывода для организации процедуры извлечения знаний.

#### Список литературы:

1. РД 34.45-51.300–97 Объем и нормы испытаний электрооборудования. – М.: НЦ ЭНАС, 1998. – 304 с.
2. МУ 0634–2006 Методические указания по диагностике силовых трансформаторов, автотрансформаторов, шунтирующих реакторов и их вводов. [Электронный ресурс]. – <http://www.twirpx.com/file/85129/>.
3. ГОСТ Р 51901.1-2002 Менеджмент риска. Анализ риска технологических систем. [Электронный ресурс]. – <http://gostexpert.ru/gost/gost-51901.1-2002>.
4. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. –736 с.

5. Борисов А.Н., Крумберг О.А., Федоров И.П. Принятие решений на основе нечетких моделей: Примеры использования. – Рига: Зинатне, 1990. – 184 с.
6. Левин В.М. Статистический метод распознавания дефектов в силовых трансформаторах при их техническом обслуживании по состоянию // Промышленная энергетика. – 2013. – № 8. – С. 37–41.

**Выбор признаков для идентификации дефектов в трансформаторе при мониторинге растворенных в масле газов**

*Левин В.М., Танфильева Д.В.*

*ФГБОУ ВПО Новосибирский государственный технический университет, Россия, г. Новосибирск  
[vlevin@ngs.ru](mailto:vlevin@ngs.ru)*

Хроматографический анализ растворенных в масле газов (ХАРГ) получил всеобщее признание как один из наиболее информативных методов раннего обнаружения дефектов в силовых трансформаторах (СТ). Большинство разрабатываемых и внедряемых систем диагностического мониторинга СТ содержат в своем составе подсистему мониторинга растворенных газов [1], что позволяет идентифицировать развивающиеся дефекты задолго до их критического проявления.

Ошибки диагностирования по ХАРГ (пропуск дефекта, ложная тревога) неизбежно приводят к повышению вероятности отказа СТ, либо к избыточным диагностическим операциям. В любом случае это способствует снижению надежности эксплуатации оборудования и росту затрат на ее поддержание и восстановление. Режим диагностического мониторинга обеспечивает переход от точечных оценок к анализу трендов. При этом может меняться информативность традиционно используемых признаков, повышаться значимость отдельных параметров состояния, характеризующих деградационные процессы в СТ, а также скорости их приближения к границе раздела классов состояний в признаковом пространстве.

В этих условиях актуальна разработка методов ранжирования признаков по информативности с сокращением размерности признакового пространства при сохранении достаточной для практических целей достоверности идентификации по ХАРГ развивающихся в СТ дефектов.

Поскольку идентификация дефектов относится к задачам классификации и распознавания образов, рассмотрим ее решение с применением указанного математического аппарата. Основными этапами статистического распознавания образов являются: выбор разграничительных признаков для описания классов состояний объекта и построение решающего правила (классификатора) [2].

В качестве исходного вектора признаков зачастую используется набор первичных измеряемых параметров объекта  $\mathbf{X} = [x_1, x_2, \dots, x_n]$ . Однако при этом для решения задачи классификации приобретают важность два взаимосвязанных обстоятельства: информативность признаков и размерность получаемого признакового пространства. Выявление возможности формирования классов состояний объекта в пространстве признаков требует изучения характеристик распределения вектора  $\mathbf{X}$  для каждого из выделенных классов. В идеальной ситуации признаки должны отвечать требованиям однородности и иметь одинаковые законы распределения. Задача классификации существенно упрощается, если признаки подчиняются нормальному закону распределения. Высокая размерность пространства признаков также затрудняет интерпретацию результатов измерения. Одним из подходов к сокращению размерности пространства контролируемых параметров является применение метода факторного анализа (метода главных компонент). Применение метода факторного анализа позволяет преобразовать исходное пространство параметров в пространство меньшей размерности путем ранжирования и исключения малозначимых признаков. Преобразования могут быть линейными или нелинейными, но обязательно должны отвечать одному из критериев эффективности. Применительно к задаче идентификации дефектов СТ в качестве критерия эффективности целесообразно принять минимум среднеквадратической ошибки разделения пространства признаков на два класса состояний  $\Pi_1$  бездефектных и  $\Pi_2$  дефектных.

Необходимо определить матрицу преобразования  $\Phi = [\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_k]$  ( $k < n$ ), которая связана с исходным вектором контролируемых параметров соотношением

$$\mathbf{X} = \Phi \cdot \mathbf{Y}, \quad (1)$$

где  $\mathbf{Y} = [y_1, y_2, \dots, y_n]^T$  – случайный вектор, представляющий результат преобразования исходного случайного вектора  $\mathbf{X}$ . Если выделить только  $k < n$  компонент вектора  $\mathbf{Y}$ , то по ним можно определить некоторое приближение  $\bar{\mathbf{X}}(k)$  к исходному вектору  $\mathbf{X}$ :

$$\bar{\mathbf{X}}(k) = \sum_{i=1}^k y_i \cdot \phi_i + \sum_{i=k+1}^n b_i \cdot \phi_i.$$

Первый статистический момент ошибки приближения  $M\{\|\Delta \mathbf{X}(k)\|^2\}$  может быть использован в качестве критерия эффективности, позволяющего по экстремуму оценить качество преобразования пространства исходных параметров в новое пространство эффективных признаков

$$\varepsilon^2(k) = M\{\|\Delta \mathbf{X}(k)\|^2\} = M\left\{\sum_{i=k+1}^n (y_i - b_i)^2\right\} = \sum_{i=k+1}^n M[(y_i - b_i)]^2 = \sum_{i=k+1}^n \phi_i^T \cdot \Sigma_X \cdot \phi_i, \quad (2)$$

где:  $b_i$  – константа, характеризующая неучтенный в оценке остаток исходного вектора  $\mathbf{X}$ ;  $\Sigma_X$  – его ковариационная матрица.

Оптимальный выбор  $\Phi$  – матрицы собственных векторов производится по условию

$$\Sigma_X \cdot \phi_i = \lambda_i \cdot \phi_i, \quad (3)$$

где  $\lambda_i$  – собственные числа ковариационной матрицы случайного вектора  $\mathbf{X}$ , а  $\phi_i$  – собственные векторы. Разложение (3) по собственным векторам ковариационной матрицы представляет собой дискретный вариант разложения Карунена – Лоэва [2]. С учетом (3), минимальная среднеквадратическая ошибка (2) будет равна сумме собственных чисел:

$$\varepsilon^2(k) = \sum_{i=k+1}^n \lambda_i.$$

В задаче распознавания образов коэффициенты разложения (3) рассматриваются как признаки, представляющие наблюдаемый вектор  $\mathbf{X}$ . Данные признаки имеют преимущества, перед исходными параметрами. Эффективность каждого признака с точки зрения представления вектора  $\mathbf{X}$  определяется собственным числом ковариационной матрицы. Если некоторый признак, чье собственное число минимально, исключается из рассмотрения, то среднеквадратическая ошибка увеличивается на соответствующее  $\lambda_i$ . При этом признаки взаимно некоррелированы.

Итоговое выражение, для преобразования исходных параметров в признаки сводится к следующему виду:

$$\mathbf{Y} = (\mathbf{V}^T \cdot \mathbf{V})^{-1} \cdot \mathbf{V}^T \cdot \mathbf{X},$$

где  $\mathbf{V}$  – некоторая матрица нагрузок, элементы которой вычисляются по выражению

$$v_{ik} = \phi_i \cdot \sqrt{\lambda_k} / \sqrt{\phi_{1k}^2 + \phi_{2k}^2 + \dots + \phi_{nk}^2}.$$

При выборе количества учитываемых информативных признаков (главных компонент), как правило, следует руководствоваться приоритетами решаемой задачи (погрешность распознавания, удобство интерпретации и визуализации оценок, пр.). В некоторых случаях важно руководствоваться следующей практической рекомендацией: остаточная дисперсия компонентов матрицы нагрузок  $\mathbf{V}$ , с учетом исключения малозначимых факторов должна составлять не менее 75% от суммарной, т.е.

$$S_{\text{ост}}^2 = \sum_{i=1}^k v_{ik}^2 \geq 0,75 \cdot \sum_{i=1}^n v_{ik}^2.$$

Применение описанного подхода рассмотрим на примере. Имеется статистика ХАРГ СТ 110 кВ с исходным вектором  $\mathbf{X}$  относительных концентраций диагностических газов

$a_i = \frac{A_i}{A_{\text{ГРi}}}$  и ковариационной матрицей (табл.1).

Таблица 1. Ковариационная матрица относительных концентраций растворенных газов

$\Sigma$	a(H2)	a(CH4)	a(C2H4)	a(C2H6)	a(C2H2)	a(CO2)	a(CO)
a(H2)	1	0,1230	0,1080	0,0719	0,1658	0,0901	0,0093
a(CH4)	0,1230	1	0,9232	0,8465	0,5128	0,5128	0,0203
a(C2H4)	0,1080	0,9232	1	0,8142	0,5246	0,0654	0,0307
a(C2H6)	0,0719	0,8465	0,8142	1	0,3414	0,1225	0,0356
a(C2H2)	0,1658	0,5128	0,5246	0,3414	1	0,0081	0,0443
a(CO2)	0,0901	0,5128	0,0654	0,1225	0,0081	1	0,4455
a(CO)	0,0093	0,0203	0,0307	0,0356	0,0443	0,4455	1

Расчетами установлено, что суммарная дисперсия матрицы нагрузок составляет  $S^2 = 0,74$ . При использовании для описания вектора  $\mathbf{X}$  двух либо трех главных компонент, согласно условию (3) соответствующих наибольшему рангу исходных параметров a(CH4), a(H2), a(C2H4), остаточная дисперсия  $S_{\text{ост}}^2$  равна соответственно 0,46 либо 0,67. Полученные значения меньше рекомендованного порога, что неизбежно должно отразиться на погрешности идентификации дефектов. Однако, как показывают исследования, в большинстве случаев этого достаточно для достоверного диагностирования (мониторинга) СТ. На рис.1. показаны состояния СТ в координатах главных компонент.

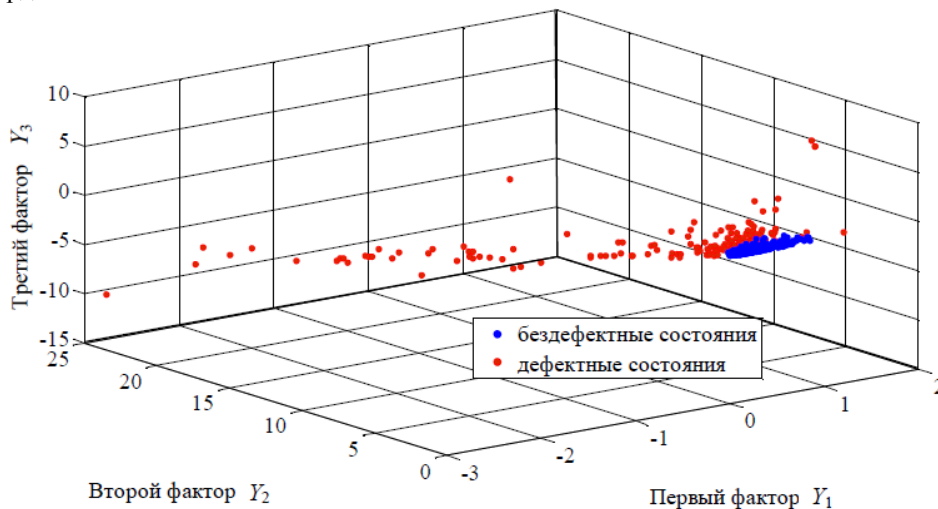


Рис.1. Область состояний СТ в координатах главных компонент.

Следует отметить, что снижение размерности пространства контролируемых параметров СТ при сохранении достоверности идентификации дефектов может существенно упростить систему мониторинга СТ и удешевить ее аппаратную часть.

Другой подход к сокращению размерности пространства контролируемых параметров в задаче идентификации дефектов СТ по ХАРГ заключается в синтезе некоторой интегральной весовой функции  $G(x_i)$  из компонент входного вектора  $\mathbf{X}$  с применением процедур масштабирования и нелинейного преобразования [3]. Если компонентами вектора  $\mathbf{X}$  являются относительные концентрации диагностических газов, то интегральная весовая функция будет определяться по выражению:

$$G(a_i) = \frac{1}{\sum_{i=1}^n a_i} \sum_{i=1}^n a_i^2 \quad (n = 7).$$

Предложенное преобразование позволяет проецировать  $n$  – мерное пространство исходных параметров на числовую ось, где располагаются значения нового признака  $G \in [0 \div \infty)$ . Исследование статистических характеристик случайной величины  $G$  в области различных классов состояний  $\Pi_1$  и  $\Pi_2$  позволило определить границы раздела для разных стадий развития опасного дефекта и сформировать пространство мониторинга СТ в координатах  $G(t)$  относительно указанных границ (рис.2).

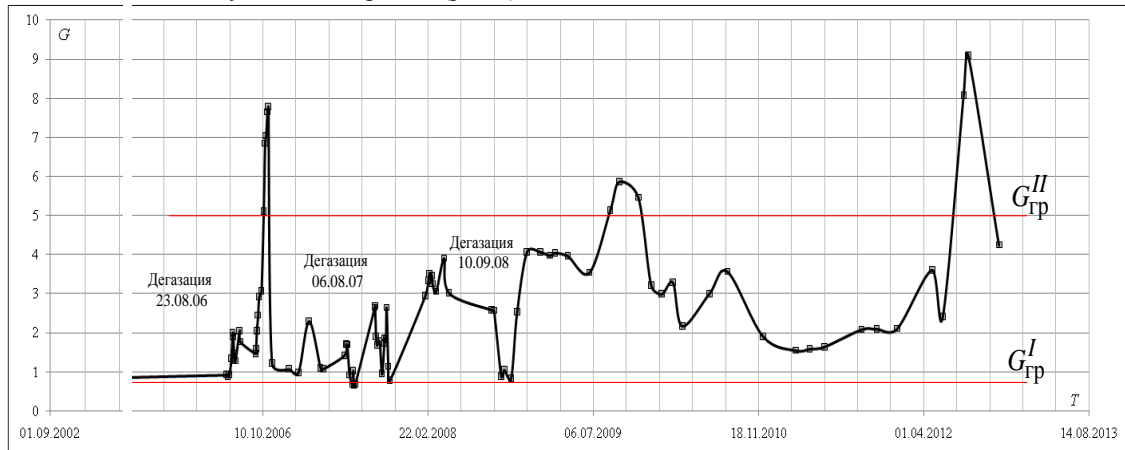


Рис.2. Мониторинг ГДЦ-250000/220 по изменению  $G(t)$ .

Таким образом, выбор признаков дефектов представляет собой один из основных этапов задачи диагностирования (мониторинга) электрооборудования. От его эффективного решения зависит не только простота и стоимость диагностической аппаратуры, но и достоверность диагноза. В статье предложены способы преобразования многомерного пространства исходных параметров в пространство информативных признаков меньшей размерности. Основу предложения составляют статистические процедуры классификации и распознавания образов, которые, как показано на конкретных примерах, способны обеспечить достоверную идентификацию развивающихся дефектов в трансформаторах по результатам ХАРГ.

#### Список литературы:

1. Живодерников С.В., Овсянников А.Г., Русов В.А. Зарубежный опыт мониторинга трансформаторного оборудования. [Электронный ресурс]. – [http://megaom.ucoz.ru/nornativ/vv\\_oborudovanie/statja\\_zarubezhnyj\\_opyt\\_monitoringa\\_oborudovaniya.pdf](http://megaom.ucoz.ru/nornativ/vv_oborudovanie/statja_zarubezhnyj_opyt_monitoringa_oborudovaniya.pdf).
2. Фукунага К. Введение в статистическую теорию распознавания образов. Пер. с англ. – М.: Наука, 1979. – 368 с.
3. Левин В.М. Статистический метод распознавания дефектов в силовых трансформаторах при их техническом обслуживании по состоянию / В.М. Левин // Промышленная энергетика. – 2013. – №8. – С.37–41.

#### Возможность синтеза ультрадисперсного порошка карбида бора в струе углеродной электроразрядной плазмы

Макарова А.Ф.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск

[mafan1991@gmail.com](mailto:mafan1991@gmail.com)

Развитие нанотехнологий началось с того момента, когда ученые предположили возможность перемещения атомов. С каждым днем популярность и роль нанотехнологий растут в различных сферах деятельности. Разработка новых материалов и технологий объективно

необходимы для технического и социального развития общества. Общественное и государственное внимание к нанотехнологиям вызвано выдающимися физико-химическими свойствами вещества в наноразмерном состоянии [1, 2]. Область применения ультрадисперсных материалов карбида бора очень широка. Это может быть как контактирующий с плазмой материал в современных термоядерных установках, прочных производственных продуктов, легкой по весу керамической брони, а также как усиливающая примесь для металлических композитов [3, 4] и т.д. Востребованность карбида бора растет, но существует значимая проблема – чистота выходного продукта [5]. Потенциальным синтезом ультрадисперсных материалов может стать метод, основанный на использовании коаксиального магнитоплазменного ускорителя (КМПУ) [6], разработанного в научной лаборатории НИ ТПУ.

В работе показана возможность динамического синтеза ультрадисперсных кристаллических фаз карбида бора в гиперсверхзвуковой струе бор-углеродной электроразрядной плазмы, истекающей в аргоновую атмосферу при давлении 5 атмосфер. Источником плазмы является сильноточный (105 А) импульсный (0,5 мс) КМПУ с графитовым ускорительным каналом. Электропитание ускорителя осуществляется от емкостного накопителя энергии с емкостью батареи конденсаторов 6 мФ, заряженной до напряжения 3,0 кВ. Плазменный выстрел производится в герметичную камеру-реактор, заполненную технически чистым аргоном. Исходный бор и углерод загружаются в зону формирования плазменной структуры сильноточного разряда типа Z-пинч. Кроме того, углерод нарабатывается электроэрозионным путем с поверхности ускорительного канала. В ходе плазменного выстрела происходит интенсивное распыление материала и, как следствие быстрая закалка, обеспечивающая нанодисперсность синтезированных фаз. По данным просвечивающей электронной микроскопии (Philips CM30) (ТЕМ) и рентгеновской дифрактометрии (дифрактометр Shimadzu 7000s) (XRD) в составе продукта обнаружена фаза карбида бора.

Рентгеновская дифрактограмма продукта, представленная на рисунке 1, показывает наличие в составе нескольких различных ультрадисперсных кристаллических фаз: карбида бора, бора, углерода. Структурно-фазовый анализ продукта проводили с помощью программы PowderCell 2.4 и базы структурных данных PDF4+. При проведении фазового анализа полученного продукта использовались структурные модели кристаллических фаз, образование которых возможно в рассматриваемой системе. Наименьшее расхождение получено при суперпозиции следующих фаз: карбид бора (пространственная группа R $\bar{3}$  2/m); бор (пространственная группа R $\bar{4}$  2/n 2/m); графит C (пространственная группа P6-3mc {186}). Из таблицы 1 видно, что изучаемый материал состоит в основном из карбида бора со стехиометрией, близкой к B $_{13}$ C $_2$ .

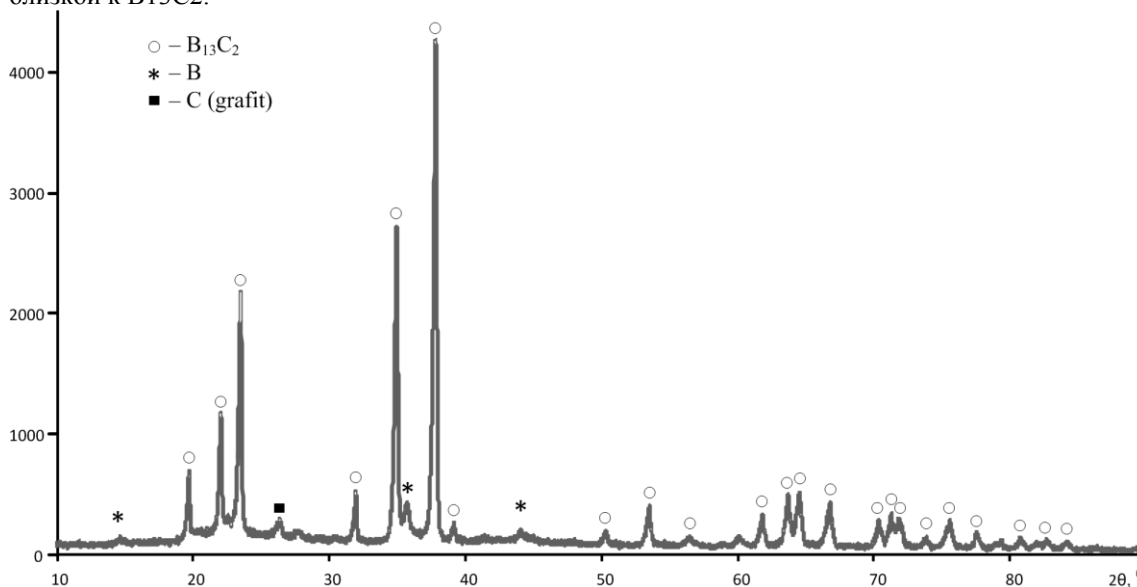


Рис. 1. Рентгеновская дифрактограмма продукта синтеза (CuK $\alpha$ -излучение)

Судя по средним размерам областей когерентного рассеивания (ОКР), приведенных в таблице 1, можно считать, что все кристаллические фазы в составе продукта

наноструктурированы. Однако, отождествлять размеры ОКРс размерами кристаллов не совсем корректно, так как вблизи границ кристалл имеет аморфную оболочку.

Таблица 1. Результаты полнопрофильного рентгено-структурного анализа ультрадисперсного продукта

Фаза	Содержание, % mass.	Параметр решетки, Å		ОКР, nm	$\Delta d/d \cdot 10^{-3}$
		Эксперимент	PDF4+		
B <sub>13</sub> C <sub>2</sub> SG: R -3 2/m	87,0	a=5,6049 c=12,0971	a= 5,618 c= 12,099	45,3	0,383
В SG: P 4 <sub>2/n</sub> 2/n 2/m	12,0	a=8,8050 c=5,1069	a=8,75 c=5,06	9,9	7,901
С (графит) SG: P 6 <sub>3</sub> m c	1,0	a= 5,5689 c=6,7785	a=2,47 c=6,79	45,3	0,383

Сравнив параметры решетки идентифицированных фаз и стандартные, находим некоторые отличия. Эти отличия могут быть объяснены неравновесностью и высокой динамичностью процессов синтеза и кристаллизации. Следствием этого является высокая дефектность образовавшихся кристаллических наноструктур с характерным для них высоким уровнем внутренних упругих микроискажений пропорциональных  $\Delta d/d$  [7], а также высокая дисперсность синтезируемых фаз.

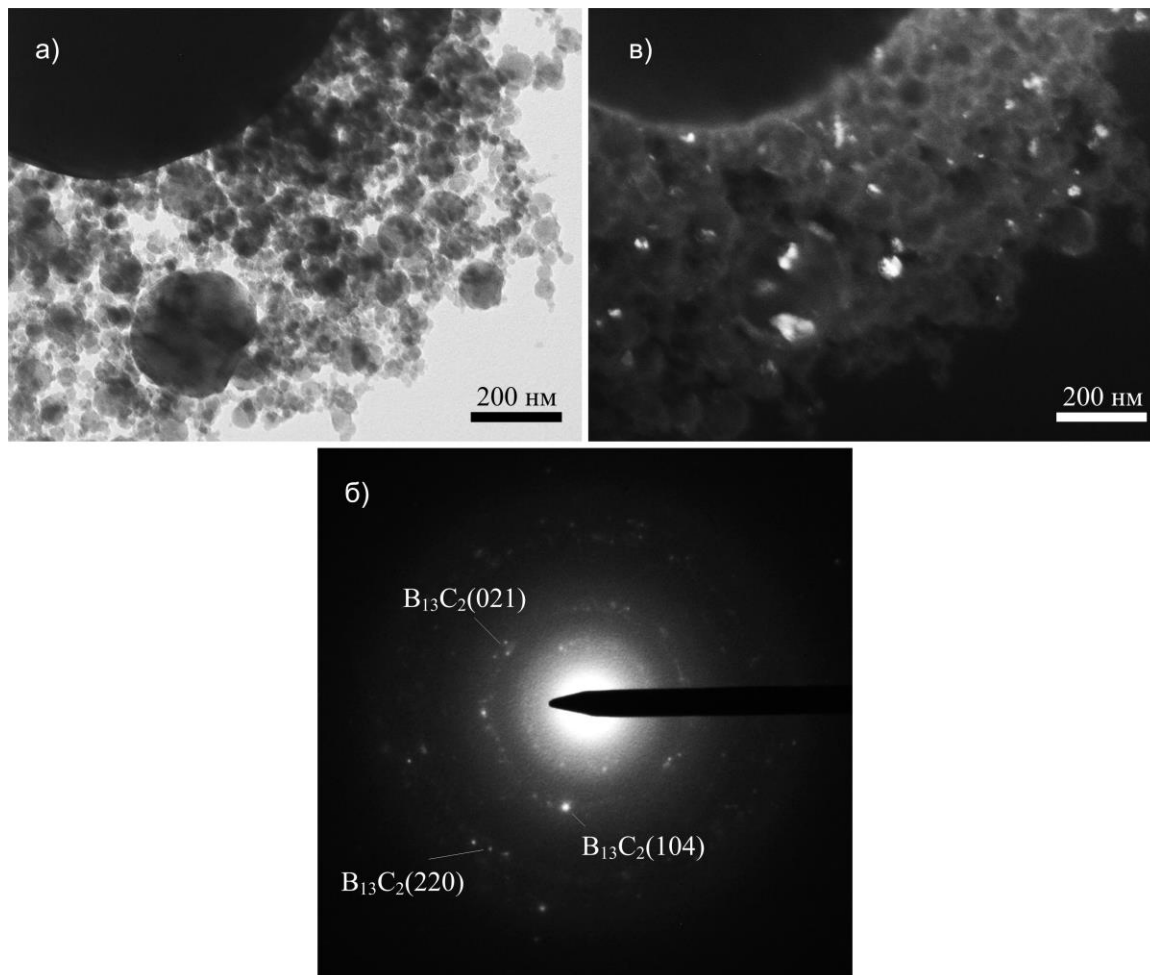


Рис.2. Данные просвечивающей электронной микроскопии продукта синтеза: а) светлопольный ТЕМ-снимок скопления ультрадисперсных объектов б) картина электронной микродифракции на выделенной области в) темнопольный микроэлектронный снимок скопления ультрадисперсных объектов



Данные электронной просвечивающей микроскопии (рис.2) подтверждают результаты XRD по наличию карбида бора в синтезируемом продукте. В составе продукта синтеза можно выделить три основных типа объектов: размером около 1000 нм, размером около 200 нм и менее 100 нм. Таким образом, большинство объектов представляют собой округлые, относительно крупные (от 20 до 200 нм) частицы, предположительно являющиеся карбидом бора. Также можно наблюдать частицы меньшего размера с неразличимой морфологией (менее 100 нм). Дифракция электронов на рассматриваемом скоплении частиц показывает содержание карбида бора, которому соответствуют точечные когерентные отражения 021, 104, и 220. На рисунке 2 б) на картине электронной дифракции идентифицирован рефлекс карбида бора –104 в свете дифрагированного пучка которого снят темнопольный снимок, путем смещения апертурной диафрагмы. На полученном темнопольном снимке отчетливо видно яркое свечение плоскостей в направлении [104].

Совокупность представленных данных, полученных при помощи основных современных методов анализа ультрадисперсных порошков, позволяет сделать вывод о возможности плазмодинамического синтеза, в рассматриваемой системе и при выбранных условиях, кристаллической фазы карбида бора B<sub>13</sub>C<sub>2</sub>. Содержание полученной фазы карбида бора достаточно велико, около 87,0%.

#### Список литературы:

1. Berlanga Isadora, Mas-Balleste Ruben, Zamora Felix, Gonzalez-Julian Jesus, Belmonte Manuel. Carbon nanotubes growth on silicon nitride substrates // Materials Letters.–2011. – V. 65. – p. 1479-1481.
2. Новые материалы / Под ред. Карабасова Ю.С.. – Москва: МИСИС, 2002. – 736.
3. Беграмбеков Л.Б., Бужинский О.И. Свойства карбида бора и его использование в качестве защитных покрытий на первой стенке токамака// Вопросы атомной науки и техники. Серия термоядерный синтез. – 2006. – №04. –112 с.
4. Krutskii Yu. L., Bannova A. G., Sokolov V. V., Dyukova K. D., Shinkareva V. V., Ukhinac A. V., Maksimovskii E. A., Pichugin A. Yu., Solov'eva E. A., Krutskaya T. M., and Kuvshino G. G. Synthesis of Highly Dispersed Boron Carbide from Nanofibrous Carbon // International Journal of Self-Propagating High-Temperature Synthesis. – 2009. – №. 1. – p. 60–63.
5. Francois Thvenot. Boron Carbide - A Comprehensive Review // Journal of the European Ceramic Society. – 1990. – № 6. – p. 205-225.
6. Патент №2150652 РФ. 7F41B 6100. Коаксиальный ускоритель Сивков А.А. заявл. 24.02.1999 опубл. 10.06.2000. бюл. №16.
7. Сивков А.А., Найден Е.П., Пак А.Я. // Динамический синтез ультрадисперсных кристаллических фаз системы С-N // Сверхтвердые материалы.– 2009. – № 5. – С.22-30.

#### Моделирование перспективного режима работы Монгольской электроэнергетической системы

*Марченко А.И.*

*Новосибирский государственный технический университет, Россия, г. Новосибирск  
[andrey1991@ngs.ru](mailto:andrey1991@ngs.ru)*

Монголия заинтересована в развитии своей электроэнергетической системы (ЭЭС), укрупнении, повышении эффективности работы и увеличении экономической выгоды работы энергоотрасли в целом. Это обосновывается прогнозами роста горнодобывающей промышленности, более активным использованием природных богатств и разработкой новых, недавно разведанных, месторождений полезных ископаемых (в большей доли каменного угля). На сегодняшний день ЭЭС Монголии является энергодефицитной системой. С достаточной продолжительностью возрастают предпосылки становления её как энергоизбыточной системой. В соответствии с заявленными требованиями был разработан план развития энергосистемы Монголии до 2020 года. Доведением общей установленной мощности монгольской энергосистемы до 4ГВт.

На первоначальном этапе исследовательской работы выполняется:

По представленной перспективной электрической схеме электроэнергетической системы Монголии на 2020 год (Рис.1) оценить структуру потребления ЭЭС, рассчитать режимные параметры схемы, определить возможности нормального функционирования энергосистемы в заданной области накладываемых системных ограничений, дать рекомендации по ведению

режима и использованию противоаварийной автоматики. Данная работа носит обширный характер исследования, поэтому выполнение данного проекта носит комплексный характер. В электрической схеме ЭЭС Монголии было выделено 6 энергорайонов: №1 «Дархан», №2 «Эрдэнэт», №3 «Дорнод», №4 «Тавантолгой», №5 «Эрдэнэцогтск», №6 «Улан-Батор».

Нами были решены следующие задачи:

Проанализирована электрическая схема ЭЭС Монголии 2020 с учетом географического положения, планов развития промышленности, роста энергопотребления. Составлен перечень используемого в схеме оборудования с его характеристиками для схемы замещения.

Выявлен характер потребления электроэнергии в энергосистеме в виде графиков нагрузок по отдельным районам и системе в целом.

Созданы расчетные модели энергорайонов, в которых элементы представлены их математическими эквивалентами с заданными параметрами отвечающих оригиналу, и сгруппирована целостная расчетная модель энергосистемы Монголии 2020. Задана электронная схема с нумерацией узлов и ветвей связей, представляющих собой генерационные (нагрузочные) узлы и ЛЭП связи.

Расчитана математическая модель ЭЭС Монголии 2020 с помощью программно-вычислительных комплексов Mustang и RastrWin, получен в результате расчета исходный режим электрической схемы системы.

Приведен получившийся электрический режим ЭЭС Монголии 2020 к виду с нормально-допустимыми значениями электрических параметров, основываясь на принятые нормы и стандарты работы энергетического оборудования, при использовании различных средств регулирования.

Выполнены различные утяжеления электрического режима работы по энергорайонам, с контролем по выбираемым уязвимым сечениям. Даны рекомендации по применению противоаварийной автоматики.

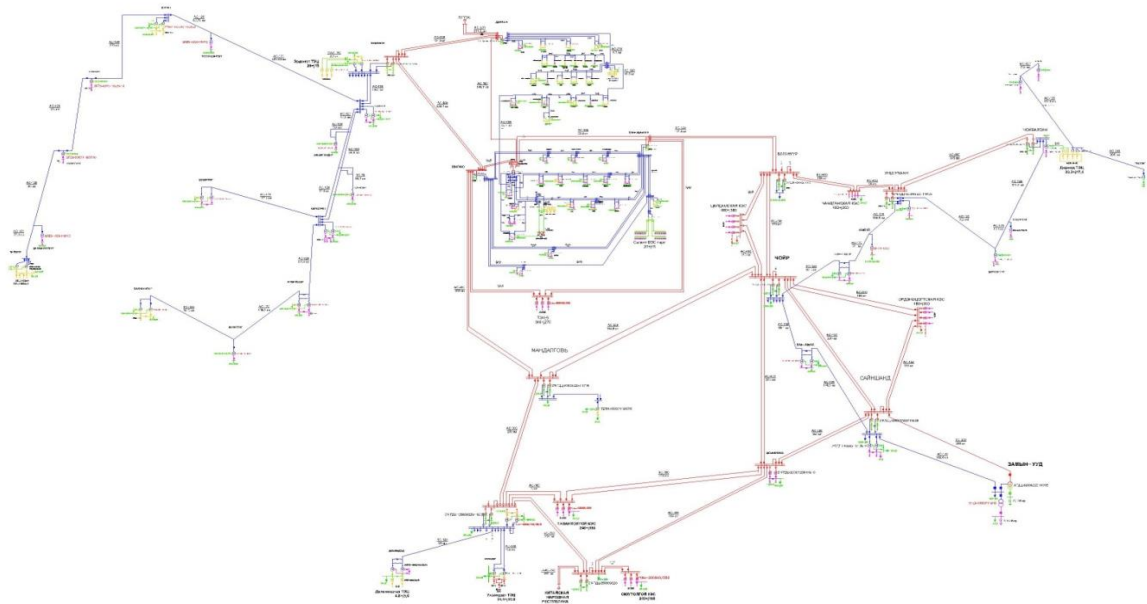


Рис. 1. Перспективная электрическая схема электроэнергетической системы Монголии на 2020 год.

Целями дальнейшей работы являются:

Применение на конкретном энергетическом объекте (Энергосистемы Монголии 2020) идеи распределенной генерации. Построение системы, подсистем управления оперативного состояния энергосистемы и её работы. Регламентирование структуры составных её частей. Разработка методов, принципов и положений по применению системы SmartGrid и мультиагентного регулирования. Связанных с построением новых взаимоотношений в работе субъектов энергетической отрасли основанных на либерализованности интересов всех участников рынка. Эффективность функционирования такого метода управления достигается за счет взаимно партнерских-договорных отношений. С целью децентрализации диспетчерского управления системой, ухода от естественной монополии единого оператора энергетической

системы. Создание, конструирование интеллектуальных микропроцессорных регуляторов самостоятельно ведущих электрический режим в заданной области на базе экспертной системы нейронных сетей и искусственного интеллекта. Полное моделирование работы ЭЭС Монголии при вышеперечисленных положениях.

В результате необходимых расчетов и анализа структуры потребления электроэнергии, как по районам, так и далее в сумме по ЭЭС, был получен суточный график нагрузки ЭЭС Монголии, он представлен на рисунке 2.

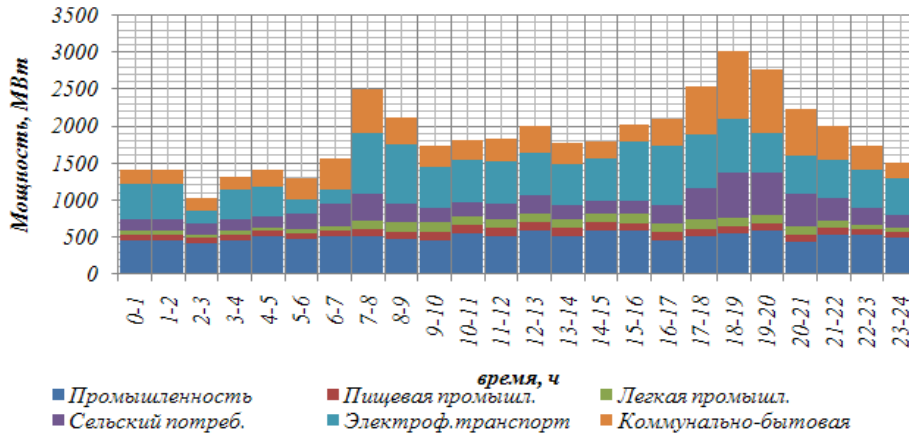


Рис.2. Суточный график нагрузки ЭЭС Монголии.

Плотность полученного суточного графика составляет 0,621, он обладает большой неравномерностью равной 0,34, двухгорбостью с максимумом в вечерние часы. Расчеты показали, что надежность, с точки зрения структурного резервирования генерирующей мощности, для ЭЭС Монголии, будет обеспечиваться при поддержании общего резерва мощности в размере 25% от максимума нагрузки энергосистемы, в том числе аварийного – 16%.

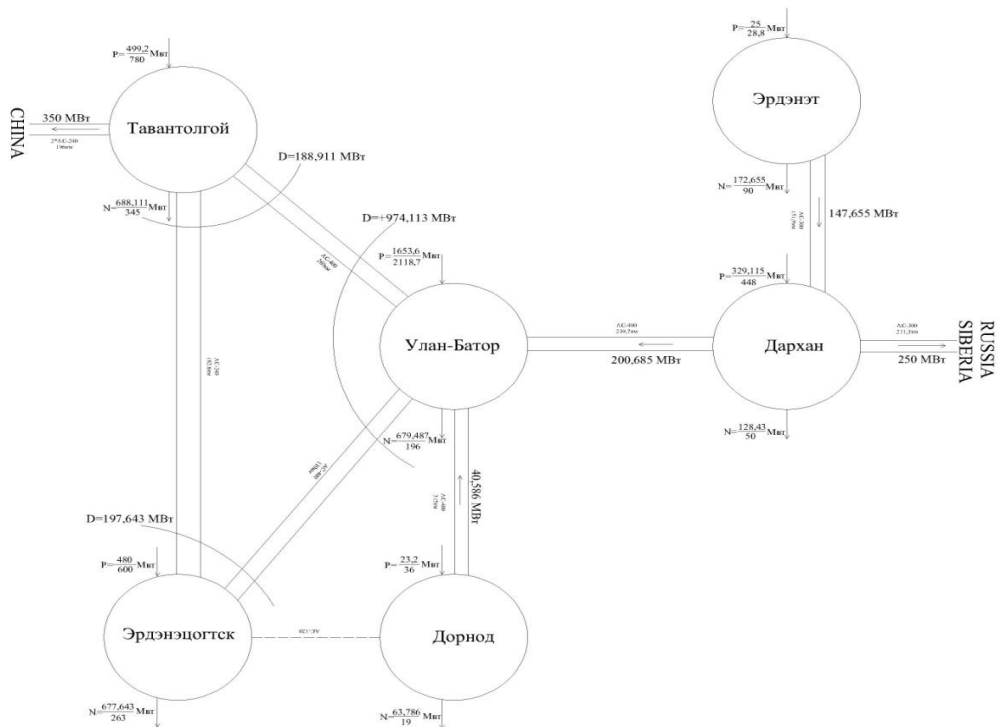


Рис.3. Представлена структурно-балансовая схема ЭЭС Монголии 2020.

В результате расчета электрического режима и контроля напряжения были составлены таблицы «проблемных» узлов по классам напряжения, далее приняты меры по повышению (понижению) напряжения используя различные способы регулирования напряжения.

В результате регулирования напряжения в узлах схемы стали удовлетворительными. Выделены далее напряжения с допустимыми значениями, которые в последующем более внимательно контролируются.

Из теории устойчивости использовались следующие коэффициенты для оценки режима:

1) Коэффициент запаса статической (апериодической) устойчивости по активной мощности в сечении ( $K_P$ ):

$$K_P = \frac{P_{пр} - (P + \Delta P_{НК})}{P_{пр}}$$

расчетная амплитуда нерегулярных колебаний

активной мощности сечения может быть определена по выражению:

$$\Delta P_{НК} = K \cdot \sqrt{\frac{P_{Н1} \cdot P_{Н2}}{P_{Н1} + P_{Н2}}}$$

2) Значения коэффициента запаса по напряжению ( $K_U$ ) относятся к узлам нагрузки и

$$K_U = \frac{U - U_{кр}}{U}$$

вычисляются по формуле: . По условиям устойчивости энергосистем нормируются в сечениях и по напряжению в узлах нагрузки. Для нормального режима минимальный коэффициент запаса по активной мощности - 0,2; минимальный коэффициент запаса по напряжению - 0,15.

Пример (Рис.4) одного из рассматриваемых сечений 5-энергорайона ВЛ напряжением 220 кВ между узлами: 401 – 402, 401 – 417, 403 – 404 и 403 – 417, наиболее загруженных в нормальном режиме.(Табл.1)

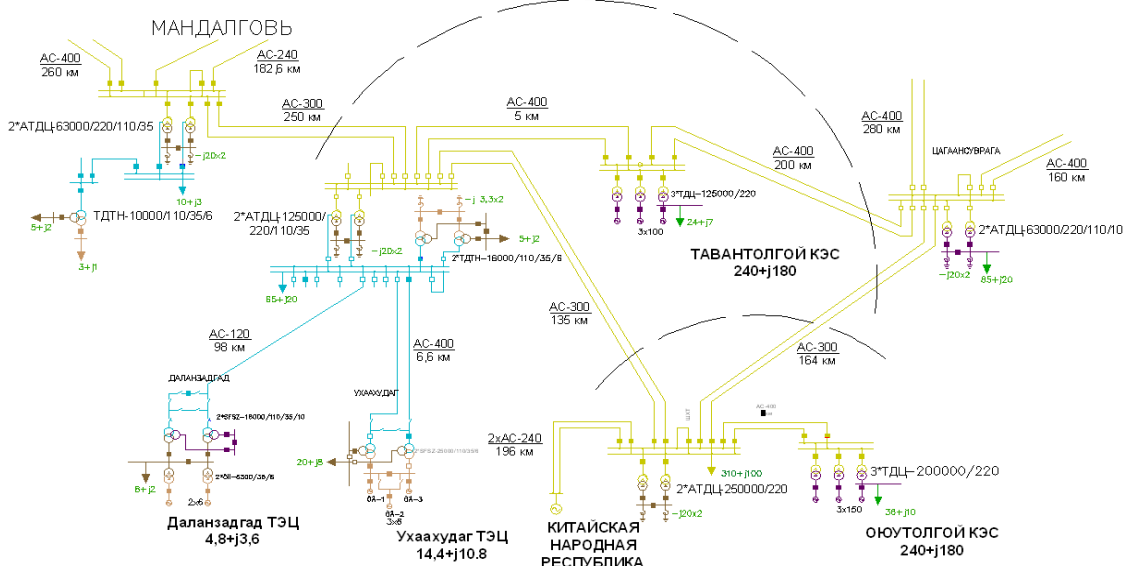


Рис. 4 Рассматриваемые сечения в режиме утяжеления

Таблица 1. Загрузка линий при траектории одновременного увеличения перетока активной мощности в Китай и уменьшения мощности генерации на станции Оуютолгой

$N_i$	$N_j$	$I$	$I_{дд}$	$I/I_{дд}$	$P$	$P_{max}$	$P/P_{max}$
		кА	кА	%	МВт	МВт	%
401	417	0,99	1,83	54,04	359,23	642,42	55,92
403	417	1,08	1,83	59,07	416,86	642,42	64,89

По условию устойчивости энергосистемы с учетом коэффициента запаса статической апериодической устойчивости по напряжению в узлах нагрузки, наибольшая предельная мощность в сечении составляет  $P_{пр} = 747,87$  МВт. При этом генерируемая мощность на станции Оуютолгой составляет 163,184 МВт. Таким образом, рассмотрели утяжеление электрического режима ЭЭС Монголии при изменении нагрузки поочередно в каждом из энергорайонов схемы, были зафиксированы предельные значения перетоков активной мощности в выбранных контролируемых сечениях по условию статической устойчивости. Вычислены коэффициенты запаса статической устойчивости по активной мощности в сечениях энергорайонов. А так же коэффициенты запаса по напряжению в узлах нагрузки. Так как анализ

режимов и устойчивости энергосистем представляет собой неотъемлемую часть работы по созданию систем противоаварийной автоматики.

Сегодняшний объем производства электроэнергии Монголии составляет порядка 885 МВт·ч, по аналитическим данным прогнозируемое потребление электроэнергии Монголии в 2015 году составит 900 МВт·ч, в 2020 г. – 1400 МВт·ч, 2025 г. – 2000 МВт·ч.

Значимость данной работы заключается в возможности её непосредственного использования на практике как положения, обосновывающего перспективную работу ЭЭС Монголии на 2020. По предложенной схеме планируется строительство и ввод в эксплуатацию новых генерирующих мощностей, электростанций, линий электропередач, с внедрением современных технологий и принципов управления энергоотраслью. Разработанная математическая модель может быть использована в проектных, научно-исследовательских и производственных организациях Монголии при исследованиях ЭЭС Монголии, а так же в дальнейших её вариациях и преобразованиях. Использование полученных данных может представляться и в учебных целях.

#### Список литературы:

1. Перспективы развития Азии 2010, Восточная Азия, глава «Монголия» -Кристер Лунгвалл (Asian Development Outlook 2010, East Asia, Chapter Mongolia, Christer Ljungwall, Улан-Батор.
2. Справочник по проектированию электрических сетей/под ред. Д.Л.Файбисовича. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.:ЭНАС, 2012. – 376 с. : ил.
3. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учеб. Пособие для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 608 с.
4. Идельчик В.И. Электрические системы и сети. Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1989, 592с.
5. Регулирование частоты и перетоков активной мощности в ЕЭС и изолированно работающих энергосистемах России ОАО РАО «ЕЭС России», 2007.
6. Методические указания по устойчивости энергосистем:/ Утверждены Приказом Минэнерго России от 30.06.2003 № 277 .
7. Руководящие указания по противоаварийной автоматике энергосистем (основные положения). Утв. Минэнерго СССР 23.09.1986.
8. Беркович М.А. Автоматика энергосистем. М.: Энергоатомиздат, 1985. – 208с., ил.
9. Окин А.А. Противоаварийная автоматика энергосистем. - М.: Издательство МЭИ, 1995. - 212 с.

#### Сравнительный анализ устойчивости кабелей к воздействию агрессивных сред

*Матери Т.М., Ким В.С., Стариков А.Н.\**

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск*

*\*ЗАО «Томсккабель», Россия, г. Томск*

*tanushenka@sibmail.com*

Требования, предъявляемые к кабельным изделиям (КИ), постоянно растут. Одним из важнейших свойств современных кабелей является устойчивость к воздействию агрессивных сред. Наиболее распространенными агрессивными средами в промышленности и на транспорте являются углеводородные жидкости, в частности, трансформаторное масло и бензол.

В России и за рубежом для производства маслобензостойких кабелей используют материалы, обладающие повышенной химической стойкостью и слабой проницаемостью для углеводородных жидкостей, такие как термоэластопласты полиуретанового типа (TPEU), полиамиды, полиэтиленовые компаунды, фторполимеры и специальные ПВХ- компаунды [1]. Устойчивость к воздействию таких жидкостей определяется по изменению механических характеристик (относительное удлинение при разрыве  $\epsilon$  и прочность на разрыв  $\sigma$ ) оболочки кабеля. В соответствии с [1], ухудшение механических свойств оболочки не должно превышать 20%.

В данной работе проведено сравнение устойчивости маслостойких проводов отечественного производства с маслостойкими кабелями марки Ölflex фирмы LAPP Cable (Германия). Отечественные провода сечением 4 мм<sup>2</sup> представляют собой многопроволочную медную токопроводящую жилу (ТПЖ) с изоляцией полиуретанового типа и оболочкой из ПВХ пластика. Толщина оболочки 0,8 мм.

Кабели марки Ölflex сечением 2.5мм<sup>2</sup>, марок:

- 440P многопроволочная медная ТПЖ, с изоляцией из термопластичного эластомера, и оболочкой из TPU, не содержащие галогенов. Толщина оболочки 1,2 мм.

- 500P многопроволочная медная ТПЖ, с изоляцией и оболочкой из TPU. Толщина оболочки 0,9 мм.

- Robust 200 многопроволочная медная ТПЖ, изоляция из термопластичного эластомера, с низкой емкостью, безгалогеновая, износостойкая безгалогеновая оболочка на базе специального термопластичного эластомера. Толщина оболочки 1,1 мм.

В соответствии с [1] образцы провода представляют собой отрезки длиной 20 см, торцы которых герметично закрыты пленкой ПЭТ, чтобы обеспечить проникновение агрессивной жидкости только через внешнюю поверхность оболочки провода. Образцы выдерживались в эксикаторе полностью погруженными в агрессивную жидкость при комнатной температуре в течение 1000 часов. Через каждые 300 ч. образцы вынимались и проводились измерения механических характеристик (минимум 6 измерений на одну точку).

Механические характеристики оболочки и изоляции измерялись с помощью разрывной машины типа ИР5040-5 УХЛ 4.2 (полуавтоматическая установка). Измерения радиальных и аксиальных размеров оболочки и изоляции образцов определялись с помощью микрометра типа МР (цена деления 2 мкм) и штангенциркуля с ценой деления до 0,1 мм, а толщина изоляции и оболочки оценивалась оптическим методом (микроскоп марки МПБ-2 с ценой деления 0,1 мм) в соответствии с [1].

Обсуждение результатов.

На рис. 1 представлены зависимости набухания оболочки, мм от времени нахождения в агрессивной среде, час. На графике представлены зависимости для провода отечественного производства и кабелей производства Германии.

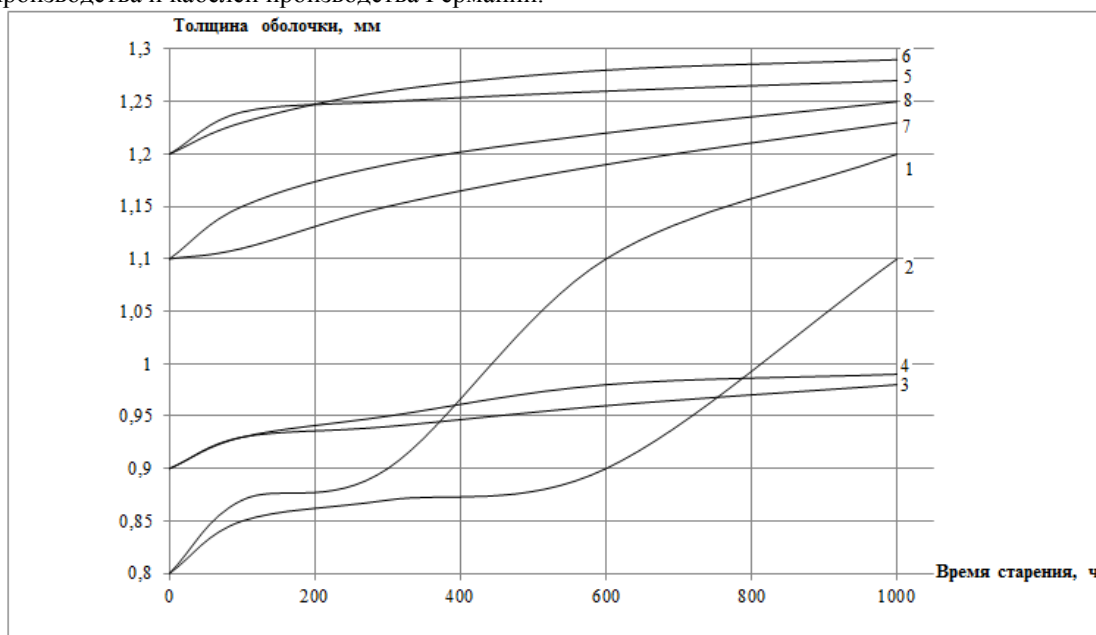


Рисунок 1. Зависимость толщины оболочки, мм, от времени старения, час.

- 1, 2 – провод отечественного производства, находящийся в трансформаторном масле и дизельном топливе.  
 3, 4 – кабель производства Германии (500P), находящийся в трансформаторном масле и дизельном топливе.  
 5, 6 – кабель производства Германии (440P), находящийся в трансформаторном масле и дизельном топливе.  
 7, 8 – кабель производства Германии (Robust 200), находящийся в трансформаторном масле и дизельном топливе.

Как видно из рис. 1 толщина оболочки всех рассматриваемых в работе образцов с течением времени увеличивается. В течение 1000 часов для кабелей марки Ölflex скорость набухания образцов практически одинакова, и составляет  $2 \times 10^{-3}$  мм/ч. Тогда как для проводов отечественного производства скорость набухания составила  $4 \times 10^{-3}$  мм/ч. Из графиков видно, что для проводов отечественного производства характерны участки плато: при старении в

трансформаторном масле от 100 до 600 часов, а при старении в дизельном топливе от 100 до 300 часов.

В таблице 1 представлены механические характеристики полиуретановых термоэластопластов [2].

Табл.1 Механические характеристики полиуретановых термоэластопластов.

Показатели	TPU
Диапазон рабочих температур <sup>1</sup> , °С	(-50) – (+95)
* Твердость по Шор А-Д	50А-75Д
* Предел прочности при растяжении, МПа	24 - 48
Модуль упругости при изгибе, МПа	69 - 1310
Относительное удлинение при растяжении, %	250 - 700

В таблице 2 представлены механические характеристики ПВХ-пластикатов.

Таблица 2. Механические характеристики ПВХ-пластикатов.

Показатели	ПВХ-пластикат						
	11,7	10,7	14,7	13,7	17,2	15,7	11,7
Прочность при разрыве, МПа не менее							
Относительное удлинение при разрыве, % не менее	350	350	300	280	350	280	350

На рис. 2, 3 представлены зависимости относительного удлинения  $\epsilon$ , % и прочности при разрыве  $\sigma$ , Н/мм<sup>2</sup> от времени нахождения в агрессивной среде, час., для провода отечественного производства и кабелей производства Германии.

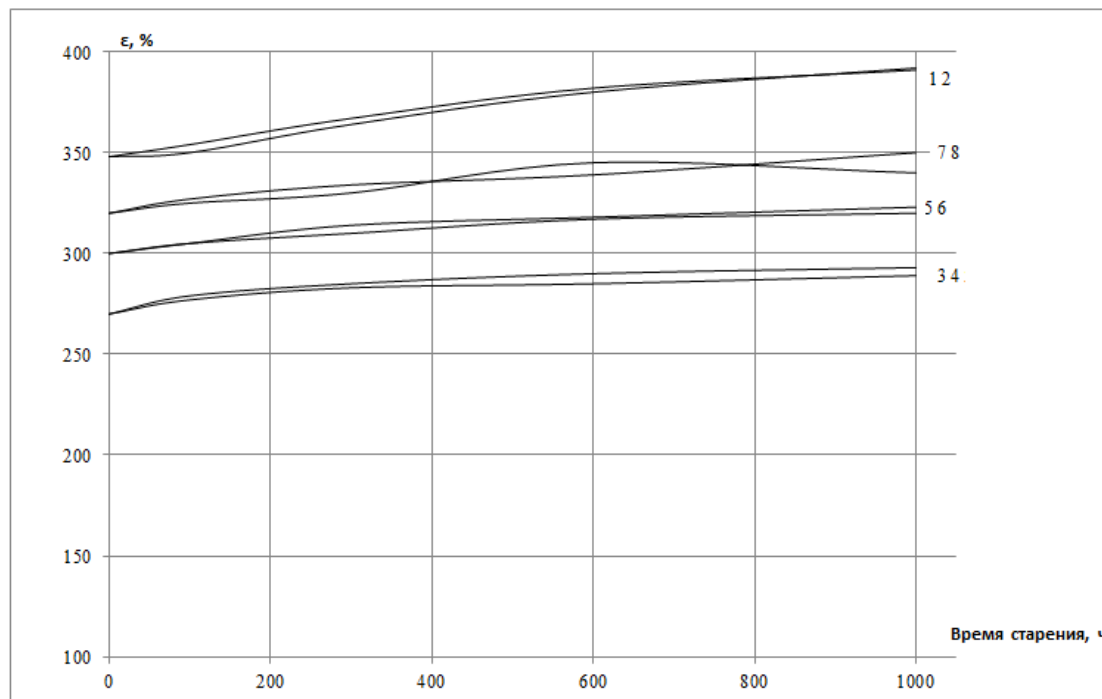


Рисунок 2. Зависимость относительного удлинения, %, от времени старения, час.

1,2 – провод отечественного производства, находящийся в трансформаторном масле и дизельном топливе; 3, 4 – кабель производства Германии (500P), находящийся в трансформаторном масле и дизельном топливе; 5, 6 – кабель производства Германии (440P), находящийся в трансформаторном масле и дизельном топливе; 7, 8 – кабель производства Германии (Robust 200), находящийся в трансформаторном масле и дизельном топливе.

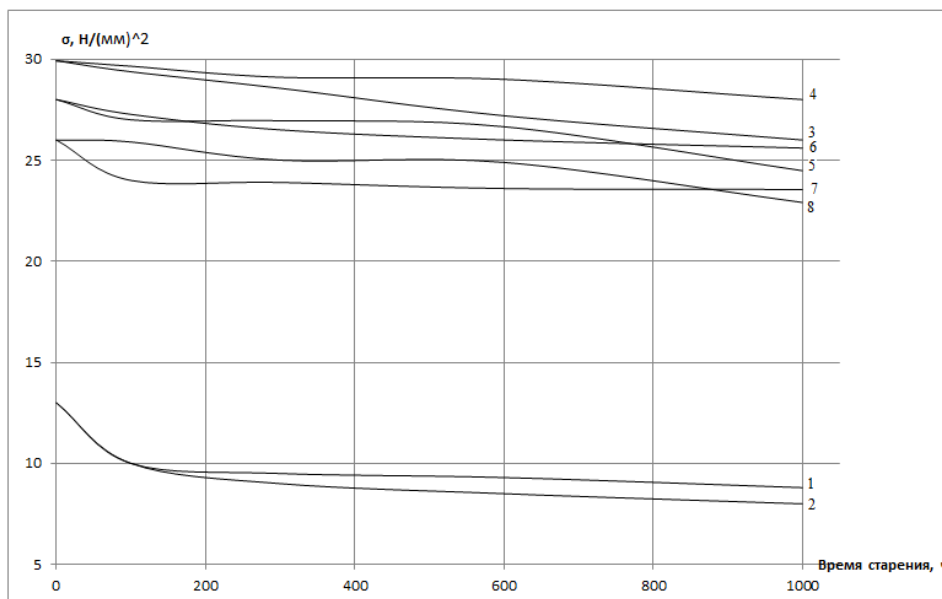


Рисунок 3. Зависимость предела прочности Н/мм<sup>2</sup>, от времени старения, час.

1,2 – провод отечественного производства, находящийся в трансформаторном масле и дизельном топливе; 3, 4 – кабель производства Германии (500P), находящийся в трансформаторном масле и дизельном топливе; 5, 6 – кабель производства Германии (440P), находящийся в трансформаторном масле и дизельном топливе; 7, 8 – кабель производства Германии (Robust 200), находящийся в трансформаторном масле и дизельном топливе.

Из сравнения данных рис. 1,2 и табл. 1,2 видно, что измеренные значения  $\sigma$  и  $\epsilon$  находятся в хорошем соответствии с табличными данными.

Как видно из рис.2,3 относительное удлинение в период 1000 часов для кабелей марки Ölflex составило 10%, а для проводов отечественного производства 12%. Предел прочности уменьшается у проводов марки Ölflex за период 1000 часов на 11%, для проводов отечественного производства на 35-40%. Набухание приводит к уменьшению эластической составляющей с одной стороны, и к уменьшению энергии межмолекулярных взаимодействий с другой стороны.

В целом, по результатам работы можно сделать следующие выводы:

Работа в агрессивных средах способна приводить к выходу из строя КИ за короткий промежуток времени (менее 150 часов).

Дизельное топливо оказывает большее воздействие на механические характеристики, чем трансформаторное масло.

Для кабелей и проводов, работающих в контакте с углеводородными жидкостями, в качестве оболочки более подходящим является ТЭП, по сравнению с ПВХ- пластикатом.

#### Список литературы:

1. ГОСТ Р МЭК 60811-2-1-2006 «Общие методы испытаний материалов изоляции и оболочек электрических и оптических кабелей».
2. <http://www.prom-polymer.ru> – Промышленные полимеры.

#### Пути развития корабельных электрических сетей и электроэнергетических установок

*Матюшков К.О., Федюк Р.С., Мочалов А.В.*

*Учебный военный центр Дальневосточного федерального университета, Россия, г. Владивосток*  
[captainvmf@yandex.ru](mailto:captainvmf@yandex.ru)

Все действия по приготовлению различных корабельных систем начинаются с подачи электроэнергии (ЭЭ) на те или иные потребители. Подача электроэнергии начинается с источника электрического тока (дизель-генератор). Генерация электроэнергии — производство электроэнергии (электрического напряжения и тока) посредством преобразования её из других видов энергии с помощью специальных технических устройств [1].



Назначение дизель генератора – преобразование химической энергии топлива, сгораемого в цилиндрах дизеля в электрическую энергию тока, вырабатываемого электрогенератором. Суммарные электрические нагрузки при неуклонном росте их значений существенно отличаются друг от друга в различных режимах использования надводных кораблей (НК) (при ведении боевых действий, переходе в район боевых действий, стоянке на якорю и т. п.). Все это объективно обуславливает необходимость наличия на корабле совокупности источников ЭЭ различной мощности для оптимальной загрузки генераторных агрегатов при их одиночной или параллельной работе в различных режимах использования корабля [2].

Следовательно, на НК может быть выделена система генерирования ЭЭ необходимого количества и качества.

На кораблях ВМФ РФ применяются генераторы, работающие на дизельном топливе (ДТ). Определим, насколько эффективно применение данного вида топлива (и, соответственно, генераторов). Для примера возьмем генератор бч18/22 (рис. 1)



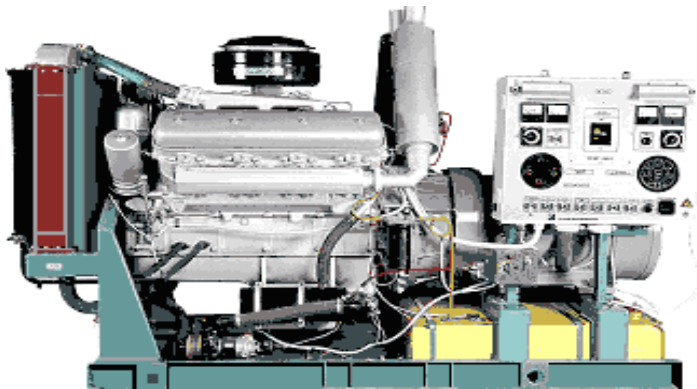
Рис. 1. Дизель-генератор бч18/22

Степень автоматизации - 1-я и 2-я.

Первичный двигатель - ЯМЗ-238Г (газовый аналог ЯМЗ-238М2-11).

Генератор - Lego Somer LSA 44.2 S7 или БГ-100.

Расход газа при номинальной мощности составляет 36 м. куб./ч. 1 куб природного газа стоит в среднем 9 руб. Соответственно, 36 куб. м. стоят 324 руб. Таким образом, получаем двукратную экономию по сравнению с дизель-генераторами.



помощью кабелей (рис. 3).

Мощность генератора 100кВт при частоте вращения ротора 750 об/мин.

Удельный расход ДТ равен 0,217кг/кВт.

Соответственно, для производства 100кВт/ч электроэнергии понадобится 21,7кг ДТ. При средней цене 1л топлива 30 руб. затраты на производство 100кВт/ч электроэнергии составят 651,5руб.

Для сравнения рассмотрим расход топлива газопоршневой электростанции ЯМЗ серии АП-100 (100 кВт.) (рис. 2), предназначенной для получения трехфазного электрического тока напряжением 400 В, частотой 50 Гц.

Мощность - 100 кВт,

Напряжение - 400 В.

Частота тока - 50 Гц.

Род тока - переменный 3-х фазный.

Рис. 2. Газопоршневая электростанция ЯМЗ серии АП-100

Возможность функционирования определяется не только успешностью и рациональностью генерирования ЭЭ, но и надежностью транспортировки ее от системы генерирования к потребителям. В этой связи возникает задача качественного распределения, передачи ЭЭ с

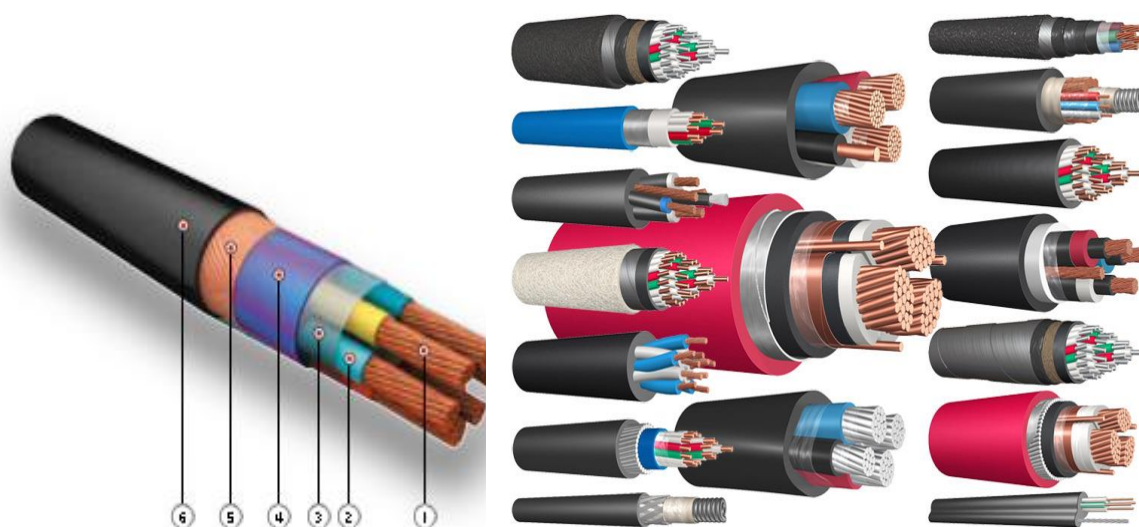


Рис. 3. Корабельные электрические кабели. 1 - медная жила, 2 - резиновая изоляция, 3 - синтетическая пленка, 4 - внутренняя оболочка, 5 - экран или защитная оплетка, 6 - наружная оболочка из маслостойкой резины.

Основным недостатком медного кабеля является его высокая стоимость. Это заставляет задуматься о беспроводной передаче электроэнергии. Первые опыты с беспроводной передачей электроэнергии проводил Н. Тесла (рис. 4).

С чего же началась слава Теслы, как «отца» беспроводного электричества? Началось все в 1892 году, когда Никола Тесла в рамках научной конференции в Лондоне провел ток по одиночному проводу, который, по сути, являлся незамкнутой цепью. При этом медный провод оставался совершенно холодным. Эта система работала без заземления. Вскоре после этого, в США ученый демонстрирует первую в мире лампочку, зажженную без помощи проводов и свой беспроводной электродвигатель. В основе этих изобретений лежал принцип электрических колебаний все в том же единственном проводе. Никола Тесла считал, что использование подобных ламп экономически более выгодно. Ведь потери энергии минимальны.



Рис. 4. Никола Тесла



Рис. 5. Эксперименты в США по беспроводной передаче электроэнергии

Беспроводная передача электричества — способ передачи электрической энергии без использования токопроводящих элементов в электрической цепи. К 2011 году имели место успешные опыты с передачей энергии мощностью порядка десятков киловатт в микроволновом диапазоне с КПД около 40 % в Goldstone, Калифорния (США) (рис 5).

#### Список литературы:

1. Самодлов Т.Т. Электрооборудование и радиосвязь речных судов. – М.: Транспорт, 1988. – 303 с.
2. Миронов В.В. Электрооборудование судов: конспект лекций. –Херсон: Херсонский морской институт, 752 с.

**Износ и восстановление лопастей рабочих колес радиально-осевых гидротурбин****Мисиров М.Х.***Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет, Россия, г. Нальчик  
[misir56@mail.ru](mailto:misir56@mail.ru)*

Среди особенностей горных рек Кабардино-Балкарской республики является то, что они содержат огромное количество песка во взвешенном состоянии. Использование такой воды в качестве технологической среды в гидроагрегатах вызывает ряд проблем. Горную воду в период паводка можно представить как гидроабразивную технологическую среду. Контакт этой среды с технологическим оборудованием происходит на большой скорости и этот процесс можно представить как гидроабразивную обработку с вытекающими отсюда проблемами.

К таким проблемам можно отнести гидроабразивное изнашивание рабочих колес гидротурбин [1]. Так эксплуатация гидротурбины Аушигерской ГЭС (каскад Нижне-Черекских ГЭС на реке Черек) показала, что рабочее колесо подвержено одновременному разрушающему воздействию кавитации и гидроабразивному изнашиванию, вызываемому несомыми потоком твердыми частицами песка.

Рабочее колесо гидроагрегата №1 Аушигерской ГЭС на момент ремонта отработало 10350 часов и имел абразивный износ металла по внутренней поверхности нижнего обода и рабочей поверхности лопасти в районе выходной кромки, прилегающей к ободу размером 250x250 мм. Кавитационная эрозия имеется на тыльной поверхности лопасти в районе выходная кромка-галтельный переход к нижнему ободу. Кавитационный унос металла на тыльной поверхности совместно с абразивным составляет около 7 кг. Абразивный износ с рабочей поверхности лопастей в районе выходная кромка-обод составляет около 15кг., износ металла с нижнего обода составляет приблизительно 50 кг. Суммарный абразивный и кавитационный унос металла с рабочего колеса можно оценить в 70-80 кг. Интенсивность кавитационного и гидроабразивного разрушения напрямую зависит от качества воды, поступающей на турбину. За один сезон это разрушение на лопастях турбин Аушигерской ГЭС, изготовленных из легированной стали 09Г2С, доходил до сквозных отверстий с размерами в плане до 150×80 мм (рис.1, размер, а×в).

Принимаемые конструктивные меры не могут полностью защитить проточную часть от износа. Поэтому наступает момент, когда рабочее колесо необходимо ремонтировать. В этом случае ремонт производится в основном путем удаления значительной части лопастей, включая наиболее сильно разрушенные части, определяемые размерами, а×в (рис.1). Отметим, что все способы ремонта, реализуемые в настоящее время, при таких разрушениях с образованием сквозных отверстий являются эмпирическими и не имеют точного научного обоснования. Такое положение можно объяснить сложностью задачи, которая относится к термоупругим задачам без четких граничных условий. Температурная податливость точек сечений сопряжений лопастей и ободов сильно отличаются, прежде всего, из-за большой разности толщин лопасти и ободов, с которыми сопрягаются лопасти.

В настоящее время ремонт рабочих колес радиально-осевых гидротурбин при кавитационно-гидроабразивном разрушении производится следующим образом: вырезается часть лопасти, включающая разрушенный участок лопасти, как треугольник в плане dce (рис.1), по этим размерам вырезается пластина постоянной толщины из нержавеющей стали. Толщина пластины выбирается равной толщине выходных кромок лопастей. Эта пластина изгибается на специальном оборудовании, таким образом, чтобы оптимально подходить под размер «dce».

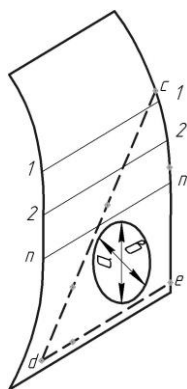


Рис.1.Существующая схема восстановления лопастей рабочих колес

Пластина dce толщиной 20 мм приваривается к лопасти таким образом: она прихватывается к лопасти в точках d,c и e; приваривается по линиям de и dc в несколько слоев; на плоскость пластины наплавливается нержавеющая сталь массой 3-3,5 кг. до получения необходимой толщины лопасти, которая изменяется от 40 мм в точке d до 20 мм в точках c и e.

После наложения указанной массы шва поверхность обрабатывается, чтобы получить по линиям тока 1-1... n – n расчетные геометрические характеристики лопасти, а поверхность шлифуется до шероховатости  $Ra = 0,1$

МКМ.

При такой технологии ремонта в точке  $d$  и примыкающей к ней зоне будут появляться высокие остаточные напряжения, поскольку жесткость нижнего обода по сравнению с примыкающей к ней части лопасти значительна, при этом напряжения могут превосходить предел текучести в разных опасных точках лопасти, что приводит к значительной поводке выходных кромок лопастей. Причиной этого является появление остаточных растягивающих напряжений.

Напряженно-деформированное состояние ремонтной зоны было оценено аналитическим методом и методом конечных элементов (МКЭ). На рис. 2 показана эпюра эквивалентных напряжений вдоль линии  $dc$  (см. рис.1), полученная МКЭ. На рис. 3 и 4 показаны такие же эквивалентные напряжения вдоль обода (линия  $de$ , рис. 1) и вдоль выходной кромки (линия  $se$ , рис. 1). На рис. 5 показана эпюра суммарных температурных перемещений вдоль выходной кромки лопасти.

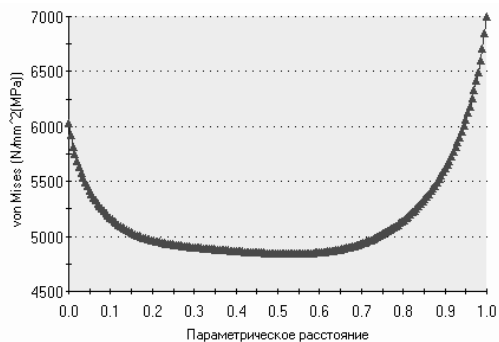


Рис.2. Эпюра эквивалентных напряжений вдоль линии приварки пластины к лопасти (линия  $dc$  на рис. 1)

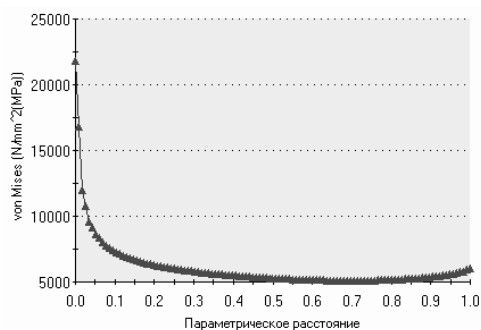


Рис.3. Эпюра эквивалентных напряжений вдоль обода (линия  $de$  на рис. 1)

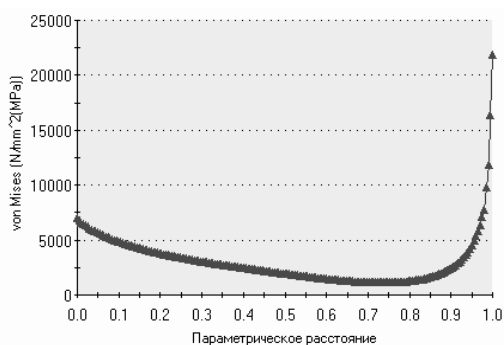


Рис.4. Эпюра эквивалентных напряжений вдоль выходной кромки лопасти (линия  $se$  на рис. 1)

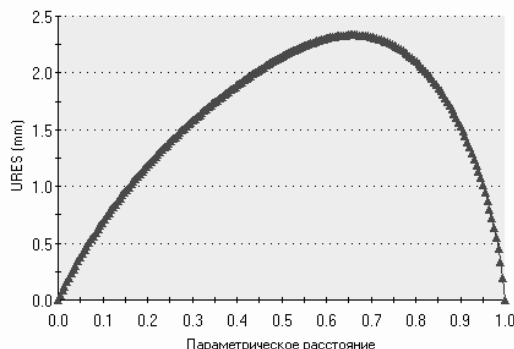


Рис.5. Эпюра результирующих перемещений вдоль выходной кромки лопасти (линия  $se$  на рис. 1)

Расчетные температурные деформации и напряжения вдоль швов  $dc$  и  $de$  оказались значительными как по результатам аналитических, так и по результатам численных (МКЭ) расчетов. Причем расчетные температурные напряжения значительно превосходят предел текучести материала пластинки и лопастей, которые лежат в пределах 350... 450 МПа. Расчетные напряжения превосходят предел текучести в 4...8 раз. Поводка выходных кромок лопастей рабочих колес Аушигерской ГЭС, отремонтированных по данной схеме, как по расчетным данным, так и по визуальному наблюдению достигает так же значительных величин (см. рис.5). Устранение этих поволодок производится вручную, что весьма трудоемко и нетехнологично.

Таким образом, оценка напряженно-деформированного состояния лопастей рабочих колес Аушигерской ГЭС, после ремонта, показала, что рассматриваемая технология ремонта изначально закладывает в ремонтируемой конструкции такие высокие остаточные напряжения, которые существенно снижают прочность конструкции.

Из изложенного вытекает, что применяемая схема ремонта рабочих колес радиально-осевых гидротурбин имеет недостатки и требуется ее совершенствование.

Одним из вариантов[2] восстановления лопастей рабочих колес радиально-осевых гидротурбин может быть способ позволяющий улучшить технологичность ремонта рабочих колес,

существенно снизить остаточные напряжения растяжения в зоне ремонта, т. е. в зоне наибольшего износа а, следовательно, повысить надежность рабочих колес и снизить себестоимость ремонта. Известно, что появление остаточных растягивающих напряжений в материале существенно снижает сопротивляемость материала гидроабразивному износу[3]. Проецируя этот факт на ремонт лопастей можно сказать, что наличие остаточных растягивающих напряжений в теле лопастей будет приводит к снижению времени работы между ремонтами колеса. Новая схема ремонта было предложена в рамках хоздоговора с ОАО «Севкавэнергоремонт».

Поставленная цель достигается тем, что участки лопастей в местах, включающих разрушенные, вырезаются прямоугольной формой, которая в процессе ремонта заполняется балками-полосками, длинная сторона которых параллельна выходной кромке лопасти, при этом каждая полоска приваривается последовательно по торцам, начиная с балки-полоски, наиболее удаленной от выходной кромки лопасти, а сварка балок-полосок между собой производится в обратной последовательности, начиная с балок-полосок, расположенных у выходной кромки (рис.6).

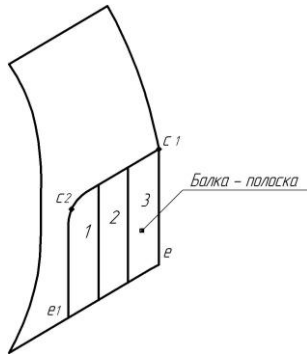


Рис.6. Предлагаемая схема восстановления лопастей рабочих колес радиально-осевых гидротурбин

На рис.6, показан участок лопасти  $c1c2e1$  имеющий прямоугольную форму, который заполняется балками-полосками параллельными выходной кромке лопасти  $c1e$ .

При этом максимальные температурные напряжения при сварке по длине балки-полоски от двух торцевых швов, будут распределяться по большой свободной длине балки-полоски и максимальные нормальные остаточные напряжения вдоль балок-полосок уменьшатся значительно и будут в допустимых пределах.

При замене жестких треугольников податливыми балками-полосками длиной 200...250 мм (предлагаемая схема ремонта) аналитический расчет дает сварочные напряжения равными 150...190 МПа. Определение этих напряжений методом конечных элементов (МКЭ) при длине балки-полоски равной 250 мм дает напряжения в замыкающем шве равными 171,1 МПа.

Эти два различных метода оценки величин остаточных сварочных напряжений дают близкие результаты и показывают, что существенное снижение жесткости одной из двух свариваемых деталей позволяет значительно (в данном случае примерно в 20 раз) снизить уровень напряжений. При этом в данном случае исчезает вероятность возникновения высоких остаточных напряжений и трещин.

#### Список литературы:

1. Ковалев Н.Н. Гидротурбины. – Л.: Машиностроение, 1971. - 584с.
2. Способ восстановления лопастей рабочих колес радиально-осевых гидротурбин: пат. 239395 Рос. Федерация: МПК В23Р 6/00, F03В 11/00 / Бугов Х.У., Семенов Л.Х., Мисиров М.Х., и др.; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО Кабардино-Балкарская государственная сельскохозяйственная академия. - № 2009109913 / 02; заявл. 18.03. 2009; опубл. 10. 07. 2010, Бюл.№19, -5с.
3. Способ обработки твердых и хрупких материалов: а.с. 1351763 СССР: МКИЗ В 24 С 1/10, В 24 В 27/06 / А.И.Соколик, М.Х. Мисиров (СССР).-4061421/31-08; заявл.11.03.86; опубл.15.11.87, Бюл.№42.-2с.

#### Исследование гармонического состава тока и напряжения преобразователя частоты

**Митрофанов Н.А.**

Новосибирский государственный технический университет, Россия, г. Новосибирск.

[feiton270492@mail.ru](mailto:feiton270492@mail.ru)

Основным недостатком синхронных и асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором является сложность регулирования скорости, поскольку скорость вращения ротора двигателя напрямую зависит от частоты сети. В настоящее время широкое распространение получили частотные приводы, кардинально решающие проблему регулирования скорости и позволяющие формировать практически любые характеристики привода.

Обратной стороной применения частотных приводов является проблема гармоник. Она заключается в том, что преобразователи частоты генерируют довольно широкий спектр высших гармоник, которые передаются как в сеть, так и на двигатель.

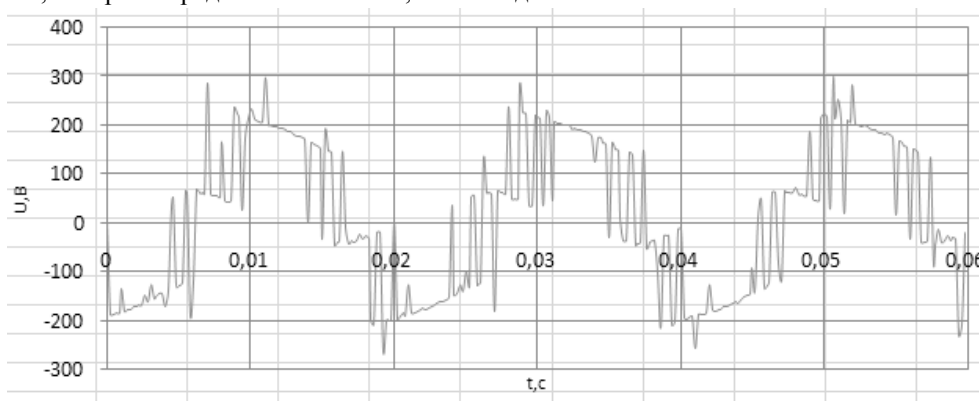


Рис. 1 . Напряжение на выходе преобразователя частоты



Рис.2. Ток на выходе преобразователя частоты

Традиционно двигатели всегда проектировались для работы от источников питания, качество электроэнергии которых соответствует требованиям ГОСТа. Один из важнейших показателей качества – коэффициент несинусоидальности напряжения. Чем больше его значение, тем больше постоянные и переменные потери в двигателе. Наличие высших гармоник в питающем напряжении приводит к дополнительному нагреву двигателя за счёт повышенных потерь от вихревых токов и потерь на гистерезис, и, как следствие, ускоренному старению изоляции, что приводит к преждевременному выходу машины из строя.

Так же негативно высшие гармоники влияют на работу основного оборудования энергосистемы и потребителей электроэнергии.

В настоящей работе выполнена оценка гармонического состава тока и напряжения частотного преобразователя Mitsubishi FRD740, питающего синхронный двигатель мощностью 200 Вт. Цифровые осциллограммы тока и напряжения на выходе частотного преобразователя приведены на рис. 1 и 2. Анализ гармонического состава проводился разложением исходных осциллограмм в ряд Фурье, который представляет собой набор гармоник, каждая из которых характеризуется амплитудой и фазой.

Количественно оценивать степень влияния каждой гармоники принято коэффициентом гармоники  $k_n$

$$k_n = \frac{U_n}{U_1} * 100\% .$$

Он показывает процентное отношение амплитуды n-ой гармоники к основной гармонике. В таблицах 1 и 2 отображены гармоники, которые в наибольшей степени влияют на искажение кривых напряжения и тока.

Таблица 1. Гармоники напряжения с  $k_n > 5\%$ 

№	$U_{m_n}$		$k_n, \%$
16	1.89	13.4	10.05
18	35.2	24.8	18.64
22	40.8	28.8	21.62
24	26.8	19	13.24
35	11	7.8	5.84
39	16.3	11.6	8.66
45	15.2	10.7	8.06
47	11.3	8	6
55	12.3	8.7	6.49

Таблица 2. Гармоники тока с  $k_n > 5\%$ 

№	$U_{m_n}$		$k_n, \%$
4	22.8	16.2	8.77
7	19.7	13.9	7.6
8	19.1	13.5	7.35
16	80.33	57	30.89
18	75.09	53.09	28.88
22	67.23	47.54	25.86
24	71.62	50.64	27.55
48	19.8	14	7.62
39	23.91	16.91	9.19

Заключение. Основываясь на проведенном исследовании, следует принять во внимание, что наличие высших гармоник на выходе частотного привода значительно влияет на работу двигателя в целом. Следовательно, недопустимо заменять обычный привод на частотный, не учитывая это влияние.

Оптимальный вариант при работе двигателя от преобразователя частоты - применять специализированные двигатели, например, серии АДЧР, которые рассчитаны на условия работы при несинусоидальном напряжении. В стандартном исполнении такие двигатели имеют степень защиты IP54, климатическое исполнение УЗ и тип изоляции F.

Если же для частотного привода выбирается двигатель традиционной серии, не рассчитанный для работы от преобразователя частоты, его мощность должна быть завышена с учетом повышенных потерь и ухудшения условий охлаждения в случае глубокого регулирования скорости.

Для защиты оборудования энергосистемы и приёмников электрической энергии от влияния высших гармоник напряжения необходимо применять фильтрокомпенсирующие устройства, ограничивающие амплитуды гармоник, на частоту которых они настроены.

#### Список литературы:

1. Макс Ж. М17 Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях: В 2-х томах. Пер. с франц.-М: Мир, 1983-Т.1 312 с., ил.
2. Вольдек А.И. В71 Электрические машины. Учебник для студентов высш. техн. учебн. заведений. – 3-е изд., перераб.- Л.: Энергия, 1978. – 832 с., ил.

#### Разработка требований к параметрам вакуумных выключателей, устанавливаемых в распределительных кабельных сетях среднего напряжения

**Михно В.В.**

Новосибирский Государственный Технический Университет, Россия, г. Новосибирск  
 mihno.vitaliy@gmail.com

В настоящее время в сетях среднего напряжения различного назначения на смену масляным выключателям приходят вакуумные выключатели.

Вместе с тем внедрение этих выключателей в практику электросетевого строительства связано с некоторыми проблемами.

Одной из проблем является инициирование вакуумными выключателями при определенных условиях высокочастотных перенапряжений, негативно влияющих на кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена (КСПЭ) [1].

В распределительных кабельных сетях (РКС) основные коммутации приходятся на кабельные линии, примыкающие к головным понизительным подстанциям (ГПП) или распределительным пунктам (РП). При их отключении с помощью ВВ на КСПЭ могут воздействовать ВЧ - перенапряжения. При этом инициализация таких перенапряжений зависит от характеристик вакуумной дугогасительной камеры (ВДК) ВВ и параметров сети.

Вероятность появления повторных зажиганий между расходящимися контактами ВДК зависит от соотношения двух параметров:

- скорости восстановления электрической прочности (СВЭП) между расходящимися контактами ВДК;
- скорости переходного восстанавливающегося напряжения (СПВН) на контактах выключателя.

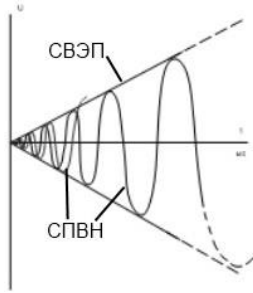


Рис. 1. К анализу появления ВЧ - перенапряжений

СВЭП между электродами ВВ зависит от многих факторов (материала контактов, степени вакуума, скорости раздвижения контактов, параметров привода выключателя и других параметров) и для каждого конкретного предприятия-изготовителя имеет свои значения. Например, для ВВ отечественных и зарубежных фирм этот параметр находится в диапазоне от 30 до 80 кВ/мс.

СПВН на расходящихся контактах ВВ зависит от типа сети (параметров сети).

Как уже отмечалось, в процессе эксплуатации изоляционная конструкция КСПЭ среднего напряжения подвергается воздействию теплового поля (в нормальном режиме и в режимах перегрузки), а также воздействию электрического поля промышленной частоты и высокочастотных перенапряжений. Амплитудно-временные параметры ВЧ - перенапряжений зависят от схем применения КСПЭ, которые условно можно разделить на следующие четыре группы.

Распределительные кабельные сети в крупных городах и городах-мегаполисах напряжением 10 (20) кВ, в которых кабели подвергаются в основном коммутационным перенапряжениям. Для этих сетей можно выделить следующие характерные моменты.

Практически отсутствие воздействий на КСПЭ грозовых перенапряжений, поскольку при реальных коэффициентах емкостного делителя между обмоткой ВН и СН силового трансформатора на низкую сторону проходит импульсная волна с амплитудой не более 5-10% от амплитуды срезанной волны напряжения набегающей с ВЛ 110 кВ.

В комбинированной сети одновременно эксплуатируются кабели различного конструктивного исполнения (КПБИ и КСПЭ), с отличающимися механизмами развития пробоя изоляции. Такие РКС будут иметь место на протяжении ближайших нескольких лет, пока не закончится полностью реконструкция существующих РКС с применением КСПЭ. Очевидно, что в перспективе (через 10-15 лет) РКС практически полностью заменят кабельный парк с использованием КПБИ и перейдут на эксплуатацию КСПЭ вместо КПБИ.

Сети собственных нужд электростанций различного назначения (ТЭЦ, ГРЭС, АЭС, ГЭС) и городские перекачивающие (насосно-фильтровальные) станции.

Для этих сетей характерно применение относительно небольшой длины кабельных вставок, осуществляющих связь между трансформаторами и высоковольтными электродвигателями, коммутация которых происходит при использовании вакуумных или элегазовых выключателей. Исследования показали, что в таких схемах при коммутации вакуумными выключателями высоковольтных электродвигателей (ЭД) на СПЭ-изоляцию кабелей могут воздействовать ВЧ - перенапряжения за счет повторных зажиганий в вакуумной дугогасительной камере.

Электроснабжение металлургических предприятий с использованием КСПЭ напряжением 10 и 35 кВ.

Для этих схем применения КСПЭ характерно воздействие на изоляционную систему кабеля коммутационных перенапряжений и гармоник высокой частоты в нормальном эксплуатационном режиме, генерируемых в сеть металлургическими печами (МП).



Шахтные сети угольных предприятий, для которых характерны относительно короткие участки кабельных вставок (длиной от единиц метров до десятка метров) [2].

Для проведения численных исследований по анализу ВЧ - перенапряжений, которые могут возникнуть на изоляции КСПЭ при их коммутациях ВВ, предварительно необходимо определить первичные и волновые параметры КСПЭ на высоких частотах, которые будут использоваться при моделировании кабелей в виде линий с распределенными параметрами.

В табл.1 приведены первичные и волновые параметры КСПЭ с сечением токопроводящей жилы 120 - 800 мм<sup>2</sup> и напряжением 10 кВ для канала «жила-экран» на частоте 200 кГц. В таблице приняты следующие обозначения:  $ZI$  и  $ZvI$  – соответственно, продольное сопротивление и волновое сопротивление петли тока жила-экран,  $vI$  - скорость распространения электромагнитной волны в канале жила-экран,  $LI$  и  $CI$  индуктивность и емкость между жилой и экраном.

Таблица 1. Первичные и волновые параметры КСПЭ напряжением 10 кВ

S, мм <sup>2</sup>	120	300	630	800
$ZI$ , Ом/км	3.07+37.28i	1.95+25.81i	1.28+17.28i	1.19 +15.51i
$LI$ , Гн/км	1.18·10 <sup>-4</sup>	8.21·10 <sup>-5</sup>	5.50·10 <sup>-5</sup>	4.93·10 <sup>-5</sup>
$CI$ , Ф/км	3.28·10 <sup>-7</sup>	4.70·10 <sup>-7</sup>	6.99·10 <sup>-7</sup>	7.77·10 <sup>-7</sup>
$ZvI$ , Ом	19.02	13.22	8.87	7.97
$vI$ , м/мкс	160.05	160.66	161.08	161.25

Заключение.

На стадии проектирования сетей средних классов напряжения, использующих КСПЭ и ВВ, необходимо предварительно проводить численные исследования по определению СПВН для конкретной сети и далее выбирать ВВ с соответствующей СВЭП.

При индивидуальном подходе к проектированию сети с совместным применением КСПЭ и ВВ, последние имеют «право на жизнь» и нет веских оснований утверждать об отсутствии их электромагнитной совместимости.

#### Список литературы:

1. [www.elcable.ru/product/catalog/19.pdf](http://www.elcable.ru/product/catalog/19.pdf)
2. <http://static.pnpbolid.com/pdf/IV-Conference-2006--16.pdf>

#### Управление формой тока при распределении активных мощностей между вторичными обмотками трансформаторного преобразователя скотта Морозов П.В., Бойко К.Н., Манусов В.З., Морозов Ю.В.

Новосибирский государственный технический университет, Россия, г. Новосибирск  
sibfrost24@mail.ru

Трансформаторные преобразователи, включенные по схеме Скотта, обеспечивают полную симметрию токов в трехфазной сети только при равных нагрузках на вторичных обмотках[1]. Именно при этих условиях обеспечивается равенство и ортогональность токов во вторичных обмотках и обеспечивается баланс мощностей.

При неравенстве активных и реактивных сопротивлений нагрузок баланс мощностей нарушается, и имеет место ненулевая токовая несимметрия. Следовательно, параллельно каждой из нагрузок необходимо подключить устройство уравнивания мощностей (УУМ), которое будет равномерно распределять мощность нагрузок между обмотками 1 и 2 трансформаторного преобразователя даже при резком изменении их сопротивлений либо при отсутствии нагрузки на одной из вторичных обмоток (рис. 1).

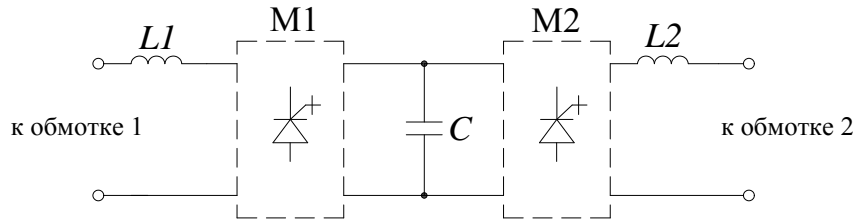


Рис. 1. Обобщенная схема УУМ

Центральным элементом УУМ является емкостной накопитель энергии  $C$ , которая служит для накопления энергии. Для распределения мощности между обмотками трансформаторного преобразователя служат коммутационные матрицы  $M1$ ,  $M2$  и реакторы  $L1$ ,  $L2$ . Реакторы обеспечивают поддержание формы тока, близкой к синусоидальной. Таким образом, УУМ представляет собой устройство из двух активных фильтров с общим тонкопеночным емкостным накопителем энергии. Этот накопитель служит для поглощения энергии от шины с большей мощностью и подпитки шины с меньшей мощностью. В настоящей работе основное внимание уделено автоматическому поддержанию формы тока в обмотках трансформатора Скотта. В связи с тем, что УУМ подключается параллельно обмоткам трансформаторного преобразователя, из равенства мощностей на обмотках и равенства напряжений на них [1] следует ряд требований к токам в обмотках: синусоидальная форма, равенство уровней и фазовый сдвиг между ними  $90^\circ$ .

Требования к форме тока в обмотке обеспечивается путем формирования тока через реактор, который компенсирует высшие токовые гармоники в нагрузке.

Теперь рассмотрим детально принцип компенсации высших гармоник с помощью однофазного активного фильтра как части УУМ. Как правило, эти гармоники порождаются нелинейными однофазными нагрузками, таких как неуправляемый выпрямитель с активно-емкостной нагрузкой или регулятор переменного тока с активно-индуктивной нагрузкой. Структурная схема однофазного активного фильтра приведена на рис. 4.5.

Пусть напряжение в одной из фаз является чистой синусоидой.

$$u_S(t) = U_P \cdot \sin(\omega t) \quad (1)$$

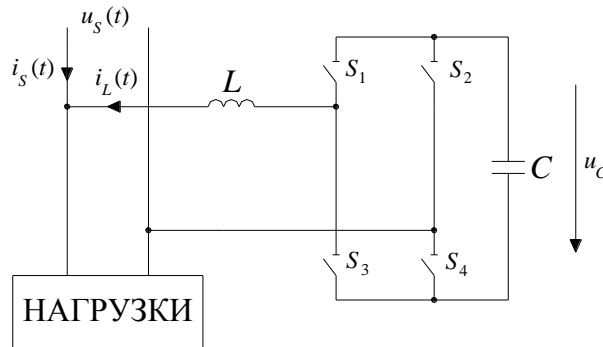


Рис. 2. Схема включения однофазного активного фильтра.

Нелинейный ток нагрузки можно представить как

$$i_L(t) = \sum_{n=1}^{\infty} I_n \cdot \sin(\omega t + \theta_n) \quad (2)$$

Этот ток раскладывается на основную и высшие гармоники:

$$i_L(t) = I_1 \cdot \sin(\omega t + \theta_1) + \sum_{n=2}^{\infty} I_n \cdot \sin(\omega t + \theta_n) \quad (3)$$

Пусть образцовый (опорный) синусоидальный сигнал имеет вид:

$$i_r(t) = I_1 \cdot \sin(\omega t) \quad (4)$$

Тогда амплитуда тока первой гармоники (в нагрузке) вычисляется с помощью стандартного алгоритма вычисления коэффициентов ряда Фурье:

$$I_x = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T i_L(t) \cdot I_1 \cdot \sin(\omega \cdot t) dt = I_1 \cdot \cos(\theta_1)$$

Следовательно, выражение для основной гармоники тока нагрузки принимает вид:

$$i_{SC}(t) = I_1 \cdot \cos(\theta_1) \cdot \sin(\omega t) \quad (5)$$

Таким образом, активный фильтр компенсирует все высшие гармоники и оставляет первую гармонику неизменной. Для этого активный фильтр вычисляет компенсирующий ток по формуле:

$$i_{Cr}(t) = i_L(t) - i_{SC}(t) = \sum_{n=1}^{\infty} I_n \cdot \sin(n \cdot \omega \cdot t + \theta_n) - I_1 \cdot \cos(\theta_1) \cdot \sin(\omega t) \quad (6)$$

Таким образом, фильтр должен формировать такой ток, чтобы в шину переменного тока тек ток нагрузки первой гармоники, а фильтр поглощал остальные гармоники тока нагрузки.

Теперь вычисленный ток  $i_{Cr}(t)$  используется для формирования физического компенсирующего тока мостовым преобразователем энергии. Основное назначение преобразователя энергии (управляемого обратимого выпрямителя) – установление однозначного соответствия между вычисляемым по результатам измерений компенсирующим током и физическим компенсирующим током. Покажем, как происходит управление током в шине переменного тока,

если ток имеет вид  $i_S(t) = I_{Sm} \cdot \sin(\omega t)$ . В соответствии с теорией мгновенных мощностей мгновенная (действительная) мощность имеет вид:

$$P_S(t) = u_S(t) \cdot i_S(t) = \frac{1}{2} \cdot U_P \cdot I_{Sm} - \frac{1}{2} \cdot U_P \cdot S_m \cdot \cos(2 \cdot \omega \cdot t) = P_S + \tilde{P}_S(t),$$

где  $P_S$  – постоянная составляющая мощности;  $\tilde{P}_S(t)$  – переменная составляющая мощности. Мгновенная мощность, потребляемая нагрузкой, имеет вид:

$$P_L(t) = U_S(t) \cdot i_L(t) = \left( \frac{U_P \cdot I_1 \cdot \cos(\theta_1)}{2} \right) + \left[ -\frac{U_P \cdot I_1}{2} \cdot \cos(2\omega t + \theta_1) + \sum_{n=2}^{\infty} \frac{U_P \cdot I_n}{2} \cdot (\cos((n-1) \cdot \omega t + \theta_1) - \cos((n+1) \cdot \omega t + \theta_n)) \right]$$

Первое слагаемое полученного выражения представляет собой постоянную составляющую:

$$P_L = \frac{U_P \cdot I_1 \cdot \cos(\theta_1)}{2} \quad (7)$$

С учетом приведенных рассуждений мгновенная мощность, поглощаемая фильтром:

$$P_C = P_S - P_L \quad (11)$$

Таким образом, баланс постоянных составляющих принимает форму:

$$P_C = \frac{1}{2} \cdot (U_P \cdot I_{Sm} - U_P \cdot I_1 \cdot \cos(\theta_1)) \quad (12)$$

В связи с тем, что конденсатор играет роль накопителя энергии (аккумулятора), перейдем от баланса мощностей к балансу энергий:

$$\frac{1}{2} \cdot C \cdot \Delta U_C^2 = P_C \cdot \Delta t, \quad (13)$$

где  $\Delta U_C$  – приращение напряжения на конденсаторе за время  $\Delta t$ .

Перейдем от мощностей обратно к токам и напряжениям с учетом ранее приведенных рассуждений:

$$\frac{1}{2} \cdot C \cdot \Delta U_C^2 = (U_P \cdot I_{Sm} - U_P \cdot I_1 \cdot \cos(\theta_1)) \cdot \Delta t \quad (14)$$

Из уравнения (14) выражаем  $\Delta U_C$ :

$$\Delta U_C = \left( \sqrt{\frac{U_P \cdot I_{Sm} - U_P \cdot I_1 \cdot \cos(\theta_1)}{C}} \right) \cdot \Delta t \quad (15)$$

С учетом структуры фильтра и схемы включения (шунт) параметры  $U_P, I_1, \theta_1, C, \Delta t$  изменить нельзя. Следовательно, от приращения  $\Delta U_C$  однозначно зависит амплитуда тока в шине переменного тока  $I_{Sm}$ . Таким образом, существует некоторое единственное значение тока  $I_{Sm}$ , при котором  $\Delta U_C = 0$ . Если  $\Delta U_C = 0$ , то

$$U_P \cdot I_{Sm} - U_P \cdot I_1 \cdot \cos(\theta_1) = 0, \quad (16)$$

что означает равенство нулю мощности всех высших гармоник.

Из приведенных рассуждений следует, что изменение тока  $i_S(t)$  в шине переменного тока однозначно влияет на изменение напряжения на конденсаторе. Следовательно, с помощью изменения напряжения на конденсаторе можно управлять током  $i_S(t)$ . Также было показано, что для того, чтобы ток  $i_S(t)$  был свободен от высших гармоник, необходимо, чтобы пульсации напряжения на конденсаторе были равны нулю ( $\Delta U_C = 0$ ).

Приращение напряжения  $\Delta U_C$  имеет смысл сигнала ошибки, которую регулятор должен сводить к нулю. С учетом связи  $i_S(t)$  и  $\Delta U_C$  уравнение ПИ-регулятора имеет вид:

$$I_{Sm}^* = K_R \cdot \Delta U_C + K_I \cdot \int_0^t \Delta U_C \cdot dt, \quad (17)$$

где  $I_{Sm}^*$  - вычисленное значение тока в шине переменного тока на основе ошибки напряжения на конденсаторе, пропорционально которому на управляющих входах коммутационных элементов формируется управляющее воздействие;  $K_R$  - коэффициент при пропорциональной составляющей, который определяет диапазон регулятора и статическую ошибку;  $K_I$  - коэффициент при интеграторе, который определяет время установления

#### Список литературы:

1. Манусов В. З. Метод уравнивания мощностей на вторичных обмотках трансформаторов Скотта / В. З. Манусов, П. В. Морозов // Известия Томского политехнического университета. - 2012. - Т. 320, № 4. Энергетика. - С. 62-67.

#### Устройство для определения места повреждения воздушной лэп импульсным методом

*Пахомов Д.В., Рысев Д.В., Крейдунова Ю.В., Матвиенко Т.П.*

*Омский государственный технический университет, Россия, г. Омск  
dmpahomov@gmail.com*

Периодические осмотры, профилактические измерения и испытания не гарантируют безотказной работы воздушных линий электропередачи. Одной из важных задач при эксплуатации воздушных линий электропередачи является быстрое определение места повреждения и проведение ремонтно-восстановительных работ. При большой протяженности и разветвленности распределительных сетей указанная задача может эффективно решаться только при

использовании специальных технических средств, определяющих поврежденную линию и расстояние до места повреждения. [1]

Для отыскания мест повреждений на линиях (обрывы проводов, замыкания между проводами, замыкания на землю) существуют приборы и методы, основанные на измерении времени распространения электрических импульсов по линии и на измерении параметров аварийного режима.

В электрических сетях широкое распространение получили устройства для определения мест повреждения, в первую очередь на воздушных линиях электропередачи напряжением 10 кВ и выше, основанные на измерении параметров аварийного режима. Эти устройства предназначены для определения мест повреждений при коротких замыканиях или при замыканиях на землю.

Для отыскания мест повреждений на линиях (обрывы проводов, замыкания между проводами, замыкания на землю) существуют методы, основанные на измерении времени распространения электрических импульсов по линии и на измерении параметров аварийного режима. Метод импульсной рефлектометрии характеризуется высокой точностью измерения и возможностью измерения после повреждения ЛЭП.

Приборы, реализующие указанный метод, называются импульсными рефлектометрами.

Сущность метода импульсной рефлектометрии заключается в выполнении следующих операций:

- Зондирование кабеля импульсами напряжения;
- Прием импульсов, отраженных от места повреждения и неоднородностей волнового сопротивления;
- Выделение отражений от места повреждений на фоне помех (случайных и отражений от неоднородностей линий);
- Определение расстояния до повреждения по временной задержке отраженного импульса относительно зондирующего. [2]

Ниже приведена структурная схема простейшего импульсного рефлектометра на рисунке 1.

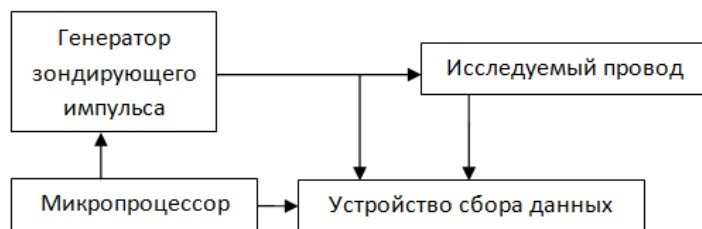


Рис. 1. Структурная схема простейшего импульсного рефлектометра

С генератора импульсов зондирующие импульсы подаются в линию. Отраженные импульсы поступают с линии в устройство сбора данных, в котором производится их преобразование. С выхода приемника преобразованные сигналы поступают на графический индикатор. Все блоки импульсного рефлектометра функционируют по сигналам с блока управления.

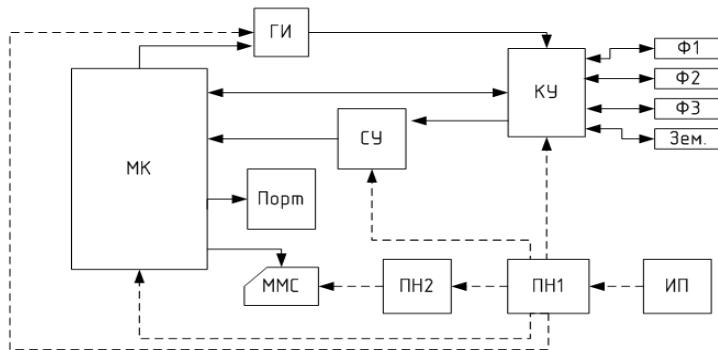


Рис. 2. Функциональная схема устройства

Предложенная функциональная схема устройства состоит из следующих модулей:

МК – микроконтроллер, ядро всей системы, управляет работой модулей ГИ, КУ по программе, записанной в его память;

ГИ – генератор зондирующих импульсов, имеет кнопки для выбора длины и амплитуды импульса;

КУ – коммутирующее устройство, переключает между собой выходы из устройства на фазы и землю для снятия данных, по которым можно построить рефлектограммы;

СУ – сравнивающее устройство, сверяет приходящие импульсы с максимальной величиной возможного импульса;

ММС – карта памяти MultiMediaCard, на нее записываются данные, пришедшие из КУ.

ПН1, ПН2 – преобразователи напряжения для питания элементов устройства;

ИП – источник питания;

Ф1, Ф2, Ф3, Зем. – фаза 1, фаза 2, фаза 3 и «земля», названия выходов из коммутирующего устройства, между которыми он переключается;

Порт – СОМ-порт на корпусе устройства для связи с компьютером и другими устройствами, через которые будет передаваться информация.

Принцип работы устройства заключается в следующем. Как показано на рисунке 2 при подаче сигнала с микроконтроллера (МК) на генератор зондирующего импульса (ГИ) по выбранному коммутирующим устройством (КУ) пути отправляется зондирующий импульс. Длительность импульса и его амплитудное значение предварительно выбираются кнопками на панели управления. Отраженный импульс возвращается на АЦП микроконтроллера и затем его значение записывается на карту памяти ММС.

Разработанный алгоритм работы микроконтроллера представлен на рисунке 3. При включении устройства происходит подготовка к работе. Микроконтроллер (МК) проверяет наличие сигнала «СТОП» от коммутирующего устройства (КУ) на остановку работы, если он есть (равен логической «1»), то МК посылает 1 импульс на КУ длительностью 1 мкс, в противном случае он отправляет импульс длиной 1 мкс и затем проверяет сигнал КУ на остановку работы. После того, как подготовка к работе окончена, микроконтроллер опять проверяет наличие сигнала «СТОП» от КУ. В случае отсутствия сигнала подается импульс на переключение КУ, через 1 мкс после этого, подается импульс длительностью 5 мкс на ГИ и одновременно с этим начинается запись данных на карту памяти ММС. Спустя 1 секунду, после начала записи производится её остановка. Затем проверяется наличие сигнала «СТОП». Если этот сигнал есть (логическая «1»), то микроконтроллер отключается до следующего запуска.

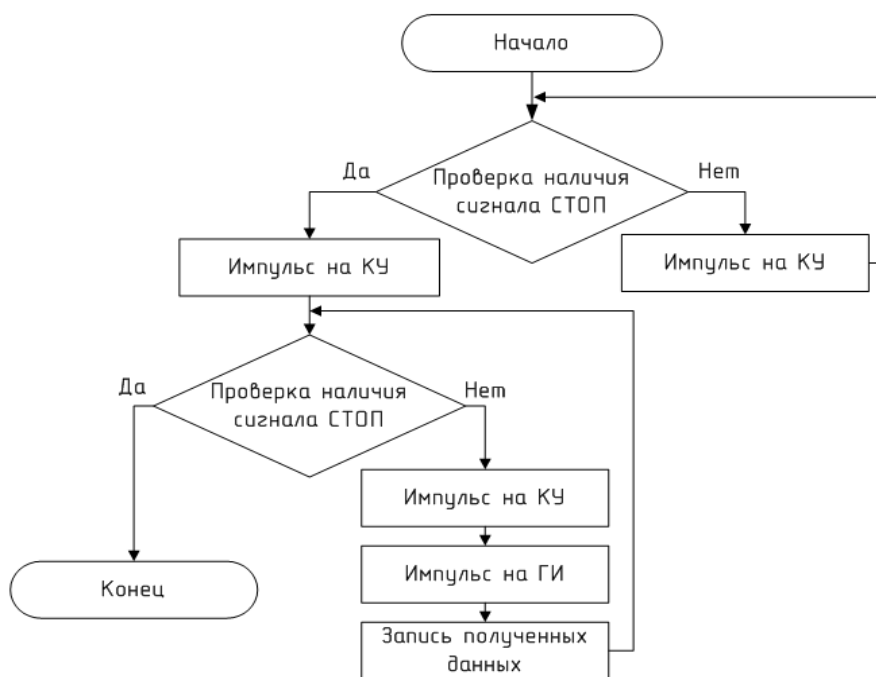


Рис. 3. Алгоритм работы устройства

Таким образом, в данной статье приведена структурная и предложена функциональная схемы импульсного рефлектометра, а также разработан алгоритм его работы. Особенность приведенного устройства заключается в том, что рефлектометр подключается сразу к трем фазам и нулевому проводу, что позволяет избежать лишних переключений и, следовательно, сэкономить время.

#### Список литературы:

1. [http://forca.ru/instrukcii-po-ekspluatatsii/vl/ekspluatatsiya-vozdushnyh-linii-elektroperedachi\\_3.html](http://forca.ru/instrukcii-po-ekspluatatsii/vl/ekspluatatsiya-vozdushnyh-linii-elektroperedachi_3.html)
2. Тарасов, Н.А. Использование метода импульсной рефлектометрии для определения повреждений кабельных линий. [Электронный ресурс] / «СТЭЛЛ». URL: <http://reis.narod.ru/metod.htm> (дата обращения: 12.10.2013)

#### К вопросу проектирования синус-фильтра

*Пустоветов М.Ю.*

*ФГБОУ ВПО «Ростовский государственный университет путей сообщения», Россия, г. Ростов-на-Дону  
mgsn2006@rambler.ru*

Эффективным средством энергосбережения в электроприводе турбомеханизмов с электродвигателями переменного тока является использование частотного регулирования скорости вращения и, как следствие, производительности. Современные технологии частотного регулирования подразумевают питание нагрузки напряжением несинусоидальной формы из отдельных квази-прямоугольных импульсов.

С целью сглаживания фронтов импульсов широтно-импульсно модулированного (ШИМ) напряжения, подаваемого на клеммы асинхронных двигателей (АД) от преобразователей частоты (ПЧ) используются выходные фильтры между ПЧ и АД [1]. Негативное влияние ШИМ-напряжения на электрооборудование при отсутствии выходного фильтра выражается в: высокочастотном шуме АД; возрастании уровня электромагнитных помех; электрокоррозии и разрушении подшипников АД и приводимых механизмов; постепенной деградации электрической изоляции, сопровождаемой интенсивным образованием озона, что вредно для обслуживающего персонала.

Вариант решения проблемы – использование синус-фильтра (СФ). Он выполняет максимальное приближение формы выходного напряжения ПЧ к синусоиду, тем самым минимизируя значение суммарного коэффициента гармонических составляющих междуфазного напряжения  $k_U$ . Это позволяет использовать совместно с ПЧ неспециализированные, рассчитанные на сетевое питание недорогие АД.

Общий принцип расчёта параметров СФ заключается в том, что резонансная частота  $f_p$  должна быть гораздо выше частоты основной гармоники напряжения, формируемой автономным инвертором напряжения в составе ПЧ для питания АД. Одновременно  $f_p$  должна быть гораздо ниже частоты переключений инвертора или несущей частоты ШИМ  $f_{\text{ШИМ}}$  [1, 2]. Для надёжного выполнения функции сглаживания напряжения для СФ рекомендуется [3]

$$f_{\text{ШИМ}} > 2f_p. \quad (1)$$

У СФ на  $f_{\text{ШИМ}} = 2...3$  кГц производства Danfoss  $f_{\text{ШИМ}} = (3...4)f_p$  [4]. Требуется обеспечить, чтобы падение напряжения основной частоты  $f_1$  на продольной ветви СФ, не было чрезмерно большим, позволяло бы нагрузке работать в допустимом диапазоне отклонения напряжения. Рационально ограничить падение напряжения на  $f_1$  в продольной ветви СФ величиной не более 10%, а если возможно, то не более 5%.

При расчёте СФ от ёмкости конденсатор выбирается из условия компенсации всей реактивной мощности нагрузки на основной частоте  $f_1 = 50$  Гц. Для случая соединения конденсаторов по схеме «звезда» ёмкость фазы СФ

$$C = \frac{S}{3} \cdot \frac{1}{2\pi f_1 U_1^2} \sqrt{1 - (\cos \varphi)^2}, \quad (2)$$

где  $S$  – суммарная мощность нагрузки, подключённой после СФ;  $\cos \varphi$  – коэффициент мощности нагрузки;  $U_1$  – действующее значение первой гармоники напряжения на ёмкости СФ.

По  $f_p$ , выбираемой из условия (1), и  $C$ , которая здесь берётся для случая соединения конденсаторов по схеме «звезда», рассчитывается  $L$

$$L \geq \frac{1}{C} \left( \frac{1}{2\pi f_p} \right)^2. \quad (3)$$

Дальнейшие пояснения будут даны на примере конкретной технологической установки – электропривода насоса 14Д6 водонасосной станции на базе четырёхполюсного АД с номинальным линейным напряжением 6 кВ и номинальной мощностью на валу  $P_{2H} = 630$  кВт. Расчетные параметры схемы замещения АД опубликованы в [5]. При номинальном режиме работы насоса нагрузка АД составляет  $0,73P_{2H}$ . Питание АД осуществляется по двухтрансформаторной схеме (рис. 1) от ПЧ «Веспер EI-7009-1000Н», имеющего диапазон несущих частот ШИМ  $f_{\text{ШИМ}} = 1 \dots 2,5$  кГц и наибольший допустимый действующий выходной ток фазы в длительном режиме  $I_{1\text{предел}} = 1600$

А. Индуктивная ветвь СФ в каждой фазе представлена парой параллельно соединённых токоограничивающих реакторов РТСТ-820-0,0505 УЗ. Активное сопротивление одного реактора составляет  $r_L = 1,65$  мОм. В тех случаях, где не оговорено отсутствие, подразумевается наличие в схеме согласно рис. 1 в линиях питания ёмкостной части СФ демпфирующих резисторов  $r_C$  с номиналом 0,013468 Ом.

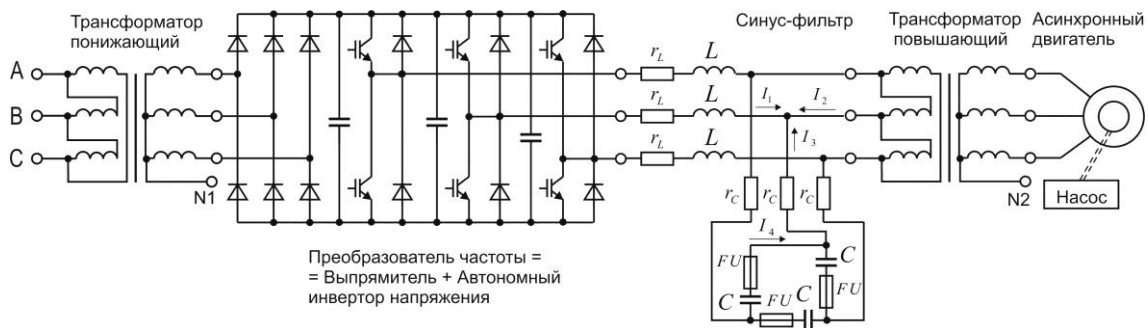


Рис. 1. Двухтрансформаторная схема питания высоковольтного АД от ПЧ

В СФ не следует использовать ёмкость большую, чем пригодная для обеспечения полной компенсации реактивной мощности нагрузки (в конкретном случае рассчитана 2564 мкФ). Нарушение этого правила ведет к неоправданному увеличению выходного тока ПЧ и тока через ёмкости СФ (рис. 2).

Конденсаторы СФ наиболее нагружены током в режиме холостого хода нагрузки (рис. 3). СФ должен обеспечивать возможность работы в длительном режиме при реальном холостом ходе нагрузки, например, АД, во всем диапазоне значений выходного напряжения и частоты ПЧ. Это весьма важно для проведения пусконаладочных работ.

При использовании ёмкостей СФ, составленных из параллельно соединённых конденсаторов с различными характеристиками, следует принимать в качестве ограничения по току наименьшее из возможных для различных конденсаторов значение удельного тока через ёмкость (рис. 2). Например, ёмкость фазы СФ получена сочетанием конденсаторов с номиналами 1000 мкФ, 200 мкФ и 160 мкФ. Каждый конденсатор защищен плавким предохранителем. Предельные действующие значения токов длительного режима составляют: 40 А для 160 мкФ, 50



А для 200 мкФ и 160 А для 1000 мкФ. Соответственно длительно допустимый удельный ток на единицу емкости составляет для младших номиналов конденсаторов 0,25 А/мкФ, для старшего номинала 0,16 А/мкФ.

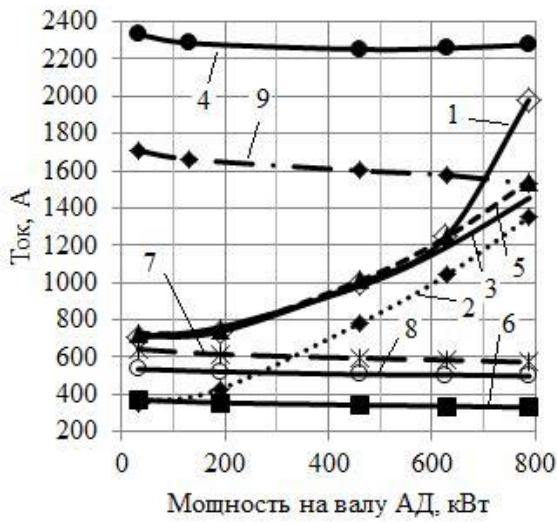


Рис. 2. Расчётные токи СФ: 1 -  $I_1 = I_2$  без емкостей при  $f_{\text{ШИМ}} = 2,5$  кГц; 2 -  $I_1$  при емкости СФ 2200 мкФ на фазу,  $f_{\text{ШИМ}} = 2,5$  кГц; 3 -  $I_1$  при 2200 мкФ,  $f_{\text{ШИМ}} = 1$  кГц; 4 -  $I_1$  при 8360 мкФ,  $f_{\text{ШИМ}} = 2,5$  кГц и отсутствии  $r_c$ ; 5 -  $I_2$  при 2200 мкФ,  $f_{\text{ШИМ}} = 2,5$  кГц (кривые  $I_2$  для остальных случаев весьма близки показанной); 6 -  $I_4$  при 2200 мкФ,  $f_{\text{ШИМ}} = 2,5$  кГц; 7 -  $I_3$  при 2200 мкФ,  $f_{\text{ШИМ}} = 2,5$  кГц; 8 -  $I_4$  при 2200 мкФ,  $f_{\text{ШИМ}} = 1$  кГц; 9 -  $I_4$  при 8360 мкФ,  $f_{\text{ШИМ}} = 2,5$  кГц и отсутствии  $r_c$

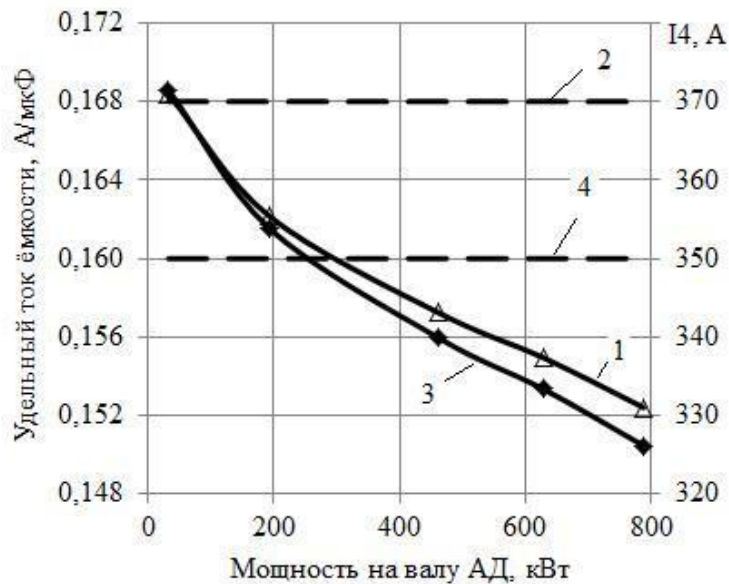


Рис. 3.  $I_4$  и удельный ток емкости в функции мощности на валу АД для случая емкости в фазе СФ 2200 мкФ,  $f_1 = 50$  Гц и  $f_{\text{ШИМ}} = 2,5$  кГц: 1 -  $I_4$ ; 2 - наибольший допустимый ток длительного режима  $I_{4\text{предел}} = 370$  А; 3 - действующий удельный ток емкости в длительном режиме; 4 - наибольший допустимый действующий удельный ток емкости в длительном режиме равный 0,16 А/мкФ

Таким образом, если подключим на фазу СФ 2200 мкФ, то по сумме токов через предохранители длительно допустимо 370 А на фазу, и следовало бы на этом основании по рис. 3 ожидать, что при  $f_1 = 50$  Гц,  $f_{\text{ШИМ}} = 2,5$  кГц и нагрузке на валу АД более  $0,05P_{2н}$  конденсаторы по току в длительном режиме работы перегружены не будут. Но ток через параллельно соединенные конденсаторы распределяется прямо пропорционально их емкостям.

Отсюда следует, что оценивать допустимость загрузки конденсаторов током при наличии параллельно подключенных старших и младших номиналов следует по величине  $0,16 \text{ A/мкФ}$ . Из рис. 3 видно, что лишь при мощности на валу АД свыше  $0,4P_{2H}$  имеем допустимую загрузку конденсаторов током в длительном режиме.

При использовании емкостей СФ, составленных из определённого набора параллельно соединенных конденсаторов с различными номиналами, следует предусматривать возможность использования у потребителя разных сочетаний номиналов конденсаторов, позволяющих производить настройку ёмкости СФ под конкретные условия эксплуатации. Следует предусматривать возможность эксплуатации СФ как без, так и с демпфирующими резисторами в емкостной части.

Метод расчета действующего значения тока через емкость СФ должен обеспечивать корректный учет вклада широкого спектра высших временных гармоник. Целесообразно для расчета действующего значения тока через емкость проводить компьютерное моделирование установившихся режимов работы привода, а для выявления максимальных мгновенных величин тока – динамических режимов.

Снижать удельный ток через емкость СФ за счет увеличения сопротивления демпфирующих резисторов нецелесообразно.

Целесообразно, во всяком случае для частоты основной гармоники выходного напряжения ПЧ  $f_1 = 50 \text{ Гц}$ , предъявлять требование соответствия выходного напряжения после СФ по  $k_U$  сетевому напряжению (не более 12% согласно [6]).

#### Список литературы:

1. A. Muetze. Bearing Currents in Inverter-Fed AC-Motors. Elektrotechnik und Informationstechnik der Technischen Universitaet Darmstadt zur Erlangung des akademischen Grades einer Doktor-Ingenieurin (Dr.-Ing.) genehmigte Dissertation. Darmstaedter Dissertation. 2004. 252 p. URL: <http://www.ew.tu-darmstadt.de/media/ew/dissertationen/dissannette.pdf> (дата обращения: 29.09.13).
2. Kascak, S. Design and analysis for two-stage converter system with AC interlink and sinusoidal output / S. Kascak, T. Kapusta // Conference proceedings. XI Worcshop of all branches of electrical engineering, biomedical engineering and applied computer science. XLIV Sesit katedry elektrotechniky / Technical University of Ostrava, Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, Department of Electrical Engineering, Ostrava, 2011.
3. Пустоветов М.Ю. О параметрах фильтров для частотно-регулируемого электропривода с асинхронными двигателями // Электричество, 2013. - №5 – С. 41 – 44.
4. URL: [www.danfoss.com/NR/rdonlyres/27F81E1-3779-4406-8EA0-849044873F59/0/Output\\_Filters\\_Design\\_Guide.pdf](http://www.danfoss.com/NR/rdonlyres/27F81E1-3779-4406-8EA0-849044873F59/0/Output_Filters_Design_Guide.pdf) (дата обращения: 28.08.2013).
5. Пустоветов М.Ю., Солтус К.П., Синявский И.В. Компьютерное моделирование асинхронных двигателей и трансформаторов. Примеры взаимодействия с силовыми электронными преобразователями/ – Saarbrucken, Германия: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013. – 209 с.
6. ГОСТ Р 54149-2010. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Стандартинформ, 2012.

#### Исследование эффективности рекуперации гибридной силовой установки

*Раков В.А.*

*Вологодский государственный технический университет, Россия, г. Вологда.*

[vyacheslav.rakov@mail.ru](mailto:vyacheslav.rakov@mail.ru)

Проведение исследований гибридных силовых установок (ГСУ) автомобилей сопряжено с необходимостью проведения их испытания в условиях исследовательской лаборатории. Для этих целей специалисты Вологодского государственного технического университета изготовлена лабораторную макетную ГСУ.

Основными компонентами ГСУ являются: ДВС; тяговый асинхронный электромотор-генератор (МГ1); синхронный генератор (Г1), частотный преобразователь для управления электромотором (ЧП); устройство распределения мощности (УРМ), узел нагрузки (УН); высоковольтная батарея (ВВБ). На рис. 1 представлена кинематическая схема привода [1].

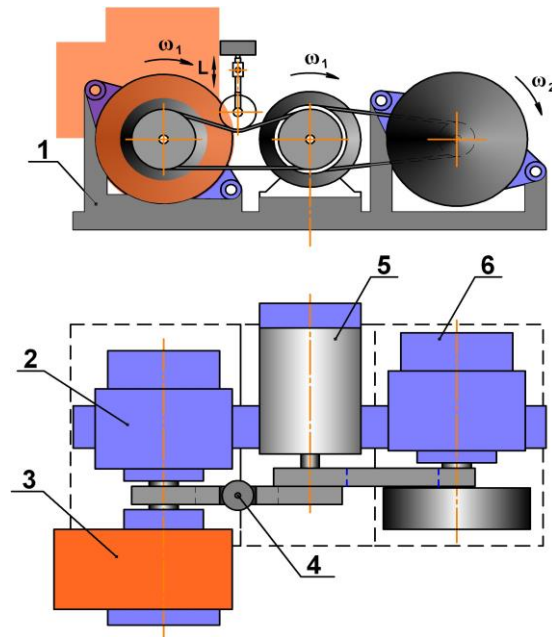


Рис. 1. Кинематическая схема привода. 1 – рама; 2 – генератор (Г1); 3 – ДВС; 4 – устройство распределения мощности; 5 – МГ1; 6 – узел нагрузки (УН)

Экспериментальная установка и способы исследования позволяют проводить исследовательскую работу по изучению и оптимизации процессов рекуперации. Процесс рекуперации позволяет возвращать часть кинетической энергии движения автомобиля, тем самым повысить энергетическую эффективность привода. Теоретическое обоснование влияния рекуперации на энергетический КПД описано в научной литературе [2].

В экспериментальной ГСУ применяются сверхвысокоёмкие конденсаторные накопители 200ПП-28/026, со следующими техническими характеристиками:

Номинальное напряжение – 200 В

Электрическая ёмкость – 1,4 Ф

Запасаемая электрическая энергия при номинальном напряжении – 28 кДж

Количество используемых конденсаторов – 2 шт. (последовательное соединение).

Энергия в конденсаторе рассчитывается по формуле

$$W = \frac{C \times U^2}{2}, \text{ Дж} \quad (1)$$

где  $C$  - электрическая ёмкость, Ф,  $U$  – напряжение на клеммах конденсатора, В.

Энергия последовательно соединённых конденсаторов в начале разряда равна

$$W_1 = \frac{C/n \cdot (U_{max}n)^2}{2000}, \text{ кДж} \quad (2)$$

где  $n$  – количество последовательно соединённых конденсаторов, шт.

Энергия конденсаторов в конце разряда

$$W_2 = \frac{C/n \cdot (U_{min}n)^2}{2000}, \text{ кДж} \quad (3)$$

энергия, отданная конденсаторами за время разряда равна

$$W = W_1 - W_2, \text{ кДж} \quad (4)$$

Разгон осуществляется до момента достижения скорости вала электромотора - 3000 об/мин.

Торможение осуществляется с начальной скорости вала электромотора - 3000 об/мин, до момента завершения рекуперации.

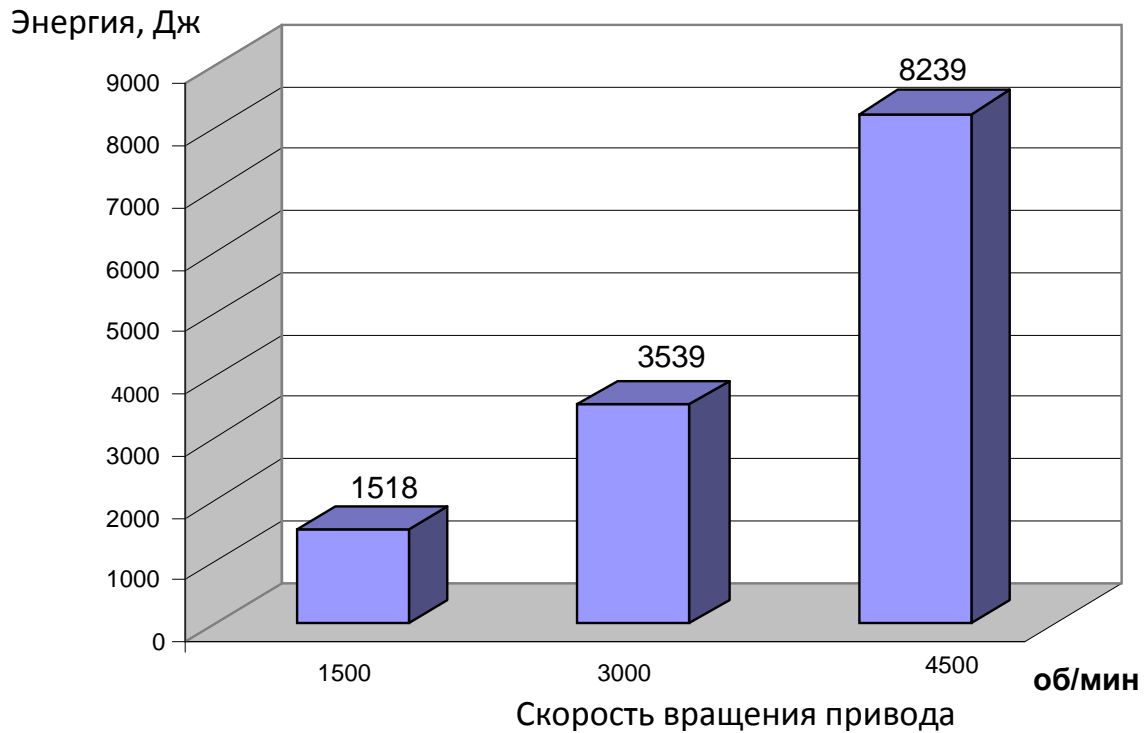


Рис. 2. Гистограмма энергозатрат при разгоне привода

Результаты исследования эффективности рекуперации при торможении привода представлены в табл. 1

Таблица 1. Исследование эффективности рекуперации энергии при торможении привода

№ п/п	Разгон				Торможение				Кр	
	Uн, В	Uк, В	Разница напряжений, В	Заграченная энергия, Дж	Uн, В	Uк, В	Разница напряжений, В	Возвращённая энергия, Дж		
1	325	308,3	16,7	4230	309	313,5	4,5	1121	0,26	
2	323	306,1	16,9	4253	307	311,5	4,5	1113	0,26	
3	313	295,7	17,3	4212	295	299,5	4,5	1070	0,25	
4	309	292	17	4087	291	295,1	4,1	961	0,24	
5	295	279,7	15,3	3517	279	283	4	899	0,26	
6	284	268,2	15,8	3490	268	271,9	3,9	842	0,24	
7	271	255,6	15,4	3244	255	259	4	822	0,25	
8	258	241	17	3393	241	244,8	3,8	738	0,22	
9	245	229,6	15,4	2924	229	233	4	739	0,25	
10	234	217	17	3067	218	222,2	4,2	740	0,24	
11	231	214,6	16,4	2923	214	217,8	3,8	656	0,22	
12	225	209,4	15,6	2711	209	212,7	3,7	624	0,23	
13	206	190,1	15,9	2519	190	194,2	4,2	645	0,26	
Среднее значение:				3281	Среднее значение:				794	0,24
					Разброс, %				4,72	

Прирост напряжения на конденсаторном накопителе объясняется возвратом кинетической энергии вращающихся масс, соединенных с асинхронной машиной в накопитель.

Величину рекуперации привода может быть интерпретирована по-разному.

Первое. Отношение энергии, полученной при торможении привода до остановки с постоянной скорости  $\omega$  к энергии, затраченной на разгон привода из состояния покоя до скорости  $\omega$ .

Второе. Количество кинетической энергии движущегося привода, преобразованное при торможении до остановки в электрическую энергию и запасённое в накопителе энергии.

Для сопоставления энергозатрат проведена серия экспериментов, в которых измерено количество энергии  $W_{P100}$  (табл. 2), затраченной на разгон привода до 3000 об/мин (100 Гц) и количество энергии возвращённой в накопитель энергии при торможении с этой же скорости до остановки  $W_{T100}$ .

Коэффициент возвращённой (рекуперированной энергии) для первого случая:

$$K_{P1} = \frac{W_{T100}}{W_{P100}} = \frac{794}{3281} = 0,242 \quad (3.10)$$

Таким образом, в накопитель может быть возвращено в среднем 24,2% затраченной на разгон энергии.

Во втором случае для вычисления эффективности рекуперации должна быть известна кинетическая энергия движущегося привода.

Вычислить энергию движущегося привода можно определив величину потерь энергии в процессе разгона или вычислить энергию вращающихся масс привода при разгоне. Для определения величины потерь привода при разгоне записана характеристика потерь. Измерения производятся с помощью записывающей системы L-Card.

Таблица 2. Потери энергии в приводе, при разгоне до 100 Гц за 7,1 сек.

Частота, Гц	I, А	U, В	P=IU, Вт	Время, с	W, Дж
10	1,20	45,8	54,96	0,5	27
20	1,15	85,1	97,87	1	49
30	1,12	123,6	138,43	1,5	69
40	1,12	162,4	181,89	2,1	109
50	1,12	201	225,12	2,7	135
60	0,94	201	188,94	3,4	132
70	0,82	201	164,82	4,2	132
80	0,74	200	148,00	5,1	133
90	0,7	202	141,40	6	127
100	0,66	202	133,32	7,1	147
Общая:					1061

Общие потери в приводе на разгоне  $W_{\Pi}$ , составляют 1061 Дж.

Кинетическая энергия при движении с частотой 100 Гц (3000 об./мин) будет равна

$$W_K = W_{T100} - W_{\Pi} \quad (6)$$

Эффективность рекуперации, при этом может быть рассчитана по формуле

$$K_{P2} = \frac{W_{T100}}{W_{P100} - W_{\Pi}} = \frac{794}{3281 - 1061} = 0,357 \quad (7)$$

Общие выводы по испытанию.

Эффективность рекуперации кинетической энергии движения привода составила 35,7%, в сравнении с реальными эксплуатационными показателями данная величина является достаточно высокой, как правило, в асинхронных тяговых приводах величина рекуперации составляет 15-35%.

#### Список литературы:

1. Раков, В.А. Методика оценки технического состояния гибридных силовых установок автомобилей: дис. ... канд. техн. наук / В.А. Раков. – СПб.: СПбГАСУ, 2012. - 169 с.
2. Раков, В.А. Исследование и испытание гибридных двигателей транспортных средств / В.А. Раков, А.В. Смирнов, Д.А. Колесниченко // Молодёжь. Наука. Инновации: Труды I международной научно-практической интернет-конференции. - Пенза: Пензенский филиал РГУИТ, 2010. – С. 246-257.

**Анализ дефектов силовых маслонаполненных трансформаторов ОАО «Татнефть» по результатам тепловизионного контроля**

*Редькина Е.Н., Ваньков Ю.В.*

*Казанский государственный энергетический университет, Россия, г. Казань  
[katya5635@mail.ru](mailto:katya5635@mail.ru)*

Сегодня, когда в условиях стареющего парка электрооборудования особое значение приобретает вопрос качественной диагностики его состояния, особо актуально использование современных методов и средств диагностирования.

Неразрушающий контроль обеспечивает контроль состояния электрооборудования без вывода его из работы, позволяет выявлять и определять местоположение дефектов на ранней стадии развития, сокращать затраты на техническое обслуживание и ремонты. [1]

Инфракрасный метод как неразрушающее и высокоэффективное средство диагностики является составной частью общей системы технического эксплуатационного контроля электрооборудования.

Тепловизионное обследование – высокоэффективный способ диагностики электрооборудования, имеющий ряд преимуществ по сравнению с другими методами неразрушающего контроля, таких как: [2]

- обследование производится дистанционно (без снятия напряжения);
- возможность объективного документирования обнаруженных дефектов;
- классификация дефектов по степени их опасности. [3]

Инфракрасная диагностика позволяет на рабочем напряжении выявлять скрытые дефекты в активной части трансформаторов.

Проведение предремонтного обследования позволяет уточнить объем ремонтных работ или проводить ремонт по состоянию, прогнозировать сроки и объем ремонтных работ.

Применение тепловизионной диагностики основывается на том, что вследствие изменения температуры элементов изменяется интенсивность инфракрасного излучения, которое регистрируется тепловизионными приборами. Тепловизионный контроль предполагает сравнение изображения теплового поля проверяемого модуля с эталонным изображением этого же модуля. Нормально функционирующие элементы имеют определенную температуру. Элементы же, имеющие скрытые дефекты, отличаются по температуре, и, даже если они в данный момент работают нормально, со временем выход их из строя наиболее вероятен. [1]

Самым дорогостоящим оборудованием на любой подстанции являются силовые трансформаторы. В связи с этим в последнее время получили широкое распространение методы диагностики, направленные на контроль эксплуатационного состояния силовых трансформаторов без их отключения. [1]

Контроль состояния оборудования с использованием инфракрасной техники, тепловизоров – это хороший способ экономии денежных средств, выделяемых на регламентные, профилактические и ремонтные работы, и повышения надежности и долговечности оборудования. [1]

С помощью тепловизионной техники в силовых трансформаторах возможно выявить следующие дефекты:

- неисправности контактной системы некоторых исполнений регулирования под напряжением (РПН);
- возникновение магнитных полей рассеяния в трансформаторе за счет нарушения изоляции отдельных элементов магнитопровода (консоли, шпильки и т.п.);
- нарушение в работе охлаждающих систем (маслонасосы, фильтры, вентиляторы и т.п.);
- изменение внутренней циркуляции масла в баке трансформатора (образование застойных зон) в результате шламообразования, конструктивных просчетов, разбухания или смещения изоляции обмоток (особенно у трансформаторов с большим сроком службы);
- нагревы внутренних контактных соединений обмоток низкого напряжения (НН) с выводами трансформатора;
- обрывы шинок заземления;
- нагревы на аппаратных зажимах высоковольтных вводов;
- неисправность обогрева приводов РПН и т.п. [1]

ОАО «Татнефть» проводит работы по тепловизионному обследованию со второй половины 2009 года. Ежемесячно на предприятиях ОАО «Татнефть» обследуется в среднем 20-25 ЭЭЦ.

В результате контроля в трансформаторах некоторых обследуемых ЭЭЦ было отмечено отсутствие циркуляции масла в радиаторах. Так, например, в 2012 году было проведено 434 обследования трансформаторов, и в 138 случаях из них был зарегистрирован данный дефект.

На графике представлено изменение доли дефектов в количестве проводимых обследований за 2010-2012 года.

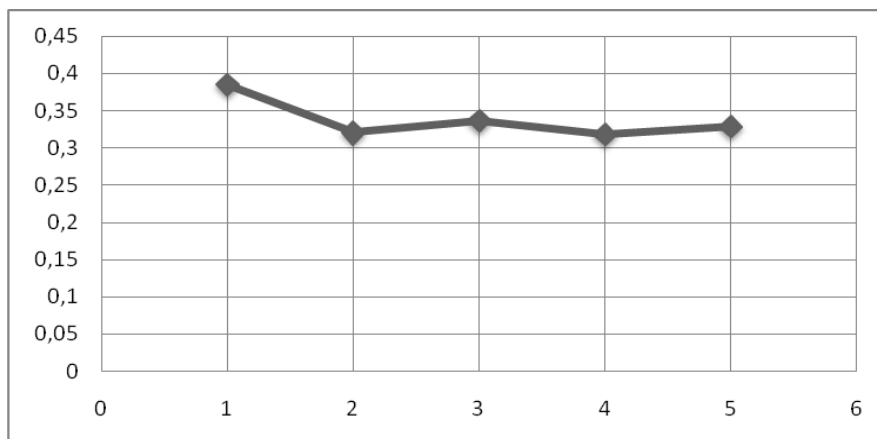


Рис. 1. Изменение доли дефектов за 2009-2013г.

Как видно из графика, доля обнаруженных дефектов снижается. Это говорит об эффективности проведения тепловизионной диагностики трансформаторов на рассматриваемых объектах.

#### Список литературы:

1. Михеев Г.М. Тепловизионный контроль высоковольтного электрооборудования: Учеб. пособие. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. Ун-та, 2004. – 180 с.
2. Бажанов С.А. Тепловизионный контроль маслонаполненных измерительных трансформаторов // Энергетик. – 2005. – №12. – С. 17-20.
3. Лесин Н.М. Термографическое обследование электрооборудования в Белорусской энергосистеме // Энергетик. – 2005. – № 7. – С. 39-40.

#### Повышение энергоэффективности электромагнитных двигателей с зубчатой системой магнитопровода

*Рогова О.В.*

*Новосибирский государственный технический университет, Россия, г. Новосибирск  
[olga\\_ryu@mail.ru](mailto:olga_ryu@mail.ru)*

В связи с внедрением новых стандартов, направленных на уменьшение энергопотребления бытовой и специализированной техники, и вступления России в ВТО наиболее остро встает вопрос об эффективности энергопотребления различного технологического оборудования. В частности, предлагается замена двигателей вращательного принципа действия в маломощном бытовом компрессорном оборудовании на линейные электромагнитные двигатели с шихтованными элементами магнитопровода и якоря. Данный тип двигателей обладает рядом преимуществ по сравнению с двигателями вращательного принципа действия, при их использовании происходит: снижение энергозатрат и материалоемкости оборудования за счет исключения передаточных механизмов, повышение ремонтпригодности и износостойкости конструкции в целом, уменьшение уровня шума и вибраций, появляется возможность регулирования частоты хода рабочего органа без применения сложных схем управления.

Подтверждением этого является разработка линейных электромагнитных двигателей для компрессорного оборудования такими ведущими производителями, как LG Electronics (Ю.Корея), Matsushita (Япония), Electrolux (Швеция), Embaco (Бразилия), а всего более 60 исследователей. Компания LG в 2001 году первой вывела на рынок готовые линейные компрессоры. К 2015 году компания LG намерена увеличить объемы использования линейных компрессоров до 50 % [1].

Целью данной работы является анализ влияния количества пар зубцов на тяговые характеристики энергоэффективных электромагнитных двигателей с зубчатым якорем.

В качестве объекта исследования были выбраны конструктивные варианты электромагнитных двигателей с цилиндрическим зубчатым якорем, удовлетворяющие

следующим геометрическим соотношениями:  $b_z/\tau = 0,4$ ;  $b_z/h_z = 1,0$ ;  $b_n/\tau = 0,6$ ;  $\Delta/\tau = 0,025$ ; где  $h_z$  - высота зубца;  $b_z$ ,  $b_n$  - соответственно ширина зубца и паза зубцового деления  $\tau$ ;  $\Delta$  - технологический зазор (рис.2). Количество пар зубцов варьировалось в зависимости от конструктивного исполнения от 4 до 10.

Конструктивные варианты схем в зависимости от количества пар зубцов представлены на рис.1.

Для каждого варианта конструктивной схемы рассчитывалась статическая тяговая характеристика при значениях тока  $I = 2A$  и намагничивающей силы катушки  $F = 500A$ . Результаты исследований получены с помощью конечно-элементного моделирования в программном пакете FEMM [2].

На рис. 2 представлены статические тяговые характеристики для магнитных систем с радиусом якоря 40 мм и с различным количеством пар зубцов. Обозначение кривой соответствует конструктивному варианту двигателя, отображенному на рис. 1. Начальному положению магнитных систем соответствует положение зубцов, представленное на рис. 2, а конечному – на рис. 1.

В представленных конструктивных схемах достигается симметрирование магнитной системы за счет того, что зубцовые элементы 4, 5 на якоре 3 и ответные зубцовые элементы 6, 7 на полюсах статора 1 выполнены по симметричной, по отношению к катушке 2, двухсторонней схеме [3]. Двигатель работает на поперечном магнитном поле.

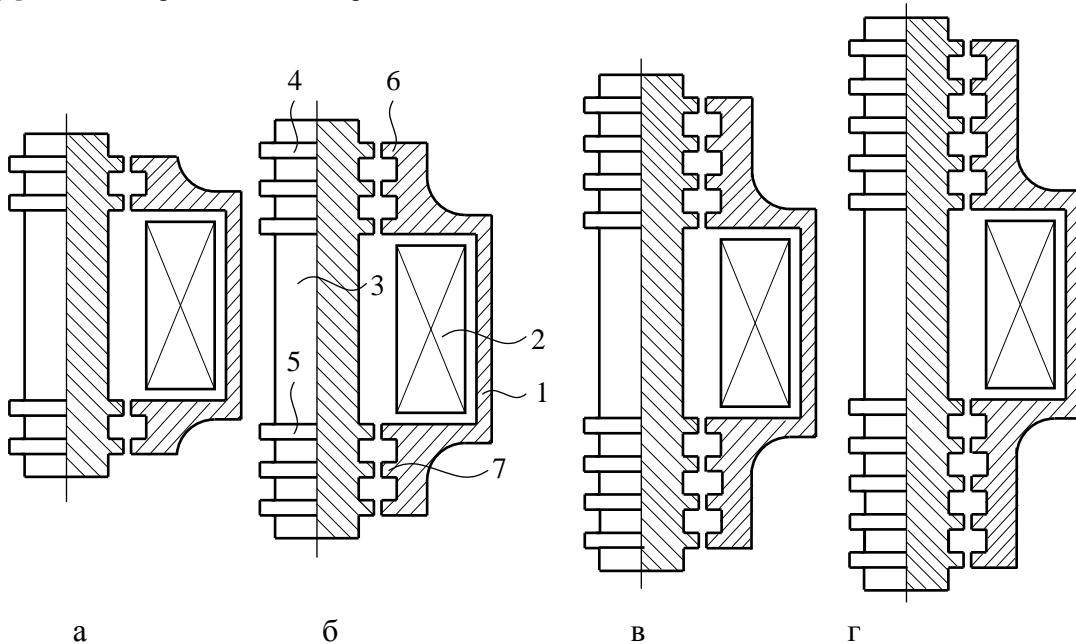


Рис 1. Варианты конструктивных схем двигателей

При анализе тяговых характеристик проводилось сравнение относительных амплитудных значений тяговых характеристик представленных конструктивных схем (рис. 4) и их относительной работоспособности (рис. 5).

Под относительными амплитудными значениями тяговых характеристик подразумевалось отношение амплитудного значения тяговой характеристики  $F_{max}$  к объему магнитной системы  $V$ . Под относительными значениями работоспособности понималось отношение интегральной работы  $A_{int}$  к объему магнитной системы  $V$ . При этом за 100 % принимались значения конструктивной схемы двигателя г.



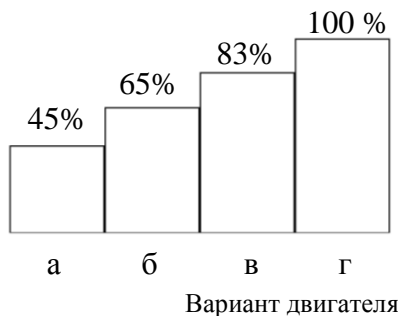
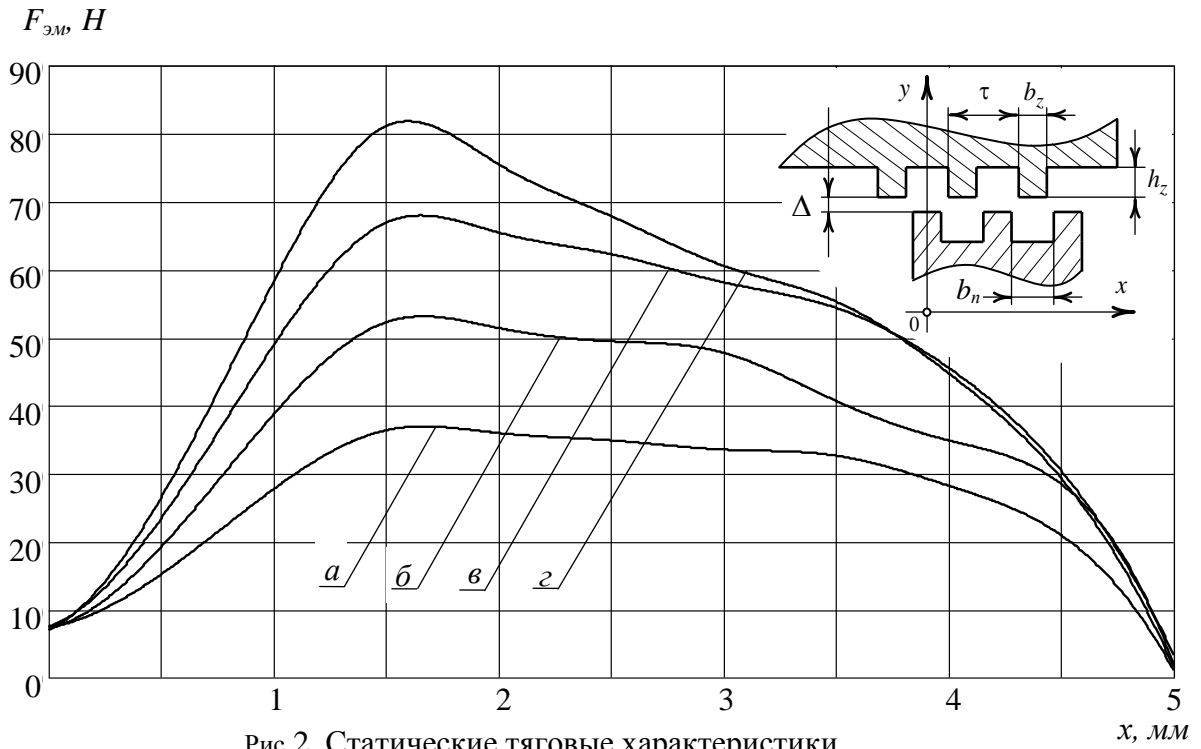


Рис. 3. Относительные значения максимального усилия

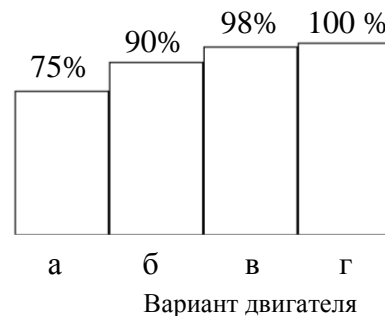


Рис. 4. Относительные значения работоспособности

По результатам проведенного исследования сделаны следующие выводы:

- наиболее высокими тяговыми характеристиками обладают конструктивные схемы двигателей в и г;
- при увеличении числа пар зубцов в электромагнитных двигателях с цилиндрической формой якоря рост относительных амплитудных значений тяговых характеристик происходит быстрее, чем относительных значений работоспособности;
- конструктивный вариант двигателя г превосходит вариант а в 2,23 раза, а вариант б в 1,55 раза, а эта разница в тяговом усилии между конструктивными вариантами г и в составляет 1,21 раза;
- наиболее выгодным с точки зрения затрат материалов и получения оптимальных тяговых характеристик является выполнение электромагнитных двигателей с 6-8 парами зубцов на цилиндрическом якоре;
- выполнение элементов магнитопровода и якоря шихтованными позволяет добиться снижения потерь на вихревые токи и предотвратить соударение рабочего органа и его заклинивания в процессе работы.

Использование линейных электромагнитных двигателей приводит к минимизации потерь энергии и снижению её потребления до 30 %. Это делает бытовую технику, оборудованную линейными электромагнитными двигателями, одной из наиболее энергоэффективных в своем

классе. Поэтому внедрение подобных электромагнитных двигателей, с возможностью регулирования частоты хода рабочего органа без применения сложных систем управления, стимулирует возможность получения экономии электроэнергии при эксплуатации бытового компрессорного оборудования.

#### Список литературы:

1. Рогова О. В., Бурш Е.Н. Анализ целесообразности применения линейных электромагнитных компрессоров в холодильном оборудовании в целях снижения энергозатрат // Энергоэффективность: матер. Междунар. науч.-практ. конф. - Омск: Изд-во ОмГТУ, 2010. - С. 124-128.
2. Буль О.Б. Методы расчета магнитных систем электрических аппаратов. Магнитные цепи, поля и программа FEMM. – М.:Изд. центр «Академия», 2005. – 336 с.
3. Нейман Л. А., Рогова О. В. К исследованию тяговых характеристик электромагнитных приводов с учетом зубчатости элементов магнитопровода// Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации. - 2013. - № 1. - С. 100-108.

#### Вопросы, связанные с подготовкой востребованного специалиста в условиях конкуренции

*Родин М.А., Юрченко Е.Ю.*

*Южно – Уральский государственный университет (НИУ), Россия, г. Челябинск  
[misha\\_rodin@mail.ru](mailto:misha_rodin@mail.ru)*

Наша энергетика сейчас находится в очень интересной эпохе научно-технического развития, где постоянно происходят глобальные изменения всех направлений данной отрасли народного хозяйства. Каждый день происходят внеочередные открытия и разработки, которые меняют представления всех умов о том, каким же именно должен быть тот вектор развития энергетике России, в какую именно сторону он направлен, и к каким изменениям приведет?!

Всё это приводит к тому, что на сегодняшний день наша страна нуждается в высококвалифицированных специалистах, которые будут способны решать все спорные вопросы энергетической отрасли. На сегодняшний день на рынке рабочих специальностей (в энергетической отрасли) идёт борьба между организациями, т.к. каждое предприятие хочет зачислить в свой штат уже готовых и опытных специалистов. Получается, что выпускники учебных заведений, получив диплом, начинают испытывать трудности при трудоустройстве. Ведь для работодателя каждый сотрудник – это своего рода «коммерческий проект», который требует существенных финансовых вложений в подготовку и переподготовку, повышение квалификации, стажировку, инструктирование и проверку знаний. Не все организации готовы взять на работу выпускника, который ещё не имеет стаж работы, не имеет группы допуска по электробезопасности и других документов, допускающих его к работе в занимаемой должности. Очень мало предприятий, готовых от начала и до конца подготовить молодого специалиста, обеспечить его дальнейший карьерный рост, а не какое-то «вечное зависание» на первой ступени профессионального развития. Поэтому проблема, связанная с подготовкой востребованных специалистов является одной и самых главных на сегодняшний день. Если не обратить внимание на её решение, то в энергетической отрасли наступит дефицит кадров.

К сожалению, не все выпускники, получившие техническое образование, в данном случае в энергетической сфере, устраиваются по специальности. Некоторые устраиваются с дипломом, но на протяжении продолжительного промежутка времени начинают, как говорится, «метаться из стороны в сторону», т.к. не могут точно решить для себя, куда же им пойти работать, в электромонтажную или в проектную организацию, или, быть может, вообще в энергоаудит?! Некоторые выпускники наоборот, понимают, что зря потратили драгоценные 5 лет обучения в университете, т.к. после нескольких месяцев работы в организации понимают, что реальное положение дел не соответствует их ожиданиям. Кого-то наоборот, расстраивает вопрос карьерного роста и финансовая сторона: «А почему меня после окончания ВУЗа не назначили сразу на должность инженера?» или «А почему у меня такая невысокая заработная плата?». Некоторые студенты так и не доучиваются по специальности, прерывая учебный процесс, некоторые бесконечно долго берут «академ» и т.д. и т.п. К сожалению, эта проблема очень актуальна на сегодняшний день. Здесь сразу возникает огромное количество вопросов, что, где и почему происходит именно так. Сегодня мы имеем огромное количество менеджеров, экономистов и юристов, а вот именно «технари», в которых так нуждаются предприятия, работают не по специальности. Попробуем разобраться в данном вопросе.

Если мы будем рассматривать конкретно студентов высших учебных заведений ВПО, которые обучаются на энергетическом факультете, то перед ними в дальнейшем открывается целый перечень всевозможных вариантов рабочих мест. Ниже представлены варианты возможных направлений трудовой деятельности:

- Электромонтажная организация;
- Служба релейной защиты и автоматики (РЗА);
- Проектирование;
- Энергосбытовая компания;
- Оперативно-диспетчерское управление (ОДУ);
- Энергоаудит;
- Производство энергетического оборудования.

Этими наименованиями список не ограничивается. Поэтому некоторые выпускники вузов не могут сразу однозначно сказать и решить, где именно они хотели бы работать. Дальше уже происходит такое явление, молодой специалист поработал в одном направлении, например сначала выбрал электромонтаж, потом через некоторое время он понимает, что данная специальность ему не по нраву и меняет место работы. Самое интересное это то, сколько же в общем времени, месяцев, а может быть и лет тратит молодой специалист, чтобы точно определиться с выбранным направлением.

А время то идёт!!! И никто не сможет точно сказать и определить, где будет лучше работать тому или другому студенту. Как правило, главная задача любого отдела практики и трудоустройства это то, чтобы все выпускники были распределены по рабочим местам, а дальнейший выбор и принятие решения полностью лежит на плечах студентов. Так может быть можно как-то разрешить этот вопрос, или этот вечный «поиск себя» будет продолжаться вечно?!

Безусловно, решение данного вопроса существует. Для того, чтобы конкретно определиться с тем, какой род деятельности индивидуально подходит для каждого студента, нам необходимо обратиться к многофакторному анализу личностных особенностей человека:

- Определить его темперамент;
- Дать оценку его индивидуально – психологических особенностей;
- Узнать его личные предпочтения и интересы;
- Проверить кандидата на соответствие требованиям профессиограммы;
- Закрепление выбора студента прохождением практики на предприятии именно по выбранному им направлению.

На первый взгляд может показаться, что здесь мало общего между гуманитарной психологией и профессией энергетика, но это не совсем так.

Ещё в древности Гиппократ выделил четыре типа темперамента – индивидуальных вариаций психики (Рис.1.), которые определяют динамические характеристики интенсивности и скорости реагирования, степени эмоциональной возбудимости и уравновешенности, особенности приспособления к окружающей среде. При этом хочется отметить, что нет плохих и хороших темпераментов, есть правильный выбор сферы деятельности, ведущий к большим успехам[1].

Поэтому темперамент играет очень важную роль при выборе сферы деятельности. Например, для людей, занимающихся вопросами электромонтажа наиболее подходящими являются такие типы темперамента, как сангвиник и флегматик. Если рассматривать уже оперативно–диспетчерское управление, то здесь флегматику будет сложно адаптироваться на рабочем месте, т.к в нештатной ситуации он не сможет быстро отреагировать на быстро изменяющиеся события. Для остальных направлений, не связанных с работой под напряжением и не требующий быструю скорость реакции подойдут любые типы темперамента. Для определения психотипа человека разработано множество тестов. Один из них – тест Айзенка на определение типов темперамента, экстраверсии, интроверсии и нейротизма. Существует два варианта данного опросника, с дополнительной «шкалой лжи», что позволяет проводить повторное исследование после тех или иных экспериментальных процедур, исключив возможность запоминания ранее данных ответов и получения более объективных результатов.

После того, как были определен темперамент, перейдём к вопросу оценки индивидуально – психологических особенностей личности.

В стенах нашего университета был проведен опрос студентов третьего курса энергетического факультета (специальность «Электроснабжение» - 140211) для оценки их индивидуально–психологических особенностей.

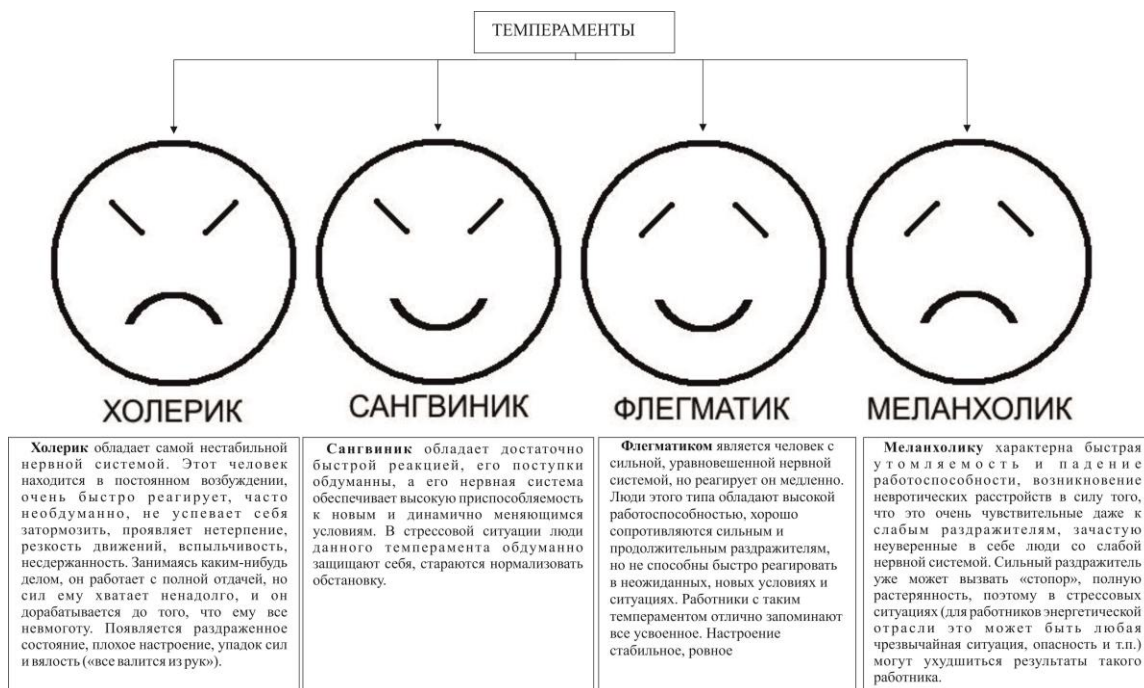


Рис.1. Четыре разновидности темперамента.

В нашем исследовании данная оценка личности была получена с помощью опросника Р.Б. Кеттелла. Существующий тест очень сложно обмануть, т.к он содержит в себе «шкалу лжи». В результате исключается возможность запоминания ранее данных ответов. После обработки результатов мы получаем определённые характеристики каждого из 16 – ти факторов личности.

По результатам опросника была построена диаграмма, в которой идёт разделение на «положительные» и «отрицательные» качества (Рис.2.). Данное дифференцирование признаков было произведено на основе тех требований, которые предъявляются к профессии энергетика. Процентное соотношение различных столбцов помогает определиться, у какой части опрошенных ярко(или слабо) выражен тот или иной фактор. Например, по фактору общительность можно смело заявить, что 92% опрошенных студентов внимательные, более гибкие в общении с людьми.

Проанализировав полученную диаграмму, можно сделать вывод о том, что большинство студентов 3-го курса ещё не сталкивалось с практической стороной большинства вопросов, что отражает низкое значение уровня практичности (29%), очень радует достаточно высокий уровень их гибкого мышления, это также проявляется в высокой способности к восприятию обучающимися нового материала.

Необходимые студентам признаки носят основной характер, а также являются неким «психологическим скелетом будущего работника». Такое анкетирование поможет студентам определиться с выбором места работы. Оценка их индивидуально–психологических особенностей позволяет четко определиться, кому стоит идти работать в монтажную организацию и заниматься непосредственно ремонтом и заменой электрооборудования, находясь под напряжением. Некоторые выпускники, наоборот, найдут своё место в проектных организациях, где смогут успешно проявить себя в проектировании. Кто-то найдёт себя в энергоаудите, успешно работая с людьми. У них есть все шансы, чтобы проявить себя[2].

Возможно внедрение новой специальной методики, которая будет включать в себя мониторинг всех обучающихся, а также дальнейшую работу с ними в плане корректировки выявленных признаков дезадаптации индивидуально-психологических особенностей личности. Также будет проводиться специальный курс психологической подготовки студентов. Имея информацию о том, где в дальнейшем хочет работать студент, можно намного быстрее сформировать индивидуальную работу с ним, корректирую диаграмму его индивидуальных особенностей. Итогом такой работы будет не только четкое формирование у выпускников чёткого понятия о будущем месте работы, но и практическая и психологическая подготовленность к дальнейшей трудовой деятельности. Ну и самое главное то, чтобы каждый из нас занимался любимым делом, чтобы приходил на работу с улыбкой, и уходил от туда таким же. Наши

индивидуально–психологические особенности должны влиять на наш выбор места работы, а не только размер заработной платы.

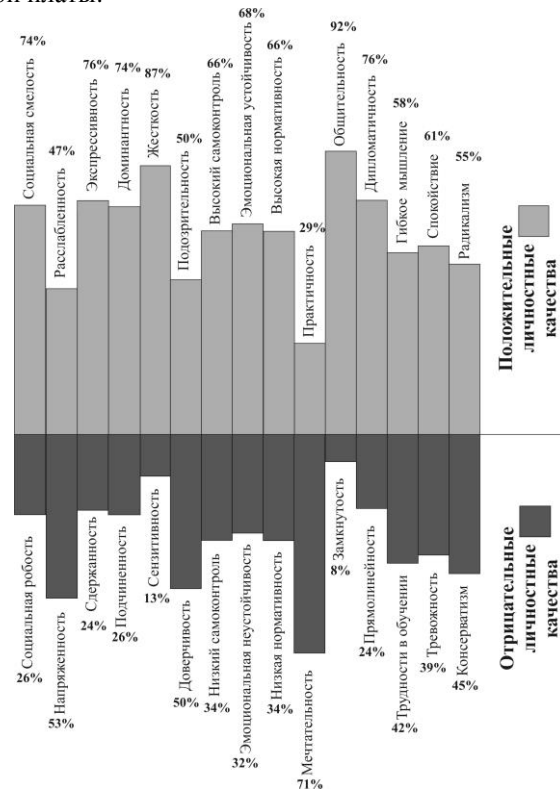


Рис.2. Диаграмма индивидуально–психологических особенностей студентов.

#### Список литературы:

1. Родин М.А, Юрченко Е.Ю. Проблема «личность и труд» в современном обществе // Сборник трудов 19-й международной научно-практической конференции «Современные техника и технологии»; Том 3; Томск, 2013. С.479-480.
2. Родин М.А, Юрченко Е.Ю. Проблема дезадаптации персонала на рабочем месте // Сборник трудов 4-й международной научно-технической конференции «Электроэнергетика глазами молодежи»; Том 2; Новочеркасск, Лик, 2013. С.439-442. Подписано в печать 28.09.2013 г. Тираж 300 экз. Заказ 47-3064.

#### Нейросетевое моделирование для промышленных предприятий при решении задачи прогнозирования

*Родыгина С.В., Родыгин А.В.*

*Новосибирский государственный технический университет, Россия, г. Новосибирск*

Современное развитие вычислительной техники и прикладной математики позволяет по-новому ставить вопросы совершенствования оперативного управления режимами региональных электроэнергетических систем (ЭЭС). Поэтому одним из перспективных представляется решение этих вопросов на базе технологий искусственного интеллекта.

Реализация интеллектуального управления основана на новых информационных технологиях, включая методы искусственных нейронных сетей (ИНС) как одних из наиболее совершенных для обработки информации и принятия решений.

Нейронные сети позволяют воспроизводить чрезвычайно сложные зависимости, которые сопутствуют плохо формализованным задачам. Таким образом, там, где линейная аппроксимация неудовлетворительна и линейные модели работают плохо, основным инструментом становятся нейросетевые методы. А также предпочтение их традиционным моделям обусловлено тем, что не требуется построения модели объекта, не теряется работоспособность при неполной входной информации.

При решении задачи прогнозирования возникают проблемы связанные с неперiodическими процессами, которые относительно быстро изменяются во времени. Обычно ИНС настраиваются или обучаются так, чтобы конкретные входы преобразовались в заданный целевой выход. Сеть настраивается, основываясь на сравнении сигналов выхода и цели до тех пор, пока выход сети не будет соответствовать цели. Чтобы обучить сеть при таком управляемом обучении, как правило, используется много пар сигналов вход/выход. Следовательно, изменения самой прогнозируемой величины требует переобучения (дообучения) сети, а могут быть и более серьезные изменения, такие как, переВыбор структуры или выбор нового метода обучения. Имеющиеся системы прогнозирования, наталкиваясь на такие сложности, отказываются работать с такими процессами. Так как это значительно увеличивает временные затраты на структурный и параметрический синтез нейронной сети, ведь на обучение одной выбранной сети может уходить не один десяток часов машинного времени.

Подробное рассмотрение и анализ методов обучения нейронных сетей позволил выделить несколько шагов приводящих к существенным затратам времени. Первый, минимизация ошибки обучения нейронной сети, но иногда достаточно было бы ограничиться некоторой заданной точностью распознавания. Вторым шагом является определение весовых коэффициентов, что при применении классических методов обучения заставляет сеть совершать бесконечное множество колебаний вокруг оптимума. Третий, немаловажный шаг, противоречивость и неравномерность обучающей выборки, что приводит к увеличению процесса обучения и в результате невозможно проследить закономерности поведения сети в решении поставленной задачи. Тогда как модификация классов и наборов в исходной выборке позволили бы ей быстро и качественно обучиться.

Таким образом, для повышения качества и скорости обучения нейронных сетей в задачах прогнозирования используем более податливые процедуры нахождения весовых коэффициентов и усовершенствованные характеристики обучающей выборки сети, что приведет к улучшению точности решения поставленной задачи.

Прогнозирование режимов электрической нагрузки необходимо для решения очень большого спектра задач текущего планирования и оперативного управления режимами функционирования ЭЭС. Прогнозирование нагрузки проводится по нескольким временным диапазонам: оперативном (в пределах текущих суток); краткосрочном (сутки, неделя, месяц); долгосрочном (месяц, квартал, год) [1].

В качестве контрольного примера с применением искусственной нейронной сети была решена задача краткосрочного (до двух суток) прогнозирования максимума использования электрической нагрузки для газонефтеперерабатывающей отрасли. В качестве исходных данных использованы суточные графики показаний активной мощности за год, из которых были выбраны дневные максимумы использования электрической нагрузки.

Для исследуемого объекта были произведены расчеты задачи краткосрочного прогнозирования электрической нагрузки при различных вариациях исходных данных. При этом использовались дополнительные ретроспективные данные (температура (Т), рабочие и праздничные (выходные) дни (D)), определялась оптимальная архитектура нейронной сети и влияние факторов на качество ошибки прогнозирования. Для представления типа дня в исходных данных для расчета нейронной сети было принято кодирование одним двоичным узлом (0 – выходной (праздничный) день, 1 – рабочий день). Был выбран тип нейронной сети – многослойный перцептрон, алгоритм обучения – метод обратного распространения ошибки, функция активация сети – гиперболическая.

Для многослойных нейронных сетей с обратным распространением ошибки существует зависимость между количеством распознаваемых классов и размерностью сети. Количество распознаваемых классов однозначно определяет число нейронов в выходном слое сети, что косвенно определяет и количество нейронов в ее скрытых слоях. Следовательно, сокращение числа классов ведет к уменьшению размерности нейронной сети, а чем меньше сеть, тем быстрее она учится. Здесь параметрами принципа достаточности выступают точность представления исходных данных в обучающей выборке (а, следовательно, и результирующая точность решения задачи) и размерность самой нейронной сети. Понятно, что объединение классов между собой дает выигрыш в скорости обучения, но приносит и потери в качестве.

Таким образом, скорость обучения нейронной сети можно повысить либо за счет сокращения числа распознаваемых классов, либо, повышая качество характеристик обучающей выборки, перемещая объекты между классами и образуя новые классы. При этом необходимо

руководствоваться понятием достаточности, выбирая соотношение скорости и качества решения задачи [2].

Таблица 1. Результаты расчётов при различных вариациях исходных данных

Вид модели	Исходные данные	Тип нейронной сети	Количество нейронов на входе сети	Скрытые нейроны	Ошибка модели, %	
					1 день	2 день
1	$P_{\max}(t)$	Многослойный персептрон	7	6	2,78	2,83
2	$P_{\max}(t), T$		8	6	2,25	2,34
3	$P_{\max}(t), D$		8	4	2,03	2,16
4	$P_{\max}(t), T, D$		9	5	1,89	1,97

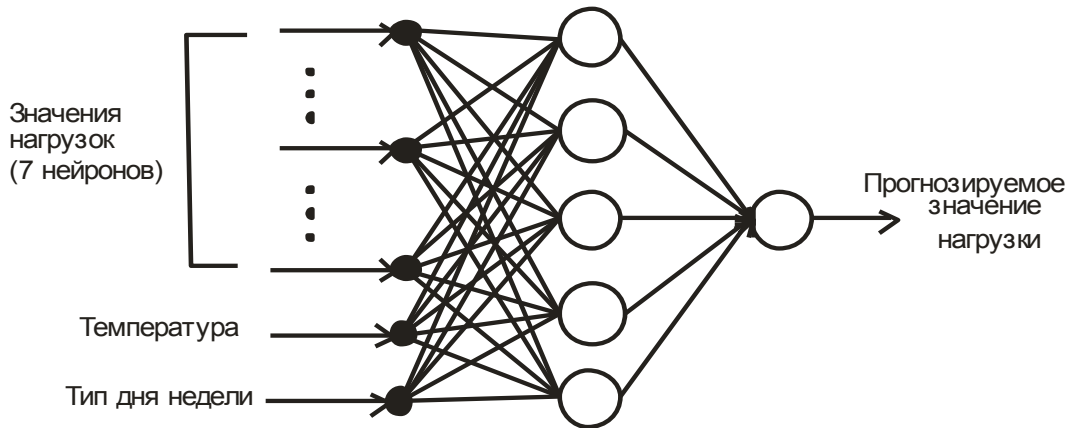
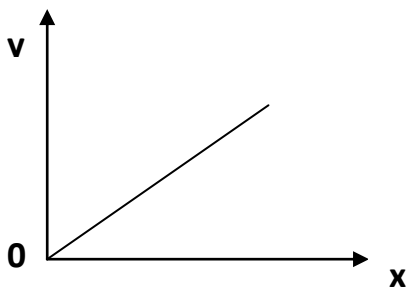


Рис. 1. Конфигурация многослойного персептрона четвертой модели

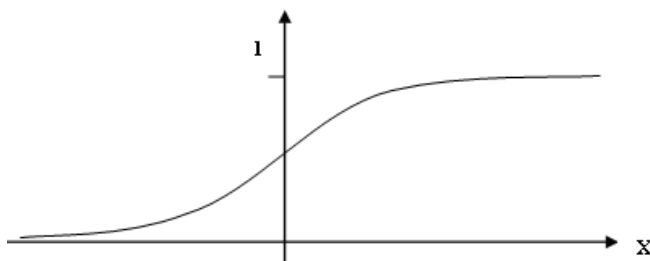
Как видно из произведенных исследований, сеть с меньшим числом входных переменных показывает не лучшие результаты, а лучшим вариантом является четвертая модель. Выбран трехслойный персептрон, во входном слое имеет 9 входных узлов, представляющих нагрузку и ретроспективные данные - температуры и текущего дня недели, алгоритм обучения нейронной сети – алгоритм обратного распространения ошибки.

В пакете STATISTICA NEURAL NETWORKS реализован большой набор функций активации (передаточных функций), произведем расчет по нескольким из функций и покажем, что выбранная ранее гиперболическая функция активации имеет наименьшую ошибку.



Линейная (рис. 2). Уровень активации просто передается на выход в неизменном виде. Эта функция используется в сетях различных типов, в том числе линейных, а также в выходных слоях сетей на радиальных базисных функциях.

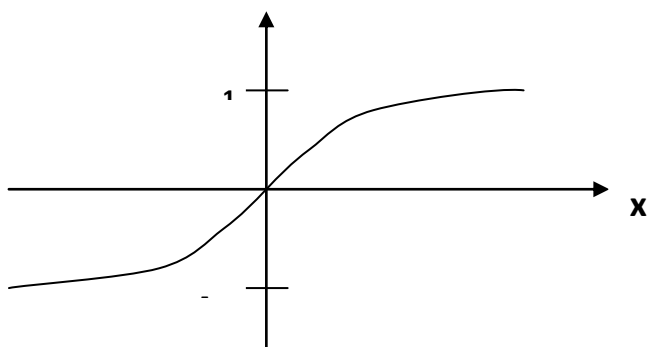
Рис. 2. Линейная функция



Логистическая (рис. 3). Ее график имеет форму S-образной кривой (сигмоида) и используется в нейронных сетях наиболее часто.

Рис. 3. Логистическая (сигмоидальная) функция

Гиперболическая (рис. 4). Это функция гиперболического тангенса. Ее график также имеет вид сигмоидной кривой и часто дает лучшие результаты, чем логистическая,



благодаря своему свойству симметрии.

Рис. 4. Функция гиперболического тангенса

Из произведенных расчётов можно сделать вывод, что использование функции гиперболического тангенса как функции активации выходного слоя дает лучшие результаты, на что указывает наименьшая ошибка модели.

А также эта функция идеально подходит для настройки многослойных персептронов с различной архитектурой сети.

Таблица 2. Результаты расчётов при различных функциях активации выходного слоя для газонефтеперерабатывающей отрасли

	Функция активации	Ошибка модели MAPE, %			
		Модель 1	Модель 2	Модель 3	Модель 4
1	Линейная	7,1	6,83	6,55	6,02
2	Логистическая	4,28	4,07	3,75	3,16
3	Гиперболическая	2,78	2,25	2,03	1,89

Показано, что нейросетевая модель прогнозирования способна обрабатывать непрерывно не только большое количество параметров, но учитывать разнородную информацию о текущих и прогнозируемых режимах функционирования объекта.

#### Список литературы:

1. Новые информационные технологии в задачах оперативного управления электроэнергетическими системами. Екатеринбург: УрО РАН, 2002. - 205 с.
2. Крисилов В.А., Олешко Д.Н., Лобода А.В. Методы ускорения нейронных сетей.// Вестник СевГТУ. Информатика, электроника, связь, Вып. 32, 2001, с. 19.

#### Принципы моделирования главной электрической схемы при проектировании ГЭС

*Романов А.В.*

*Новосибирский Государственный Технический Университет, Россия, г. Новосибирск  
AleksandrRV@gmail.com*

В современном мире гидроэнергетика играет очень важную роль, так как позволяет получать относительно недорогую электроэнергию постоянно, в различных частях нашей планеты, не загрязняя окружающую среду. Гидроэнергетический потенциал значительно использован в Европе и Америке. По перспективным планам развития энергетики России предполагается создание крупных гидроэлектростанций на реках Сибири и Дальнего Востока.

Проектирование гидроэлектростанций и их электрической части имеет ряд особенностей. Главная особенность заключается в том, что параметры ГЭС определяются, исходя из гидроэнергетического потенциала проектируемой ГЭС, а не от потребностей ЭЭС (как происходит в случае с проектированием тепловых станций). Таким образом, прослеживается наличие тесной связи – «гидроэнергетический потенциал - параметры ГЭС – использование ГЭС в системе». Это определяет индивидуальность решений. В таблице 1 показаны основы этих связей.

Проектирование электрической части гидроэлектростанций связано с большими трудностями, так как при этом необходимо учитывать климат и рельеф местности, перспективы развития энергетики и промышленности в данном регионе, возможности и характеристики современного оборудования и много других самых разных факторов. Таким образом, процесс проектирования ГЭС является дорогостоящим и занимает много времени. Данная проблема усугубляется тем, что в большинстве проектных организаций на сегодняшний день неэффективно применяются современные компьютерные технологии. Особая актуальность данной проблемы обусловлена реформой энергетики, проводимой в России, целью которой является создание конкурентных условий на рынке энергетики. В таких условиях, для достижения эффективности, компании будут стараться максимально оптимизировать затраты как на эксплуатацию



существующих, так и на разработку новых электростанций. При этом гидроэлектростанции имеют преимущество перед тепловыми, так как имеют более низкую себестоимость электроэнергии.

Таблица 1. Связи циклов проектирования ГЭС - «гидроэнергетический потенциал - параметры ГЭС – использование ГЭС в системе» при проектировании главной электрической схемы.

Наименование цикла	Определяемые параметры	Исходные условия
1. Определение гидроэнергетических параметров	1. Установленная мощность Нуст 2. Выработка электроэнергии (гарантированная, Эгар. и сезонная, Эсез.) 3. Напор, Н 4. Расход турбин, Qтурб.	Определяются гидроэнергетическим потенциалом станции
2. Анализ требований ЭЭС	1. Параметры местной хозяйственной системы: Рмест., Уместн. 2. Параметры региональной хозяйственной системы: Ррег., Урег. 3. Параметры объединенной энергосистемы: Роэс, Уоэс	Определяются перспективными прогнозами по развитию ЭЭС и промышленности в данном регионе
3. Расчет параметров главной электрической схемы	1. Параметры гидрогенераторов, блочных трансформаторов, автотрансформаторов, высоковольтных выключателей, разъединителей. 2. Схема соединения оборудования главной электрической схемы ГЭС	Определяются совокупностью параметров 1-го и 2-го циклов.

В рамках данной работы рассматривается новый подход к проектированию электрической части гидроэлектростанций с применением современных компьютерных технологий. Применение программной автоматизации при проектировании позволит сократить время, влияние человеческого фактора и снизить финансовые затраты при разработке проекта, а также ускорить подготовку проектной документации.

В процессе разработки автоматизированного решения особое внимание уделяется следующим моментам:

Целостный подход к разработке проекта.

Открытость исходного кода, а также его оптимизация для обеспечения простоты его понимания и внесения изменений. В частности, при проектировании предусматривается перспективная возможность адаптировать программный код для автоматизации проектных расчетов и для тепловых станций.

Автоматический подбор оборудования из базы данных для проектируемой главной электрической схемы ГЭС.

Обеспечение легкого доступа пользователей к базам данных оборудования для возможности поддержания их в актуальном состоянии.

Параллельный расчет и сопоставление различных вариантов электрических схем.

Коррекция решений при изменении исходных условий.

Развитие блока прогнозирования для повышения достоверности и преодоления неопределенности.

Простота работы с программой и вывод результатов в удобном для последующего анализа виде.

Таким образом, в рамках данной работы разрабатывается новый подход к проектированию электрической части гидроэлектростанций с применением современных компьютерных средств и ведется разработка версии программы для автоматизации проектных расчетов.

#### Список литературы:

1. Гидроэнергетика: Учебное пособие для вузов по направлению подготовки 140200 - "Электроэнергетика" / Филиппова Т.А., Мисриханов М.Ш., Сидоркин Ю.М., Русина А.Г. – Новосибирск: НГТУ, 2011.
2. Электрическая часть электростанций: Учебник для вузов / С.В. Усов, Б.Н. Михалев, А.К. Черновец, Е.Н. Кизеветтер, В.В. Кантан; под общ. ред. С.В. Усова - издание 2-е переработанное и дополненное – Ленинград: Энергоатомиздат. Ленингр. Отд-ние, 1987.

**Принципы создания автоматизированной системы прогнозов при планировании и анализе режимов энергосистем**

*Русина А.Г., Филиппова Т.А.*

*Новосибирский государственный технический университет, Россия, г. Новосибирск  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск  
[anastasiarusina@gmail.com](mailto:anastasiarusina@gmail.com)*

Для современных условий развития теории и практике управления ЭЭС актуальной задачей является создание автоматизированной компьютерной системы расчета режимов ЭЭС. В практике деятельности Системного оператора таких разработок было несколько и в них всегда уделяется внимание решению задач «прогноз – план». Это актуальная задача. В данной статье вносится ряд предложений, полезных для ее решения.

Анализ и обобщение имеющихся публикаций и изучение практического опыта позволили выявить и сформировать современные концепции, которые необходимо учитывать при создании системы прогнозов для задач «прогноз – план» [1, 5]. Главными являются следующие обстоятельства [4].

Изменились свойства систем энергетики: границы, структура, цели функционирования. Это вызвано изменением экономической концепции экономики России и энергетики.

Появились принципиально новые возможности компьютеризации и компьютерных технологий, которые прежде при разработке компьютерных систем были невозможны [1].

Получили естественное научное развитие модели и методы решения задач анализа и планирования режимов ЭЭС.

Неопределенность – это объективный закон природы и общества. Для того чтобы оценить уровень неопределенности и по возможности сгладить ее проявление, в первую очередь надо развивать интерактивные технологии.

Структура системы планирования и анализа режимов ЭЭС (рис. 1). Авторами разработана структура компьютерной системы-конструктора, позволяющей автоматизировать расчеты [4].

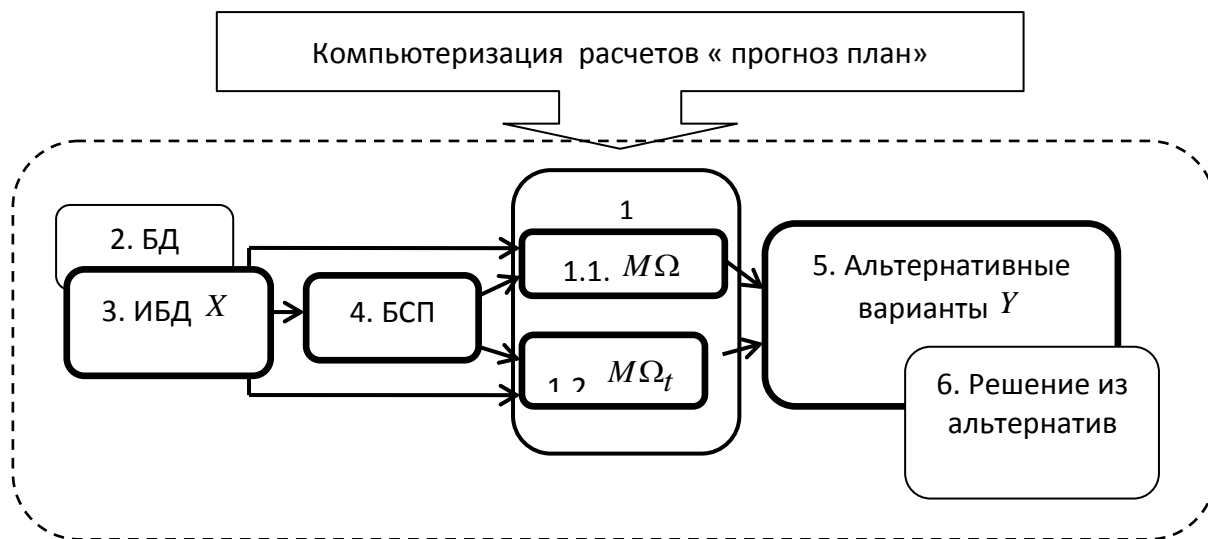


Рис. 1. Схема блоков системы БД – база данных, ИБД - информационная база, БСП – блок системы прогнозов,  $X$ ,  $Y$  – параметры входа и выхода для задачи

Поясним схему, представленную на рис. 1.

1. Система включает в себя блоки задач планирования режимов  $\Omega$  с различными временными параметрами (модель задачи при развитии во времени  $M\Omega_t$  и без  $M\Omega$ ); Заполнение блока 1 зависит от рассматриваемых задач.

Блоки 2, 3, 4 – создают единое информационное пространство. Блоке 1 включает в себя внутреннюю информацию по ЭЭС, информацию из внешней микро- и макросреды, необходимую для данной для решения задач блока 1. В блоке 3 выполняется автоматизированное формирование

баз значимой информации, необходимой для решения задачи  $\Omega$  или  $\Omega_t$ . В блоке 4 - блок системы прогнозов (БСП) - выдвинута и реализована идея о конструировании прогноза, главного прогноза и его элементов (дополнительных прогнозов), повышающих достоверность. Главный прогноз и взаимосвязанные с ним вспомогательные прогнозы факторов это - учёт развития факторов во времени; учёт внутренней структуры процесса для рассматриваемого периода времени; интерактивный режим расчёта поправок на неопределенность.

В блоке 5 Для решаемых задач формируются альтернативные вариационные расчёты выходных параметров  $Y$ .

Блок 6 – выбор решения из альтернатив.

Требования к моделям задаются конструктором через специальный интерфейс, а внутреннее математическое обеспечение дает возможность их выполнять. Предусматривается отбор значимых моделей. Все модели требуют «настройки» в интерактивных расчётах.

Наибольшее внимание уделяется блоку БСП. В нем применяется последовательная корректировка прогнозов и планов, что обеспечивает адаптивность моделей. Расчетный период представляется в виде последовательных частей, причем их длительность зависит от заблаговременности прогнозов и дискретности информации.

Математический аппарат моделирования прогнозов реализуется методами эконометрики и дается на примерах прогнозирования электропотребления и мощности нагрузки. Наибольшее распространение получили модели временных рядов и регрессии. Вид математических моделей определяется на предварительной исследовательской стадии, а в БСП подбираются их состав, коэффициенты, структура. Особое внимание уделяется статистическому анализу при формировании информации в блоке 3. Отметим, что это не разовая процедура, а регулярная при каждом изменении времени упреждения прогноза [2].

Программная реализация рассмотренных выше предложений невозможна без широкого использования интерактивных компьютерных технологий. Они включают в себя: индивидуальное информационное обеспечение для всех видов прогнозов; подбор оптимальных математических моделей прогнозов; интерактивный режим пользователя для внесения поправок в модели и прогнозы; имитационные расчеты для проигрывания возможных вариантов; оценку надежности решений (достоверности и рисков); сервис общения человека с ЭВМ и др.

Блок системы прогнозов – это новое решение в планировании. Имеющиеся разработки по прогнозированию были разовыми, а не входили в специальную систему такую, как предлагаемая система.

Рассмотрим более подробно некоторые модули блока системы прогнозов.

Прогнозирование электропотребления (ЭП) для Новосибирской энергосистемы [3]. Идея прогноза заключается в том, что бы в трендо-сезонных и регрессионных моделях учитывать внутренние свойства процесса. Рассматривались математические и эвристические модели и показано, что наилучшим решением является их сочетание. Это можно реализовать только в интерактивном компьютерном режиме расчетов. Все модели прогнозирования (от суточного до годового периодов) взаимосвязаны, но необходимо использовать цепочечную схему последовательных корректировок, что уменьшает погрешность прогноза примерно в 1,5 раза. При этом начало и конец ретроспективных периодов жестко не фиксируются.

Использование результатов прогнозирования без дополнительного адаптивного уточнения прогноза в условиях рыночных отношений представляется крайне затруднительным, поэтому трендо-сезонная модель не может быть самостоятельным инструментом для прогнозирования, а может выступать только в качестве первичного приближения прогнозов месячного ЭП.

Показано, что годовой цикл надо делить на внутригодовые процессы. Таких периодов 11: календарные сезоны года; переходные зоны между календарными периодами; периоды отопительные и неотопительные; зимние каникулы. Деление уменьшает погрешность сглаживания информации и изменяет все составляющие временной модели. Но при этом модели прогнозирования надо разрабатывать для всех частей общего периода. Выделение периодов осуществляется по ретроспективной информации.

Для Новосибирской энергосистемы число моделей прогнозирования составило 22, число адаптивных расчетов по схеме последовательных корректировок моделей за год более 100, уточнение моделей производилось на каждом интервале дискретности по времени.

Итоговые результаты по прогнозированию ЭП.

Модель годового электропотребления с годовой дискретностью данных различных лет имеет вид линейного тренда. Период ретроспекции не превышает 3-4 года. Погрешности прогноза годового электропотребления примерно 5%.

Модель годового электропотребления с месячной дискретностью имеет период ретроспекции один год. Модель имеет характер трендо-сезонной волны. Погрешности месячного прогноза для годового периода не превышают 10%.

Модель годового электропотребления с суточной дискретностью целесообразно строить для внутригодовых сезонов. Прогноз суточного электропотребления для сезонного периода имеет среднюю погрешность до 10%, максимальную 10...20% для различных сезонов года.

Трендо-сезонная модель с учетом недельной волны за год имеет среднюю погрешность 6-8%; трендо-сезонная модель с учетом недельной волны по сезонам года имеет среднюю погрешность 4-6%.

Прогнозирование графиков нагрузки (ГН) [3, 4] рассматривалось многократно различными авторами. В этих работах постоянно исследовались новые пути повышения достоверности прогнозов. В данной работе также рассматривается новая схема получения прогноза – конструирование графика нагрузки в интерактивном режиме на основе прогнозов элементов конструкции.

Используются прогнозы по комплексу моделей прогнозирования: прогноз электропотребления для заданного периода  $t$  с использованием временных рядов; прогноз поля изменения конфигурации ГН в пределах; усредненный статистический ГН за период ретроспекции; характерные параметры мощности и их регрессионные зависимости и временные модели. По этим данным создаётся конструкция графика нагрузки, в которую вносятся дополнительные поправки на прогнозы факторов: метео (температуры, облачности), расчетных плановых работ, частоты системы, потерь электроэнергии от транзита, интуитивные и др. Процесс конструирования ГН является неотъемлемой частью системы БСП.

Состав элементов зависит от заблаговременности прогноза. При суточной заблаговременности необходимы зависимости и поправок от времени, при месячной – все составляющие, при годовой только параметры поля нагрузок. В общем случае поправки включают статистические, расчётные и плановые.

Методика конструирования ГН была разработана для РДЦ (регионального диспетчерского центра) Новосибирской энергосистемы. Для оперативных планов конструирование ГН базируется на усреднении наблюдений за период от нескольких суток до месяца. Для повышения достоверности рассматривались 9 видов поправок (на температуру наружного воздуха, облачность, потери в сетях от транзита и собственные, частота, нагрузки для двух крупных потребителей, измерительные, прочие). Сравнительные оценки предложенной модели с практическими расчетами представлены в табл. 1.

Таблица 1. Частота погрешностей прогноза графика нагрузки, 2005 - 2007 гг.

Величины погрешностей		До 2 %	2 ...5 %	5...10 %	Выше 10 %
Частота погрешностей	По модели	175	140	21	0
	Из практики	142	115	79	0

Методика прогнозирования случайной составляющей ГН рассмотрена на примере ЗСЖД (Западно-Сибирской железной дороги), которая на 15...20 % определяет нагрузку системы. Нагрузка ЗСЖД зависит от 20...30 случайных факторов, поэтому для ее оценки использовался вероятностный анализ. Расчеты показали, что среднеквадратичные отклонения суточных мощностей за год составляют примерно 10 %. Из гистограммы частот получено, что 36 % отклонений мощности нагрузки от среднего значения принадлежит интервалу -10 %...0 %, а 34% интервалу 0 %...10 %. Самым «популярными» являются отклонения  $\pm 10$  % и 70 % отклонений укладывается в этот интервал.

Эти результаты показывают, что идея конструирования прогнозов электропотребления и графиков нагрузки на основе характерных процессов и параметров дает достаточно хорошие результаты по достоверности планов. Однако ее реализация требует компьютерных технологий для блока системы прогнозов.

#### Выводы

Низкая технико-экономическая эффективность режимов энергосистем отмечается во многих работах. Если не решать проблему автоматизации с помощью расчетов и создания современных компьютерных систем, предлагаемой в статье, то добиться изменения такого

положения нельзя. Современные компьютерные системы и информационные технологии позволяют решать такие информационные задачи, которые в прошлые годы только обсуждались. Создание блока системы прогноза – это возможность повышения эффективности режимов энергосистем.

#### Список литературы:

1. Автоматизация управления энергообъединениями. Под ред. Совалова С.А. - М.: Энергия, 1979г. - 422с.
2. Использование статистических моделей при краткосрочном прогнозировании электропотребления и графиков нагрузки ЭЭС / Т. А. Филиппова, А. Г. Русина, Ю. В. Дронова, Р. В. Зимин, Р. С. Калужный //Электрические станции. – 2008. – № 5. – С. 32-36.
3. Методика прогнозирования графика нагрузки энергосистемы Новосибирской области : отчёт о НИР / Новосиб. гос. техн. ун-т ; науч. рук. Т. А. Филиппова. – Новосибирск, 2007. – 181 с. – №01.2.007 07839.
4. Русина А.Г. Развитие теории и методологии анализа электроэнергетических систем для управления установившимися режимами : дис. ... док.техн.наук / Русина А.Г.. – Томск, 2013. – 196 с.
5. Филиппова Т. А. Модели и методы прогнозирования электроэнергии и мощности при управлении режимами электроэнергетических систем: монография / Т.А. Филиппова, А.Г. Русина, Ю.В. Дронова; Новосиб. Гос. Техн. Ун-т. – Новосибирск, 2009. – 368 с.

#### Использование энергетической установки для получения ультрадисперсных оксидов железа

*Сивков А.А., Свечканева А.А.*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г.Томск  
[svechkanevaaa@mail.ru](mailto:svechkanevaaa@mail.ru)*

В последние два десятилетия в научной среде стремительно развивается исследование объектов с приставкой «нано». Многочисленное количество журналов публикующих различные статьи, а так же количество исследователей занимающиеся данной тематикой неуклонно растет.

Повышенный интерес к нанообъектам вызван обнаружением у них необычных физических и химических свойств, сравнимых со свойствами объемных материалов. Особое место занимают магнитные свойства, которые наиболее отчетливо проявляют различия между объемными материалами и наноматериалами. Изменяя размеры, форму, состав и строение наночастиц, можно в определенных пределах управлять магнитными характеристиками материалов на их основе.

Как правило, основными методами синтеза являются химические. Это требует определенных химических и временных ресурсов. Метод используемый в данной работе позволяет использовать энергетическую высоковольтную установку в получении ультрадисперсных оксидов железа, с помощью коаксиального магнитоплазменного ускорителя (КМПУ). В экспериментальных условиях рассматриваемая система на основе КМПУ позволяет производить за 1 час до 12 плазменных выстрелов с суммарным выходом УДП фракций до ~65 г.

Экспериментальные исследования проводятся на созданном экспериментальном стенде на основе секционного емкостного накопителя энергии 360 кДж. Струя истекающая в замкнутом объеме камеры-реактора (КР), генерируется импульсным сильноточным коаксиальным магнитоплазменным ускорителем (КМПУ) со стальными электродами [1]. Устройство КМПУ и схема питания от емкостного накопителя энергии (ЕНЭ) с емкостью батареи  $C = 14,4$  мкФ и зарядным напряжением  $U_{зар} = 4,0$  кВ, показаны на рис. 1.

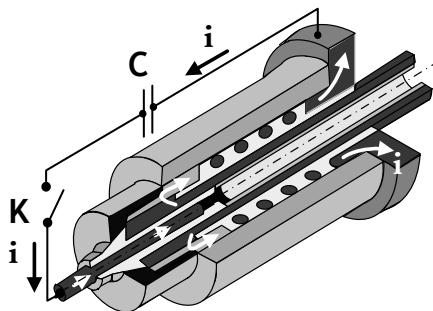


Рис.1. Устройство коаксиального магнитоплазменного ускорителя

Электрод-ствол изготавливается из отрезка стальной трубы с диаметром цилиндрического ускорительного канала (УК)  $d_{ук} = 15$  мм и длиной  $l_{ук} = 220$  мм. Давление воздушной атмосферы  $P_0$  в КР составило 1,0 атмосферы.

В течении всего рабочего цикла происходит электроэрозионная наработка металла с поверхности УК.

Эродированный металл поступает в плазму разряда и выносится сверхзвуковой струей, распыляясь в КР с образованием ультрадисперсных порошков (УДП) оксидов железа.

В опытных условиях вскрытие КР и отбор синтезированного продукта производится через некоторое время после полного осаждения взвешенных в воздухе частиц на стенке КР, в нашем случае примерно через 16 часов.

Осциллограммы рабочего тока  $i(t)$  и напряжения  $U(t)$  на электродах ускорителя приведены на рисунке 2. По полученным данным с осциллограмм максимальные параметры: ток  $I_m = 199$  кА, напряжение  $U_m = 1,42$  кВ, мощность  $P_m = 284$  МВт. Подведенная энергия составила  $W_m = 60,6$  кДж.

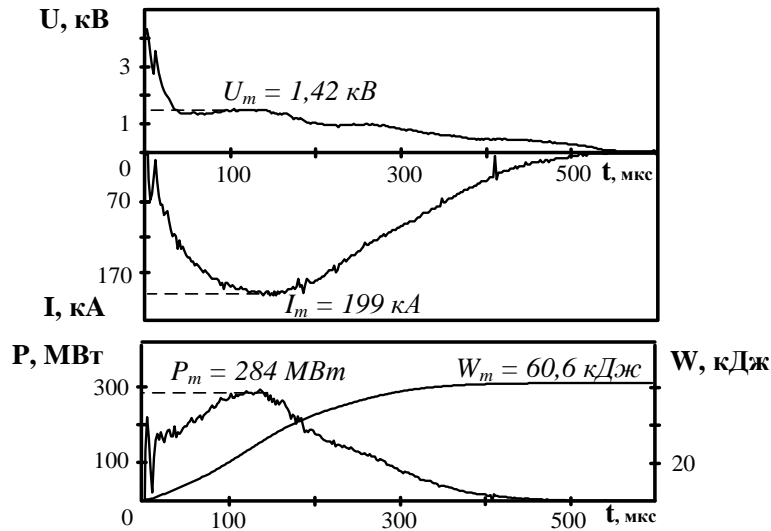


Рис.2. Осциллограммы рабочего тока  $i(t)$  и напряжения  $U(t)$ , мощности  $P(t)$  и энергии  $W(t)$  на электродах ускорителя

Дисперсность, химический и фазовый состав порошкообразного продукта определяются составом первичных компонентов, энергетикой процесса, скоростью плазменного течения и скоростью разлета, охлаждения и закалки капель синтезированного материала. Собранный УДП сильно агломерирован не только за счет слабых ван-дер-ваальсовых сил, но и в силу магнитного взаимодействия ферромагнитных частиц оксидов железа.

На рисунке 3 приведены в сравнении характерные рентгеновские дифрактограммы УДП (дифрактометр Shimadzu XRD-6000).

Количественный структурно-фазовый анализ дифрактограмм (оценочного характера для гетерофазных систем) проведен с помощью программы полнопрофильного анализа PowderCell 2.4 и базы структурных данных PDF4+.

В расчетах наилучшие показатели сходимости достигаются при использовании структурных моделей кристаллических фаз оксидов железа: магнетит  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (пространственная группа SG: Fd3m); маггемит  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  (SG: P 4<sub>3</sub> 2<sub>1</sub> 2); орторомбическая модификация  $\varepsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$  (SG: P n a 2<sub>1</sub>); гематит  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  (SG: R3c).

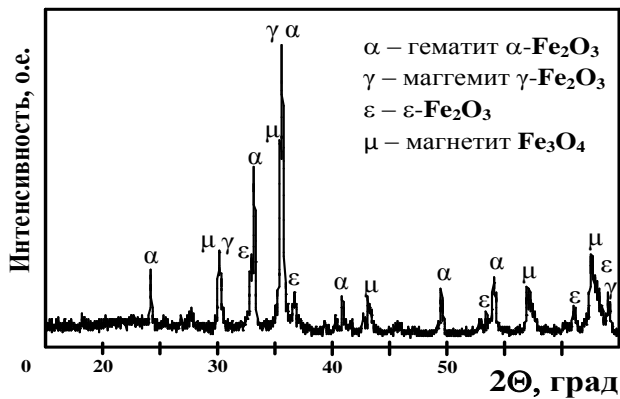


Рис.3. Характерная рентгеновская дифрактограмма УДП

Так же с помощью программы были рассчитано процентное содержание масс всех фаз. В таблице 1 приведены усредненные данные полнопрофильного рентгеновского структурно-фазового анализа УДП, полученных при разных  $P_0$ . Видно, что для всех УДП имеет место сравнимое массовое соотношение четырех кристаллических фаз.

Таблица 1. Процентное содержание масс по данным рентгеновского анализа

Фаза		Пространственная группа	Кривая №1	
MAGNETIT	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	Fd3m	11,9	86,8
MAGHEMITE	γ-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P 4 3 2 1 2	45,5	
EPSILON	ε-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P n a 2 1	29,4	
HEMATIT	α-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	R3c	13,5	

В отличие от стабильных фаз магнетита, маггемита и гематита, широко распространенных в природе и легко синтезируемых как в крупнокристаллическом, так и в наноразмерном состоянии, орторомбическая модификация ε-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> метастабильна. К настоящему времени эта фаза получена только с помощью химического метода (золь-гель технологии) и стабилизируется лишь в наноразмерном состоянии.

Оксиды железа имеют достаточно широкий спектр применений. Такие как электроника (спинтроника), биомедицина (направленный транспорт лекарственных средств с помощью внешнего магнитного поля, магнитно-резонансные контрастные средства для магнитно-резонансной томографии, гипертермия), в том числе и для записи и хранения информации в запоминающих устройствах, радиопоглощающие материалы, или как адсорбент для очистки загрязненных сточных вод [2-4]. Возможно и применение в водородной энергетике, как материал для электролиза воды, используя малые токи оксида железа [5].

В представленной работе показана возможность прямого плазмодинамического синтеза ультрадисперсных гетерофазных порошков оксидов железа принципиально новым высокоэффективным способом.

#### Список литературы:

1. Патент 2243474 РФ. МКИ 7F41В 6/00. Коаксиальный ускоритель/ Д.Ю.Герсимов, А.А.Сивков. – Приор.31.07.2003; Опубл.27.12.2004, Бюл.№36
2. Губин С.П., Кокшаров Ю.А., Хомутов Г.Б., Юрков Г.Ю. Магнитные наночастицы: методы получения, строение и свойства// Успехи химии-2005-74(6), с.539-574
3. Осипов В.В., Платонов В.В., Уймин М.А., Подкин А.В. Лазерный синтез нанопорошков магнитных оксидов железа// Журнал технической физики -2012- т. 82, вып.4, с.123-129
4. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии// М.: ФИЗМАЛИТ. – 2009.
5. <http://pronedra.ru/alternative/2013/02/04/solnechnie-paneli/>

#### Определение качества работоспособности технических объектов

*Сенкевич И.В.*

*Кавминводский институт (филиал) Южнороссийского государственного политехнического университета (НПИ) им. М.И. Платова, Россия, г. Георгиевск*

[senkevich.gti@mail.ru](mailto:senkevich.gti@mail.ru)

Техническое состояние объекта определяется способностью выполнять функции, заложенные при проектировании. Эти функции отражаются в технической документации в виде качественных или количественных характеристик. В большинстве документах приводятся значения выходных характеристик объектов или отдельных элементов системы, что позволяет производить оценку технического состояния объекта по отклонениям выходных характеристик от заданных техническими условиями.

Определение технического состояния объекта является начальной процедурой процесса диагностирования. Для множества работоспособных состояний непрерывных объектов, как правило, допускается некоторый разброс параметров и характеристик, поскольку на практике оказывается допустимой некоторая неточность в выполнении рабочих функций. Например, напряжение в сети электроснабжения не должно выходить за пределы, установленные техническими условиями. Если оно меньше допустимого, то может произойти сбой в работе оборудования потребителей, а если больше, то произойдет перегрузка оборудования, или резкое уменьшение надёжности работы.

Иными словами, для проверяемых параметров устанавливаются опытом или расчетом эксплуатационные допуски, определяющие область работоспособности (рис.1). Следовательно, условием работоспособности является нахождение проверяемых параметров в пределах установленных допусков. В простейшем случае можно использовать разбиение состояний объекта на два класса: норма – не норма, как показано на рис.1.

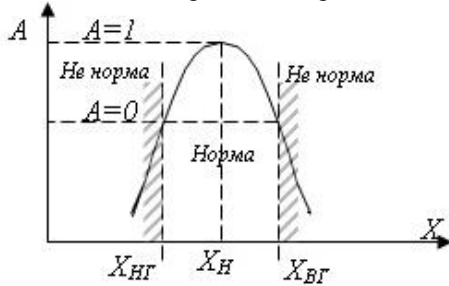


Рис.1. Зависимость функции качества функционирования А от отклонения параметра ΔX

Показатель качества функционирования А не имеет четкой функциональной зависимости от отклонения параметра ΔX, поэтому его количественный эквивалент принимается по правилам нечеткого множества.

Как правило, не все работоспособные состояния в пределах установленных допусков равноценны. Можно предположить, что чем дальше состояние объекта от границ области работоспособности, т.е. допуска, тем меньше вероятность того, что объект в ближайшее время потеряет работоспособность. Таким образом, удаление значения показателя от границы области повышает работоспособность объекта. Наоборот, приближение значения диагностического показателя к границе этой области уменьшает запас и снижает степень работоспособности.

Количественная оценка степени работоспособности в пределах граничных значений параметра может быть дана на основе базовых понятий нечеткой логики. На первом этапе при оценке нечеткого множества производится определение функции принадлежности. Значение функции принадлежности  $\mu_A(x)$  указывает степень (или уровень) принадлежности элемента x к подмножеству А, т.е. перевод значений функции в нечеткий формат. Подробно определение функции принадлежности рассматривается в работах [1,2].

Степень принадлежности – это не вероятность, т.к. неизвестна функция распределения. Так, если взять из рассмотренного ранее примера по влиянию уровня напряжения на работоспособность источника питания два взаимоисключающих события: работоспособен – неработоспособен, и присвоить им некоторые ранги, то приняв нечеткое множество нормированным, сумма этих рангов будет равна 1. Т.е. значение функции принадлежности А(х) могут быть взяты для максимальной степени работоспособности равной А(х)=1, а для неработоспособного состояния А(х)=0.

Функция принадлежности может быть принята также из других предположений, например, из априорных знаний, интуиции (опыта), опроса экспертов. В работе [3] предлагается использовать треугольную функцию принадлежности.

Количественную оценку для такой функции принадлежности произвести достаточно просто, если состояние объекта оценивается одним диагностическим показателем. Тогда наивысшая степень работоспособности оценивается как 1, для номинального значения диагностического показателя, и 0, если показатель достиг граничного допустимого значения.

Таким образом, степень работоспособности объекта по одному диагностическому показателю:

$$C_i = \frac{|X_i - X_{i\text{гран}}|}{\Delta_i}, \text{ о.е.}$$

где  $C_i$  – степень работоспособности;  $X_i$  – текущее значение диагностического показателя;  $X_{i\text{гран}}$  – граничное значение диагностического показателя;

$X_{iН}$  – номинальное значение диагностического показателя;  $\Delta_i$  – допустимое отклонение диагностического показателя от номинального значения  $\Delta_i = |X_{iН} - X_{i\text{гран}}|$ .

Определение степени работоспособности по одному диагностическому показателю встречается редко, однако вариант контроля по одному параметру является базовым при определении степени работоспособности по нескольким параметрам для сложных объектов.

Одним из методов решения задачи многопараметрического контроля в теории управления является скаляризация вектора параметров состояния в виде взвешенной суммы:



$$M(x) = \sum_{i=1}^l q_i C_i(x),$$

где  $x$  – вариант использования средств управляемой системы;  $C_i(x)$  – значение  $i$ -го параметра целеполагания, зависящее от  $x$ ;  $q_i$  – весовая функция  $i$ -го параметра, отражающая неравнозначность вклада  $x_i$  в решении общей задачи.

Предложенная модель определения обобщающего показателя степени работоспособности имеет явные недостатки:

- снижение степени работоспособности по одному из диагностических параметров системы до 0 не снижает обобщающий показатель до 0, несмотря на то, что в данном варианте один из параметров имеет недопустимые отклонения за границу допуска и поэтому приводит к отказу системы или браку в конечном продукте;

- низкие показатели степени работоспособности по всем параметрам увеличивают обобщающий показатель вследствие суммирования, хотя в данном случае происходит снижение степени работоспособности объекта.

Предлагается изменить модель скаляризации обобщающего показателя так, чтобы учесть следующие очевидные условия:

- если показатель степени работоспособности хотя бы по одному из диагностических параметров равен 0, то и обобщающий показатель также должен быть равен 0;

- снижение показателя степени работоспособности по одному из параметров, т.е.  $C_i < 1$  должно уменьшать обобщающий показатель в соответствии с неравнозначностью вклада этого параметра, в обобщающий показатель степени работоспособности.

Решение этого условия предложено в работе [3].

Определяется значение  $M(\Xi)$  как отношение двух чисел  $M(\Xi) = N(\Xi) / Z(\Xi)$ .

Принимается произвольное число  $N(\Xi)$  такое, что;

$$N(\Xi) = \left( \sum_{i=1}^n a_i \left[ \frac{\xi_i - \xi_i^2}{\Delta_i} \right]^p \right)^{1/p},$$

где  $p = 1, 2, \dots$  – произвольное число;  $a_i$  – весовой коэффициент;  $\xi$  – диагностический параметр.

В частных случаях :

$$\text{при } p = 1, N(\Xi) = \sum_{i=1}^n a_i \left[ \frac{\xi_i - \xi_i^2}{\Delta_i} \right] \text{ – взвешенная сумма;}$$

$$\text{при } p = 2, N(\Xi) = \sqrt{\sum_{i=1}^n a_i \left[ \frac{\xi_i - \xi_i^2}{\Delta_i} \right]^2} \text{ – среднеквадратичное отклонение.}$$

Определяется произведение:

$$Z(\Xi) = \prod_{i=1}^n \left[ \frac{\xi_i - \xi_i^2}{\Delta_i} \right]^{q_i},$$

где  $q_i$  – произвольное число.

Тогда  $M(\Xi)$  при стремлении значения параметра  $\xi_i \rightarrow \xi_i^2$  к граничному будет стремиться к

бесконечности, так как значение числителя при малых величинах  $[\xi_i \rightarrow \xi_i^2]$  будет выше (они складываются), чем знаменателя (умножаются малые величины).

С учетом этого можно определить обобщающий показатель степени работоспособности:

$$C(\Xi) = 1 / M(\Xi),$$

которая при изменении диагностических параметров будет изменяться в пределах  $[C_{\max}, 0]$ .

Нетрудно отметить неопределённость в предложенной методике, тем не менее, условия по которым должен быть составлен обобщающий показатель качества работоспособности остаются правильными.

Наиболее подходящей моделью для учета поставленных выше условий является модель на основе определения результирующего сопротивления параллельно соединенных резисторов:

$$C = \frac{1}{\frac{1}{C_1} \cdot a_1 + \frac{1}{C_2} \cdot a_2 + \dots + \frac{1}{C_n} \cdot a_n},$$

где  $C_i$  – показатель степени работоспособности по  $i$ -му параметру;  $a_i$  – весовая функция соответствующего параметра.

Коэффициент  $a$  должен быть нормирован, т. е. должно выполняться условие:

$$\sum_{i=1}^n a_i = 1; \quad a_i > 0; \quad (i = \overline{1, n}).$$

Нетрудно убедиться, что данная модель удовлетворяет вышеуказанным условиям. Если по одному из параметров степень работоспособности равна 0, то степень работоспособности объекта в целом также равна 0. В ситуации, когда для всех параметров  $C_i = 1$ , то для объекта в целом  $C = 1$  – работоспособность наивысшая.

Основную трудность при определении обобщающего показателя степени работоспособности представляет объективное определение весовых функций  $a_i$ , параметров функционирования объекта.

Для определения весовой функции могут быть использованы разные подходы: вероятностный, статистический, стоимостной – по затратам на возмещение ущерба от попадания данного параметра за границы допуска, временной – на устранение нештатной ситуации, вызванной отклонением данного параметра и т.п. Выбор конкретного подхода для определения весовой функции зависит от возможности получения соответствующей информации.

В работах [4,5] предлагаются различные методики для определения весовых функций диагностических параметров.

Наиболее простыми являются статистические методы, суть которых заключается в приравнивании показателей весовых функций к доле дополнительных затрат на устранение причин, связанных с отклонениями соответствующих параметров за установленные допуски, или по вероятностям отказов оборудования по тем же причинам.

Показатель степени работоспособности может использоваться как критерий оценки состояния объекта, особенно при использовании ЭВМ для централизованного контроля и управления электроэнергетическими системами, а также для прогнозирования состояния объекта в процессе эксплуатации.

#### Список литературы:

1. Алтунин А.Е., Семухин М.В. Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях: Монография. Тюмень: Издательство Тюменского государственного университета, 2000. - 352 с.
2. Круглов В.В., Дли М.И. Интеллектуальные информационные системы: компьютерная поддержка систем нечеткой логики и нечеткого вывода. М.: Физматлит, 2002. - 256 с.
3. Калявин В.П., Рыбаков Л.М. Надежность и диагностика электроустановок: Учебное пособие. /Мар.гос.ун-т.- Йошкар-Ола.- 2000.- 371 с.:илл.
4. Аналитический метод определения весовых показателей. Интернет. <http://rusfolder.com/28940219>.
5. Викторова Е.В. Применение нечетких нейронных сетей для технической диагностики дорожных машин. Вестник ХНАДУ, вып. 56, 2012. с 98.

#### Выбор оптимальной схемы распределительной сети

**Скляр Ю.С.**

*Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И.Платова,*

*Кавминводский институт (филиал) Россия, г. Георгиевск*

[sklv@mail.ru](mailto:sklv@mail.ru)

Задача выбора оптимальной конфигурации электрической сети остаётся актуальной до настоящего времени, не смотря на большое число работ, появившихся по этой проблеме за последние полвека. Причиной этого является тот факт, что несмотря на кажущую простоту задача выбора оптимальной конфигурации сети очень сложная в математическом отношении. Функция приведённых расчётных затрат на сооружение и эксплуатацию сети многоэкстремальна и имеет разрывы первого рода в начале координат по переменным – мощностям линий. В состав

переменных этой функции входят непрерывные переменные – потоки мощности по линиям, дискретные переменные – сечения линий, и, наконец, структурная переменная – граф сети. Эти обстоятельства вынуждают проектировщиков использовать различные приближённые схемы, адекватность и точность которых трудно проверить. В настоящей статье предлагается метод решения задачи для разомкнутой сети типа дерева с одной точкой питания. Метод основан на идеях динамического программирования и, по крайней мере для сетей такого типа, даёт абсолютный минимум целевой функции.

Рассматривается сеть с одной точкой питания (ГПП) и одного номинального напряжения, к которой необходимо присоединить  $n$  трансформаторных подстанций (ТП) с заданной нагрузкой  $P_i, i=1,2,\dots,n$ . Задача решается при следующих ограничениях:

- места размещения ТП, а также возможные трассы линий заданы;
- разветвления сети возможны только на ТП, все линии одноцепные.
- критерием оптимальности является минимум функции приведённых расчётных затрат на сооружение и эксплуатацию сети.

Граф, который включает все возможные к сооружению линии, образует полный граф исходной сети. Основная трудность выбора оптимальной конфигурации сети среди линий полного графа состоит в том, что одновременно необходимо выбирать как конфигурацию сети, так и сечения линий. Исключим из числа искомого переменных задачи сечения линии, используя метод подоптимизаций. Для каждой возможной линии определим её тип и для каждого сечения стандартного ряда этого типа линии найдем функцию приведенных расчётных затрат. Пусть стандартный ряд содержит  $n$  сечений  $q_m, m = 1,2,\dots,n$ , причём  $q_m < q_{m+1}$ . Можно показать, что при обычных допущениях расчётные затраты в линию сечением  $q_m$  имеют вид

$$Z_m = a_m + b_m P^2, \quad m = 1,2,\dots,n,$$

где  $P$  – активная мощность линии.

Построим на одном чертеже в осях  $(Z, P)$  графики функций расчётных затрат для всех сечений линий данного типа. Точки пересечения кривых определяют интервалы, внутри каждого из которых оптимальным является соответствующее сечение (рис.1). Но главным результатом является тот факт, что нижняя огибающая всех кривых есть зависимость расчётных затрат от мощности линии данного типа при условии, что сечения выбраны оптимально. Назовём её функцией оптимальных расчётных затрат.

В дальнейших расчётах каждый тип линии представлен своей функцией оптимальных расчётных затрат, а сечения линии исключаются из числа переменных задачи. В этом и состоит метод подоптимизаций.

Функцию оптимальных расчётных затрат достаточно точно можно аппроксимировать :

$$Z(P) = a + bP \quad \text{при } P > 0,$$

$$Z(P) = 0 \quad \text{при } P = 0.$$

Здесь  $a$  – постоянные затраты не зависящие от потока по участку сети,  $b$  – удельные затраты на единицу потока.

Проверочные расчёты, выполненные для воздушных ЛЭП 35 -220 кВ с опорами различных типов показали, что погрешность аппроксимации нигде не превышала 5% во всём диапазоне допустимых мощностей для ЛЭП данного типа.

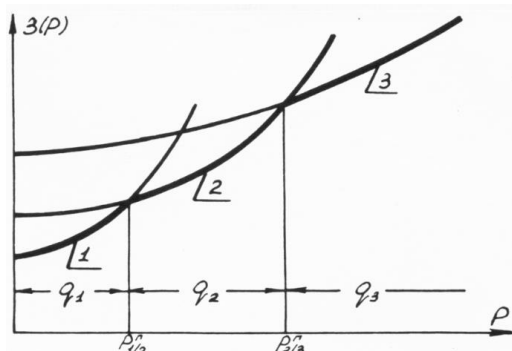


Рисунок 1.- Функция оптимальных расчётных затрат

В качестве критерия оптимальности обычно принимают суммарные расчётные затраты на всю сеть.

$$Z(P) = \sum Z_i(P_i)$$

Основная трудность в решении задачи состоит в том, что функция  $Z(P)$  разрывна в начале координат. Поэтому методы линейного и нелинейного программирования не работают. Можно предложить оригинальный метод, использующий идеи динамического программирования. Принцип оптимальности динамического программирования в терминах поставленной задачи можно сформулировать следующим образом.

Обозначим через  $Z_{kO}(P)$  расчётные затраты по оптимальному присоединению  $k$ -го потребителя к источнику питания. Тогда оптимальное присоединение  $k+1$ -го потребителя определяется из условия

$$Z_{k+1,O}(P) = \min(Z_{k+1}(P) + Z_{kO}(P)).$$

Построение оптимального графа сети начинается с построения начального оптимального фрагмента. В качестве начального фрагмента примем граф, полученный на пересечении кратчайшей сети и радиальной схемы. Можно доказать, что он входит в качестве частичного в оптимальный гриф. Среди ТП, не вошедших в построенный начальный фрагмент выберем ближайшую к нему по длине трассы. Пусть это будет ТП с номером 1. Соединим её линиями с каждой узловой точкой фрагмента и с источником. Предположим, что таких точек  $m+1$  (0,1,2,...,m), причем индекс 0 присвоим источнику питания. Полученная схема представлена на рисунке 2.

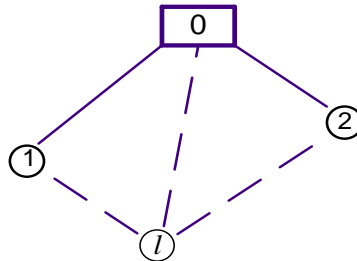


Рис. 2. - Присоединение точки 1 к начальному фрагменту.

Для каждого способа присоединения точки 1 запишем выражение расчетных затрат, которые для линии 1-0 будут вид

$$Z_{10}(P) = a_{10} + b_{10} P,$$

а для остальных линий

$$Z_{i1}(P) = a_{i1} + (b_{i1} + b_{10}) P, \quad i=1,2,\dots,m$$

Расположим возможные способы присоединения точки 1 в порядке возрастания  $a_{i1}$ ,  $i=0,1,\dots,m$ . Пусть для простоты это будет порядок, обратный введенной нумерации, то есть  $a_{1n} < a_{1,n-1} < \dots < a_{10}$  и построим на одной координатной плоскости расчетные затраты  $Z_{i1}(P)$ ,  $i=0,1,\dots,m$ . Соответствующие построения для  $m=3$  представлены на рисунке 3.

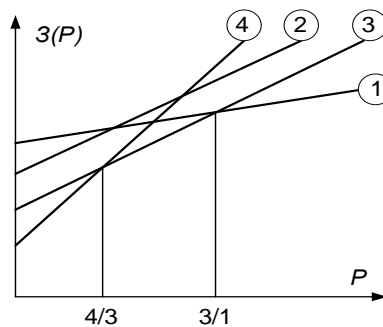


Рисунок 3. - Интервалы оптимальности вариантов присоединения.

Очевидно, что на интервале потока  $0-4/3$  вариант 4 имеет минимальные расчетные затраты, на интервале  $4/3-3/1$  таким свойством обладает вариант 3, а на интервале  $3/1-\infty$  вариант 1. Назовем эти интервалы интервалами оптимальности подключения. Их последовательность задает оптимальный способ подключения точки 1 в зависимости от ее нагрузки. Заметим, что нижняя огибающая всех прямых есть зависимость оптимальных расчетных затрат на присоединение точки 1 от ее нагрузки. Обозначим эту зависимость через  $Z_{1O}(P)$ . Отметим так же, что прямая

32(P) проходит выше оптимальных расчетных затрат и, следовательно вариант 2 должен быть исключен из дальнейшего рассмотрения.

Рассмотрим следующую точку  $k$  и соединим ее со всеми точками фрагмента, в том числе с точкой  $l$ . Для линий  $k-i$ ,  $i=0.1\dots m$ ,  $i \neq l$  расчетные затраты определяются аналогично предыдущему, а именно

$$Z_{ko}(P) = a_{ko} + b_{ko} P,$$

$$Z_{ki}(P) = a_{ki} + (b_{ki} + b_{io}) P, \quad i=1.2,\dots,m, i \neq l.$$

Что касается соединения  $k-l$ , то здесь возможен  $m+1$  вариант, так как сама точка  $l$  может быть присоединен к точкам  $0,1,\dots, m$  посредством  $m+1$  различных вариантов. Но для точки  $l$  построен оптимальный способ присоединения в зависимости от нагрузки. Поэтому, зная суммарный поток  $P_l + P_k$ , можно выбрать интервал оптимальности и способ оптимального подключения точки  $l$  при условии, что новая нагрузка в точке  $l$  будет равна  $P_l + P_k$ . Вполне возможно, что это будет другой способ подключения точки  $l$ , но он будет оптимален для случая питания точки  $k$  через точку  $l$ . Более того, изменяя  $P_k$ , можно построить интервалы оптимальности присоединения точки  $k$ . В этом собственно и заключается основная идея дискретного варианта принципа оптимальности, позволяющая на каждом шаге решать задачу размерности не больше  $n$ . В результате для линии  $k-l$  получаем расчетные задачи в виде

$$Z_{kl}(P) = a_{kl} + (b_{kl} + b_{li} + b_{lo}) P$$

для индекса  $i$ , определенного согласно величине  $P_l + P_k$ . После этого для точки  $k$  строятся интервалы оптимальности, функция  $Z_{ko}(P)$  и последовательно, определяется стратегия присоединения точки  $k$  в зависимости от ее нагрузки. Этот процесс продолжается до тех пор, пока не будут исчерпаны все ТП. Изложенный алгоритм обеспечивает гарантированный абсолютный минимум целевой функции и, следовательно, построение оптимальной сети.

#### **Исследование электрических и механических свойств изоляции современных эмалированных проводов**

*Солдатенко Е.Ю., Леонов А.П., Ухов М.С.\**

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет*

*\*ЗАО «Сибкабель», Россия, г. Томск*

Обмоточные провода являются одним из наиболее стабильно востребованных типов кабельно-проводниковой продукции. Доля производства данного вида проводов от общемирового составляет 15% [1], при этом значительная часть используется в качестве элемента системы изоляции электроэнергетического оборудования: обмотки электрических машин, трансформаторов, катушек реле и т.д. В настоящее время наиболее широко применяются обмоточные провода с эмалевой изоляцией. Известен тот факт, что надежность изоляции таких проводов во многом определяет надежную работу самого электрооборудования. В связи с этим, потребителям необходимо знать характеристики обмоточных проводов в целях их правильного и наиболее эффективного использования в изделиях. С одной стороны, к данному моменту времени, существует достаточное количество методов, позволяющих провести всесторонние испытания эмали провода на стойкость к различным нагрузкам, с другой – накопленный практический опыт показывает в ряде случаев неоднозначность применяемых критериев оценки [2], недостаточность практических рекомендаций по применению эмалированных проводов в условиях использования системы частного управления с широтно-импульсной модуляцией [3].

В работе проведено комплексное определение электрических и механических свойств изоляции ряда марок эмалированных проводов, представленных на современном рынке кабельно-проводниковой продукции: ПЭТВ-2, ПЭЭА-155, ПЭТ-155, ПЭФД2-200, ПЭТД-180, ПЭТД2К-180.

Механические свойства изоляции оценивались стандартными и оригинальными методами: истирание иглой и путем определения дефектности в электролите. Электрические – определением пробивного напряжения, а также среднего времени до пробоя при выдержке в среде действия поверхностных (коронных) разрядов. Образцы испытывались в состоянии поставки и после механических воздействий: растяжения, навивания на металлический стержень. Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

1. Наиболее адекватную оценку механической прочности дает оценка дефектности в электролите. В этом случае результат дает наглядную информацию о начальном числе повреждений и о стойкости пленки эмали к механическим воздействиям. Определение числа

двойных ходов иглы до истирания эмали провода имеет большой статистический разброс. Помимо этого, при испытаниях задействован небольшой участок изоляции, что так же сказывается на объективности результатов испытаний.

2. Определения способности эмалированных проводов выдерживать электрические перегрузки в условиях системы частотного управления необходимо оценивать путем проведения высокочастотных импульсных испытаний. Критерий: среднее время до пробоя образца провода. В этом случае создаются условия, подобные условиям работы реальных обмоток: температура класса нагревостойкости, коронные разряды по поверхности образца провода (наибольшая стойкость у провода марки ПЭТД2К-180).

3. Лучшими характеристиками из исследованных образцов обладает ПЭТД2К-180, провод этой марки рекомендуется к применению в обмотках электрических машин с частотным управлением.

#### Список литературы:

1. Г.И. Мещанов, И.Б. Пешков Анализ основных тенденций в развитии мирового производства кабелей и проводов // Кабели и провода. - 2012. - № 4. – С. 3–8
2. А.В. Андрианов, В.К. Андрианов, Е.В. Быков Пробивное напряжение как критерий годности обмоточных проводов // Кабели и провода. - 2011. - № 6. – С. 17–20
3. Ю.П. Похолков, А.П. Леонов, А.А. Коробцов Изоляция обмоток низковольтных асинхронных двигателей в условиях применения системы частотного управления// Электричество. - 2012. - № 6. – С. 3–8

#### Энергоэффективность двенадцатипульсовой кольцевой схемы выпрямления

Степанов А.А.

ФГБОУ ВПО Новосибирский государственный технический университет, Россия, г. Новосибирск, [stepanov-ngtu@mail.ru](mailto:stepanov-ngtu@mail.ru)

В мощных выпрямительных установках находят применение шестипульсовые и двенадцатипульсовые схемы выпрямления. Для снижения амплитуды пульсаций выпрямленного напряжения и улучшения гармонического состава тока, потребляемого из сети более эффективны двенадцатипульсовые схемы выпрямления. Наиболее распространенной схемой выпрямления у современных тяговых подстанций систем тягового электроснабжения постоянного тока это выпрямительные схемы на базе последовательно соединенных трехфазных мостов.

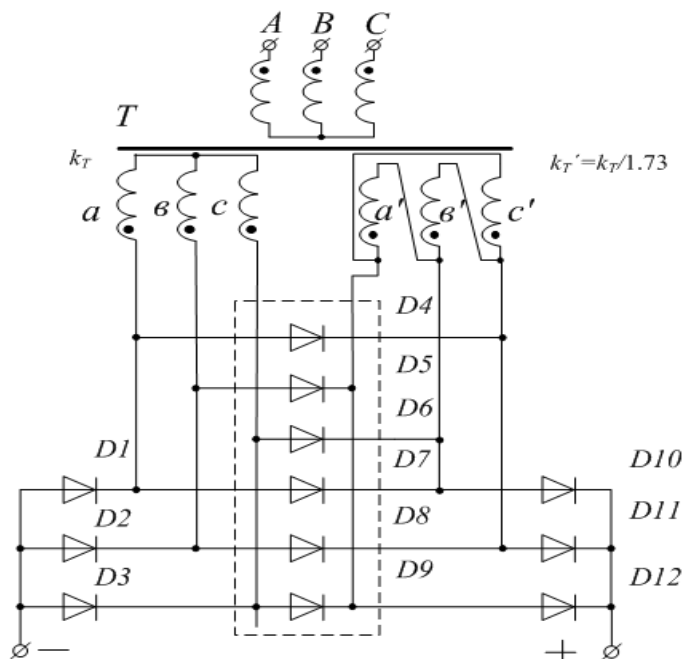


Рис.1. Двенадцатипульсовая кольцевая схема выпрямления

Мосты питаются от отдельных вторичных обмоток трансформатора, одна из которых соединена в треугольник, а другая — в звезду. За счет сдвига фаз между одноименными линейными напряжениями вторичных обмоток на угол  $\pi/6$  обеспечивается режим выпрямления  $m = 12$ , что обеспечивает весьма низкий коэффициент пульсаций выпрямленного напряжения (1,4% по основной гармонике). Ток, потребляемый из сети, содержит только гармоники с номерами  $12n \pm 1$ , где  $n = 1, 2, 3, \dots$ , поэтому доля высших гармоник в сетевом токе невелика (9,1% для 11-й гармоники и 7,7% для 13-й гармоники) [1,2].

Существенным недостатком такой схемы является пониженный КПД, поскольку выпрямленный ток протекает через четыре последовательно соединенных вентиля, создавая прямое падение

напряжение и потери мощности на каждом из них. С целью повышения КПД выпрямительной установки предлагается соединенные друг с другом анодную группу вентиляей одного моста и катодную группу вентиляей второго моста заменить кольцевым соединением этих вентиляей [3]. При этом схема приобретает вид, показанный на рис.1. Произведенная замена не отражается на работе секций. Мгновенные значения выпрямленного напряжения для каждой секции представляют собой огибающие соответствующей шестифазной системы линейных ЭДС. Суммируясь на участке нагрузки, они дают двенадцатифазную кривую выпрямленного напряжения, порядок формирования пульсаций на основе индексации линейных напряжений вентильных обмоток представлены на рис.2. где приведен пример формирования первой (s1) и седьмой (s7) пульсаций, а среднее значение выпрямленного напряжения равно:

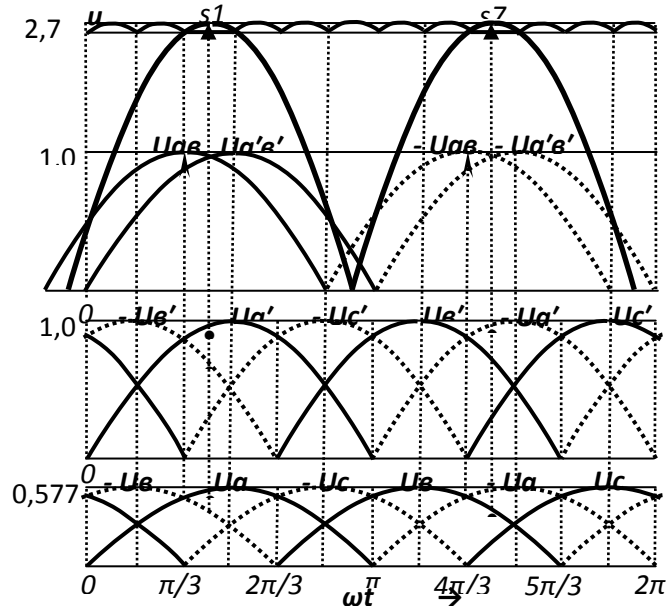


Рис.2. Формирование результирующих напряжений (на примере s1 и s7)

$$U_d = \frac{6\sqrt{2}}{\pi} U_{2л} \approx 2,70U_{2л}.$$

Порядок работы вентиляей катодной и анодной групп остается таким же, как и в исходной схеме. Угол проводимости для них составляет  $\lambda = 2\pi/3$ , а средние и действующие значения токов равны соответственно:

$$I_{Vcp} = I_d/3 \text{ и } I_V = I_d/\sqrt{3} \approx 0,577I_d$$

Таким образом, углы проводимости вентиляей кольцевого коммутатора неодинаковы. Для вентиляей с нечетными номерами угол проводимости равен  $\lambda = \pi/6$ , а для вентиляей с четными номерами  $\lambda = 2\pi/2$ . Соответственно, различаются средние и действующие значения токов вентиляей. Для вентиляей с нечетными номерами они равны  $I_{Vcp} = I_d/12 \approx 0,083I_d$  и  $I_V = I_d/\sqrt{3} \approx 0,289I_d$ , а для вентиляей с четными номерами  $I_{Vcp} = I_d/4 = 0,25I_d$  и  $I_V = I_d/24 = 0,5I_d$ . Нетрудно заметить, что эти значения ниже, чем для вентиляей катодной и анодной групп. Это является дополнительным преимуществом схемы, поскольку вентили кольцевого коммутатора выбираются на меньший ток. Описанный выше принцип работы схемы может быть проиллюстрирован также и с помощью метода векторных вращающихся диаграмм для анализа схем выпрямителей разработан топологический метод [4,5], в котором каждое результирующее выпрямляемое напряжение вентильных обмоток рассматривается как максимально возможная разность потенциалов на топографической потенциальной плоскости, содержащей развернутые во времени (вращающиеся) векторные диаграммы систем напряжений вентильных обмоток. Для проведения топологического анализа необходимо одну трёхфазную систему напряжений например звезда взять за основу вокруг которой вторая трёхфазная система напряжений треугольник вращается по часовой стрелке все это представлено на потенциальной плоскости которая отображена на рис. 3.

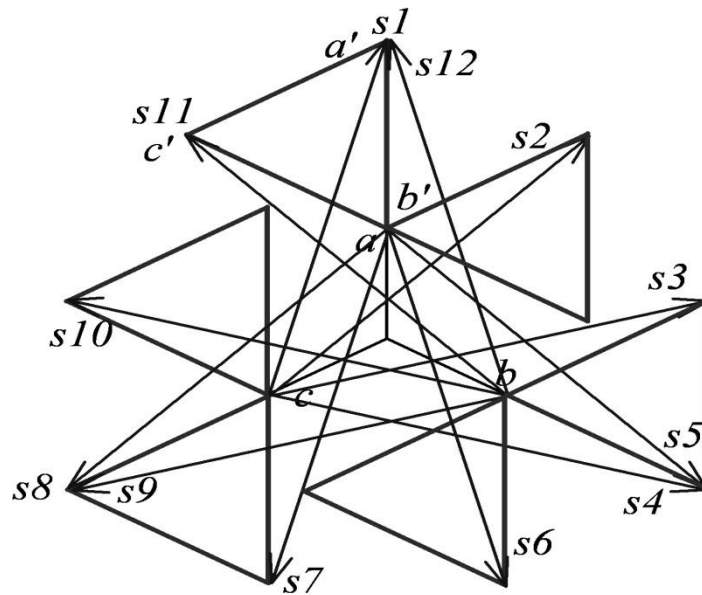


Рис. 3. Развёрнутые (вращающиеся) векторные диаграммы систем напряжений вентильных обмоток 12-пульсного выпрямителя.

Кривая выпрямленного напряжения на нагрузке формируется симметричной двенадцатифазной системой напряжений, которая получается в результате сложения линейных напряжений обмотки, соединенной в звезду с соответствующими линейными напряжениями обмотки, соединенной в треугольник, таким образом, формируются 12 пульсаций обозначенные векторами (s1-s12). Под действием напряжений обусловленных векторами формирующими эти пульсации, ток нагрузки протекает только по трем вентилям. В любой момент времени ток протекает через три последовательно соединенных вентиля, что обеспечивает повышенный КПД по сравнению с традиционной схемой. Обратные напряжения на вентилях катодной и анодной групп имеют ту же форму, что и в трехфазной мостовой схеме [1,2], а их максимальное значение равно амплитуде линейного напряжения обмоток:

$$U_{vm} = \sqrt{2} U_{2n} = \frac{\pi}{6} \approx 2,732 U_d \approx 0,524 U_d.$$

Максимальное обратное напряжение на вентиле кольцевой группы равно:

$$U_{vm} = 2\sqrt{2} U_{2n} \cos \frac{\pi}{12} \approx 2,732 U_{2n} \approx 1,012 U_d.$$

Расчет трансформатора производится, как и для традиционной двенадцатифазной последовательной схемы. Действующие значения фазных токов для обмотки соединенной в звезду  $I_2 = 0,817 I_d$ , а для обмотки, соединенной в треугольник  $I_2 = 0,471 I_d$ . Расчетные мощности этих обмоток одинаковы:  $S_2 = S'_2 = 0,524 P_d$ . Суммарная мощность вторичных обмоток равна  $S_2 \Sigma = 1,05 P_d$ .

Действующее значение тока первичной обмотки равно:

$$I_1 = 1,577 kT;$$

где  $kT$  — коэффициент трансформации, определенный для вторичной обмотки трансформатора, соединенной в звезду. (для вторичной обмотки трансформатора, соединенной в треугольник, коэффициент трансформации равен  $kT \square \square \frac{kT}{1,73}$ ).

Расчетная мощность первичной обмотки равна  $S_1 = 1,012 P_d$  и типовая мощность трансформатора, определяемая как среднее арифметическое расчетных мощностей его обмоток, равна  $ST = 1,03 P_d$ . Коммутация вентилей в схеме происходит точно так же, как и в трехфазной мостовой схеме. Коммутирующим напряжением является линейное напряжение соответствующей обмотки. За период частоты питающей сети в каждой вторичной обмотке происходит шесть коммутаций. При этом в трех коммутациях участвуют вентили катодной (или анодной для обмотки, соединенной в звезду) группы и в трех коммутациях — вентили кольцевой группы.



Коммутационные потери напряжения на каждом интервале коммутации будут такими же, как и трехфазной мостовой схеме. Таким образом, среднее значение коммутационных потерь напряжения будет вдвое больше, чем в трехфазной мостовой схеме, но и среднее значение выпрямленного напряжения в рассматриваемой схеме вдвое выше. Следовательно, уравнение внешней характеристики выпрямителя будет иметь тот же вид, что и в трехфазной мостовой схеме:

$$U_d = U_{d0} - X_a I_d,$$

где  $X_a$  — индуктивное сопротивление рассеяния обмотки трансформатора.

По результатам анализа определено, что режимы работы трансформаторов в кольцевых и мостовых 12-пульсных выпрямителях последовательного типа идентичны. Таким образом 12-пульсная кольцевая схема выпрямления имеет низкий коэффициент пульсаций выпрямленного напряжения, хороший гармонический состав тока, потребляемого из сети и низкую типовую мощность трансформатора и обладает существенным преимуществом: более низкое прямое падение напряжения на вентилях, а шесть диодов вентильного кольца имеют меньшие анодные токи, что снижает общую мощность потерь в вентильной схеме на четверть. Применение диодов с высоким классом по напряжению позволяет снизить мощность потерь и в мостовых и в кольцевых схемах за счет уменьшения числа диодов в плече, но и в этом случае мощность потерь на 25% меньше у кольцевых выпрямителей.

#### Список литературы:

1. Попков О. З. Основы преобразовательной техники : учеб. пособие для вузов / О. З. Попков.— М.: Изд-во МЭИ, 2005. — 200 с.
2. Беркович Е. И. Полупроводниковые выпрямители / Е. И. Беркович, В. Н. Ковалев, Ф. И. Ковалев и др.; ред.: Ф. И. Ковалев, П. П. Мосткова. — 2-е изд., перераб. - М. : Энергия, 1978. — 447 с.
3. А. с. 995231 СССР Преобразователь m- фазного переменного напряжения в постоянное / Ю.В. Потапов // Открытия, изобретения, промышленные образцы, товарные знаки. — 1980.-№ 15.
4. Евдокимов С.А. Синтез схем многопульсных выпрямителей с естественной коммутацией. Материалы VIII Международной конференции «Актуальные проблемы электронного приборостроения»: в 7 т. Т. 6. — Новосибирск: НГТУ, 2006. - С 56 - 63.
5. Евдокимов С.А. Синтез схем выпрямления, основанный на топологии вращающихся систем напряжений вентильных обмоток / Г.Н. Ворфоломеев, С.А.Евдокимов, Н.И.Щуров и др. // Электротехника. 2006. - № 10. — С. 33 - 40.

#### Снижение потерь мощности в ЛЭП путем регулирования потока реактивной мощности

*Степанов А.С., Калина Р.А., Амплеев А.Н.*

*Северо-Кавказский федеральный университет, Россия, г. Ставрополь  
stepas1955@mail.ru*

На основе уравнений длинной линии в работе [1] было получено расчетное выражение для определения потерь активной мощности в линиях электропередачи (ЛЭП):

$$\Delta P = \frac{P_2^2 + Q_2^2}{U_2^2} H_{Ia} + U_2^2 H_{Ua} + P_2 H_{Pa} + Q_2 H_{Qa} \quad (1)$$

где  $P_2$ ,  $Q_2$ ,  $U_2$  — активная и реактивная мощности и напряжение в конце электропередачи, а параметры  $H$  вычисляются по формулам:

$$\left. \begin{aligned} H_{Ia} &= \frac{Z_c}{2} (\operatorname{sh} 2\beta L \cos \xi - \sin 2\alpha L \sin \xi) \\ H_{Ua} &= \frac{1}{2Z_c} (\operatorname{sh} 2\beta L \cos \xi + \sin 2\alpha L \sin \xi) \\ H_{Pa} &= \operatorname{ch} 2\beta L \cos^2 \xi + \cos 2\alpha L \sin^2 \xi - 1 \\ H_{Qa} &= \frac{\sin 2\xi}{2} (\operatorname{ch} 2\beta L - \cos 2\alpha L) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Здесь:  $\underline{Z}_c = Z_c (\cos \xi + j \sin \xi)$  – волновое сопротивление линии,  $L$  – длина ЛЭП,  $\underline{\gamma} = \beta + j\alpha$  – коэффициент распространения электромагнитной волны.

В монографии [2] рассмотрена возможность снижения потерь мощности в ЛЭП за счет регулирования уровня напряжения и показано, что минимальных потерь мощности можно добиться, если изменять напряжение по следующему закону:

$$U_2 = \sqrt{k_U P_2},$$

где  $k_U$  – коэффициент, зависящий от конструктивных параметров электропередачи. В обозначениях работы [1] он равен

$$k_U = \sqrt{\frac{4H_{Ia}^2}{4H_{Ua}H_{Ia} - H_{Qa}^2}}$$

Однако, анализ такого регулирования напряжения, проведенный в [2], показывает, что данный подход малоэффективен из-за узости возможного диапазона изменения  $U_2$  и несовершенства существующих средств регулирования (РПН автотрансформаторов). Отмечается, что «при существующих ограничениях диапазона изменения напряжения метод снижения потерь активной мощности путем регулирования напряжения в конце линии целесообразно применять только для протяженных линий ультравысокого напряжения. Однако и там могут возникать сложности с созданием необходимого оборудования. Для линий более низких классов напряжения применение этого метода представляется нецелесообразным» [2].

Рассмотрим возможности снижения потерь мощности в ЛЭП путем регулирования потока реактивной мощности, а не напряжения.

Анализ поведения параметров  $H$  в зависимости от длины электропередачи показывает, что первые три параметра из (2) всегда положительны и возрастают с ростом длины ЛЭП, а параметр  $H_{Qa}$  – всегда отрицателен и убывает с ростом длины электропередачи.

Как следует из уравнения (1), потери мощности в ЛЭП имеют два слагаемых, зависящих от потока реактивной мощности: одно – от квадрата  $Q_2$ , другое – пропорциональное  $Q_2$ . График зависимости потерь мощности  $\Delta P$  от потока реактивной мощности  $Q_2$  для ЛЭП 500 кВ длиной 500 км, выполненной проводом 3хАС-300 с погонными параметрами  $g_0=0,033$  Ом/км,  $x_0=0,31$  Ом/км,  $g_0=3,6 \cdot 10^{-8}$  См/км,  $b_0=3,97 \cdot 10^{-6}$  См/км, при нагрузке  $P_2 = 500$  МВт показан на рисунке 1.

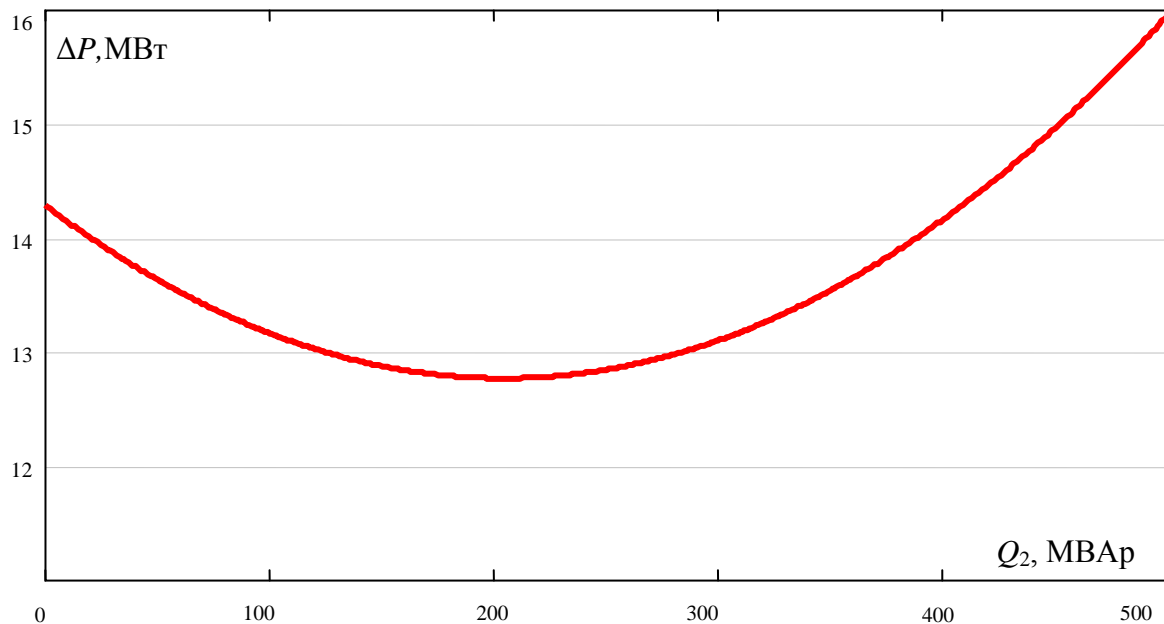


Рисунок 1 – Зависимость потерь мощности в ЛЭП 500 кВ от потока реактивной мощности

Из этого графика видно, что имеется некоторое оптимальное значение потока реактивной мощности, отличное от нуля, при котором потери мощности в ЛЭП минимальны. Взяв

производную от  $\Delta P$  по  $Q_2$  в уравнении (1) и приравняв ее к нулю, получим выражение для вычисления этого значения реактивной мощности:

$$Q_{2\text{опт}} = -U_2^2 \frac{H_{Qa}}{2H_{Ia}} \quad (3)$$

Из выражения (3) следует, что оптимальный поток реактивной мощности не зависит от передаваемой активной мощности, а определяется только уровнем напряжения и конструктивными характеристиками ЛЭП.

Исследование влияния на значение  $Q_{2\text{опт}}$  изменения удельных параметров ЛЭП ( $r_0$ ,  $x_0$ ,  $g_0$ ,  $b_0$ ) показало, что в рамках возможных пределов их изменения оптимальная реактивная мощность растет с ростом  $r_0$  и  $b_0$  и уменьшается с ростом  $x_0$  и  $g_0$ .

Для оценки эффективности поддержания в конце ЛЭП потока реактивной мощности на уровне  $Q_{2\text{опт}}$  сравним этот режим с режимом полной компенсации реактивной мощности в конце ЛЭП, т.е. с режимом, характеризующимся значением  $Q_2 = 0$ .

Если в уравнение (1) вначале подставить значение  $Q_2 = 0$ , а затем – выражение для  $Q_{2\text{опт}}$  из (3) и вычесть из первого результата второй, то получится выражение для разницы в потерях мощности между двумя рассматриваемыми режимами:

$$\delta P = \Delta P_0 - \Delta P_{\text{опт}} = U_2^2 \frac{H_{Qa}^2}{4H_{Ia}} \quad (4)$$

Из уравнения (4) следует, что выигрыш в потерях мощности оптимального режима по сравнению с режимом полной компенсации не зависит от передаваемой активной мощности, а, как и величина  $Q_{2\text{опт}}$ , определяется только уровнем напряжения и конструктивными характеристиками ЛЭП.

Если рассмотреть процент этого выигрыша  $\delta P$  от  $\Delta P_0$ , то для рассмотренной выше ЛЭП 500 кВ его зависимость от нагрузки  $P_2$  имеет вид, показанный на рисунке 2. Как видно из графика, выигрыш в потерях мощности при поддержании потока реактивной мощности на уровне  $Q_{2\text{опт}}$  по сравнению с режимом полной компенсации ( $Q_2 = 0$ ) даже в самых нагруженных режимах составляет около 5 %.

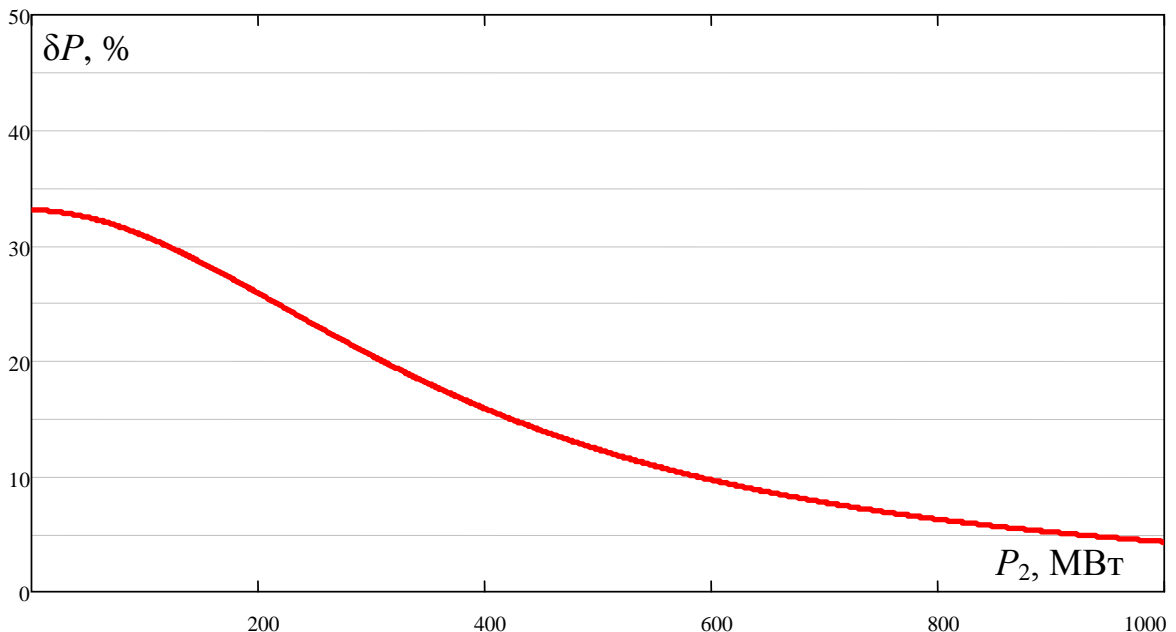


Рисунок 2 – Зависимость выигрыша в потерях мощности от нагрузки ЛЭП 500 кВ

В таблице приведены результаты расчетов рассмотренных в данной работе параметров для ряда ЛЭП разного номинального напряжения.

Таблица – Расчетные данные для ЛЭП

Уном, кВ	Марка провода	L, км	Q2опт, МВАр	δP, МВт
35	АС-70	30	0,05	0,000025
110	АС-240	80	1,35	0,0014
220	АС-240	120	7,54	0,017
330	2хАС-240	300	58,4	0,535
500	3хАС-300	500	224,4	3,03
750	4хАС-500	1000	851,1	13,98

Рассмотренные выше свойства потока реактивной мощности и его влияние на потери активной мощности в ЛЭП делают актуальным решение задачи управления этим потоком с целью минимизации потерь мощности и энергии. Как видно из данных, приведенных в таблице, оптимальное управление линиями электропередачи напряжением 330 – 750 кВ может обеспечить существенный эффект в снижении потерь мощности и энергии. Очевидно, что устройства, способные обеспечить управление потоком реактивной мощности с целью минимизации потерь, должны создаваться на принципах, характерных для так называемых «гибких линий» [3].

#### Список литературы:

1. Степанов А.С., Маругин В.И., Степанова А.А. О составляющих потерь мощности в линиях электропередач // Вестник СевКавГТУ.- 2010.- №3 (24).- С.105-108.
2. Рыжов Ю. П. Дальние электропередачи сверхвысокого напряжения – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 488 с.
3. Narain G. Hingorani, Laszlo Gyugyi. Understanding FACTS. Concepts and Technology of Flexible AC Transmission systems. – John Wiley & Sons Ltd., Publication, 1999. – 428 с.

#### Методы оперативной идентификации параметров трехобмоточных трансформаторов

*Степанов С.А., Пустовалов П.А.*

*Северо-Кавказский федеральный университет, Россия, г. Ставрополь*

[stepanovsa86@gmail.com](mailto:stepanovsa86@gmail.com)

В настоящее время для формирования расчетных математических моделей электроэнергетических систем (ЭЭС) в подавляющем большинстве случаев используются паспортные (справочные) данные элементов электрической сети: линий электропередач, трансформаторов, генераторов и т.д. В частности, в схемах замещения трансформаторов и автотрансформаторов используются параметры, полученные на заводе-изготовителе с помощью опытов короткого замыкания и холостого хода. Результаты экспериментального определения параметров режима в опытах короткого замыкания и холостого хода штатными средствами измерения имеют существенные погрешности из-за значительной несинусоидальности кривых тока и напряжения, что приводит к погрешностям при определении параметров трансформаторов по общепринятым соотношениям. Кроме того их параметры могут претерпевать ощутимые изменения в процессе эксплуатации. Следовательно, указанный подход не обеспечивает должной адекватности полученной математической модели ЭЭС. Оперативная идентификация параметров трансформаторов обеспечит адаптацию параметров схемы замещения к текущему состоянию электрической сети, позволит исследовать их поведение в различных условиях.

В [1] предложен метод идентификации параметров двухобмоточных трансформаторов на основе выражений, описывающих падение напряжения в трансформаторе в квадратичной форме, без выделения потерь на намагничивание. Применяя данный метод, можно составить аналогичные уравнения для трехобмоточного трансформатора (автотрансформатора), расчетная схема замещения которого приведена на рис. 1.

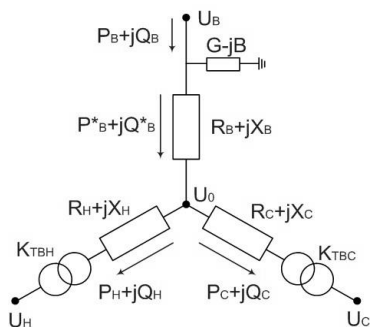


Рис. 1. Схема замещения трехобмоточного трансформатора

Для этого используем известное выражение для определения напряжения в конце ветви по напряжению в ее начале и известному потоку мощности. Для ветви схемы замещения, соответствующей обмотке ВН трансформатора, это выражение имеет вид:

$$U_0 = U_B - \frac{P_B^* R_B + Q_B^* X_B}{|U_B|} - j \frac{P_B^* X_B - Q_B^* R_B}{|U_B|},$$

где  $P_B^*$ ,  $Q_B^*$  – потоки мощностей по обмотке ВН с учетом потерь холостого хода.

$$P_B^* = P_B - U_B^2 G, \quad Q_B^* = Q_B - U_B^2 B$$

Аналогичные выражения можно записать для ветвей, соответствующих обмоткам СН и НН. Переходя к квадратичной форме, полученные уравнения запишем в виде:

$$\widehat{I}_B^2 R_B^2 + \widehat{I}_B^2 X_B^2 - 2P_B^* R_B - 2Q_B^* X_B + U_B^2 - U_0^2 = 0, \quad (1)$$

$$\widehat{I}_C^2 k_{TBC}^2 R_C^2 + \widehat{I}_C^2 k_{TBC}^2 X_C^2 - 2P_C R_C - 2Q_C X_C + U_0^2 - \frac{U_C^2}{k_{TBC}^2} = 0, \quad (2)$$

$$\widehat{I}_H^2 k_{TBH}^2 R_H^2 + \widehat{I}_H^2 k_{TBH}^2 X_H^2 - 2P_H R_H - 2Q_H X_H + U_0^2 - \frac{U_H^2}{k_{TBH}^2} = 0, \quad (3)$$

где  $U_B$  – напряжение на стороне ВН;  $U_C$  – напряжение на стороне СН;  $U_H$  – напряжение на стороне НН;  $k_{TBC}$ ,  $k_{TBH}$  – коэффициенты трансформации ВН-СН и ВН-НН;  $P_B$ ,  $Q_B$ ,  $P_C$ ,  $Q_C$ ,  $P_H$ ,  $Q_H$  – потоки активных и реактивных мощностей в обмотках ВН, СН и НН соответственно;  $R_B$ ,  $X_B$ ,  $R_C$ ,  $X_C$ ,  $R_H$ ,  $X_H$  – активные и реактивные сопротивления обмоток ВН, СН и НН соответственно,  $I_B$ ,  $I_C$ ,  $I_H$  – токи в обмотках ВН, СН и НН,  $U_0$  – напряжение в «средней» точке схемы замещения трансформатора (рис. 1).

Выразив в уравнении (1)  $U_0$  и подставив в уравнения (2) и (3), получим следующие выражения:

$$\left[ U_B^2 - 2P_B^* R_B - 2Q_B^* X_B + \widehat{I}_B^2 R_B^2 + \widehat{I}_B^2 X_B^2 \right] - \widehat{I}_C^2 k_{TBC}^2 R_C^2 - \widehat{I}_C^2 k_{TBC}^2 X_C^2 - 2P_C R_C - 2Q_C X_C - \frac{U_C^2}{k_{TBC}^2} = 0, \quad (4)$$

$$\left[ U_B^2 - 2P_B^* R_B - 2Q_B^* X_B + \widehat{I}_B^2 R_B^2 + \widehat{I}_B^2 X_B^2 \right] - \widehat{I}_H^2 k_{TBH}^2 R_H^2 - \widehat{I}_H^2 k_{TBH}^2 X_H^2 - 2P_H R_H - 2Q_H X_H - \frac{U_H^2}{k_{TBH}^2} = 0 \quad (5)$$

Так как в рассматриваемом случае имеется десять неизвестных параметров:  $R_B$ ,  $X_B$ ,  $R_C$ ,  $X_C$ ,  $R_H$ ,  $X_H$ ,  $k_{TBC}$ ,  $k_{TBH}$ ,  $G$ ,  $B$ , то потребуется сформировать и решить систему из десяти уравнений. Для этого понадобятся измерения параметров пяти различных режимов. При этом предполагается, что параметры трансформатора в период существования этих режимов не изменяются.

Помимо выражений, основанных на определении параметров трансформаторов через потери напряжения в них, можно воспользоваться выражениями, основанными на определении потерь мощности.

Потери мощности в каждой из обмоток трансформатора определяются по известным формулам:

$$\Delta P = I^2 R, \quad \Delta Q = I^2 X.$$

Считая, что

$$P_B^* - P_C - P_H - \Delta P_B - \Delta P_C - \Delta P_H = 0 \quad \text{и}$$

$$Q_B^* - Q_C - Q_H - \Delta Q_B - \Delta Q_C - \Delta Q_H = 0,$$

получим следующие выражения:

$$P_B^* - P_C - P_H - \hat{I}_B^2 R_B - \hat{I}_C^2 k_{TBC}^2 R_C - \hat{I}_H^2 k_{TBH}^2 R_H = 0, \quad (6)$$

$$Q_B^* - Q_C - Q_H - \hat{I}_B^2 X_B - \hat{I}_C^2 k_{TBC}^2 X_C - \hat{I}_H^2 k_{TBH}^2 X_H = 0. \quad (7)$$

В выражениях (6), (7) содержатся те же десять неизвестных. Следовательно, если выражения (4), (5) и (6), (7) использовать совместно, то можно получить систему из двенадцати уравнений с измерениями величин, характеризующих всего три различных режима:

$$\left\{ \begin{array}{l} \left[ U_{Bi}^2 - 2P_{Bi}^* R_B - 2Q_{Bi}^* X_B + \hat{I}_{Bi}^2 R_B^2 + \hat{I}_{Bi}^2 X_B^2 \right] - \hat{I}_{Ci}^2 k_{TBC}^2 R_C^2 - \hat{I}_{Ci}^2 k_{TBC}^2 X_C^2 - \\ - 2P_{Ci} R_C - 2Q_{Ci} X_C - \frac{U_{Ci}^2}{k_{TBC}^2} = 0 \\ \left[ U_{Hi}^2 - 2P_{Hi}^* R_B - 2Q_{Hi}^* X_B + \hat{I}_{Hi}^2 R_B^2 + \hat{I}_{Hi}^2 X_B^2 \right] - \hat{I}_{Hi}^2 k_{TBH}^2 R_H^2 - \hat{I}_{Hi}^2 k_{TBH}^2 X_H^2 - \\ - 2P_{Hi} R_H - 2Q_{Hi} X_H - \frac{U_{Hi}^2}{k_{TBH}^2} = 0 \\ P_{Bi}^* - P_{Ci} - P_{Hi} - \hat{I}_{Bi}^2 R_B - \hat{I}_{Ci}^2 k_{TBC}^2 R_C - \hat{I}_{Hi}^2 k_{TBH}^2 R_H = 0 \\ Q_{Bi}^* - Q_{Ci} - Q_{Hi} - \hat{I}_{Bi}^2 X_B - \hat{I}_{Ci}^2 k_{TBC}^2 X_C - \hat{I}_{Hi}^2 k_{TBH}^2 X_H = 0 \end{array} \right. \quad (8)$$

где  $i = 1, 2, 3$  – номер одного из трех требуемых режимов.

В полученной системе (8) уравнения, описывающие падение напряжения, являются нелинейными, а выражения, описывающие потери мощности – линейными. Для решения данной системы уравнений можно воспользоваться методом Ньютона. В целях упрощения расчетов и повышения сходимости следует из линейных уравнений выразить зависимости  $R_C$ ,  $X_C$ ,  $R_H$ ,  $X_H$ :

$$R_C = \frac{(P_{B1}^* - P_{C1} - P_{H1} - \hat{I}_{B1}^2 R_B) \hat{I}_{H2}^2 k_{TBH}^2 - (P_{B2}^* - P_{C2} - P_{H2} - \hat{I}_{B2}^2 R_B) \hat{I}_{H1}^2 k_{TBH}^2}{\hat{I}_{C1}^2 k_{TBC}^2 \cdot \hat{I}_{H2}^2 k_{TBH}^2 - \hat{I}_{C2}^2 k_{TBC}^2 \cdot \hat{I}_{H1}^2 k_{TBH}^2} \quad (9)$$

$$R_H = \frac{(P_{B2}^* - P_{C2} - P_{H2} - \hat{I}_{B2}^2 R_B) \hat{I}_{C1}^2 k_{TBC}^2 - (P_{B1}^* - P_{C1} - P_{H1} - \hat{I}_{B1}^2 R_B) \hat{I}_{C2}^2 k_{TBC}^2}{\hat{I}_{C1}^2 k_{TBC}^2 \cdot \hat{I}_{H2}^2 k_{TBH}^2 - \hat{I}_{C2}^2 k_{TBC}^2 \cdot \hat{I}_{H1}^2 k_{TBH}^2} \quad (10)$$

$$X_C = \frac{(Q_{B1}^* - Q_{C1} - Q_{H1} - \hat{I}_{B1}^2 X_B) \hat{I}_{H2}^2 k_{TBH}^2 - (Q_{B2}^* - Q_{C2} - Q_{H2} - \hat{I}_{B2}^2 X_B) \hat{I}_{H1}^2 k_{TBH}^2}{\hat{I}_{C1}^2 k_{TBC}^2 \cdot \hat{I}_{H2}^2 k_{TBH}^2 - \hat{I}_{C2}^2 k_{TBC}^2 \cdot \hat{I}_{H1}^2 k_{TBH}^2} \quad (11)$$

$$X_H = \frac{(Q_{B2}^* - Q_{C2} - Q_{H2} - \hat{I}_{B2}^2 X_B) \hat{I}_{C1}^2 k_{TBC}^2 - (Q_{B1}^* - Q_{C1} - Q_{H1} - \hat{I}_{B1}^2 X_B) \hat{I}_{C2}^2 k_{TBC}^2}{\hat{I}_{C1}^2 k_{TBC}^2 \cdot \hat{I}_{H2}^2 k_{TBH}^2 - \hat{I}_{C2}^2 k_{TBC}^2 \cdot \hat{I}_{H1}^2 k_{TBH}^2} \quad (12)$$

Подставив полученные выражения (9)-(12) в нелинейные уравнения системы (8) и решив ее методом Ньютона, получим значения параметров  $R_B$ ,  $X_B$ ,  $k_{TBC}$ ,  $k_{TBH}$ ,  $G$ ,  $B$ . По найденным значениям переменных  $R_B$ ,  $X_B$ ,  $k_{TBC}$ ,  $k_{TBH}$ ,  $G$ ,  $B$  определяются значения  $R_C$ ,  $X_C$ ,  $R_H$ ,  $X_H$ .

Полученные зависимости решений нелинейных уравнений от искомых переменных  $R_B$ ,  $X_B$ ,  $k_{TBC}$ ,  $k_{TBH}$  приведены на рисунке 2. Точки пересечения кривых являются решениями системы уравнений.

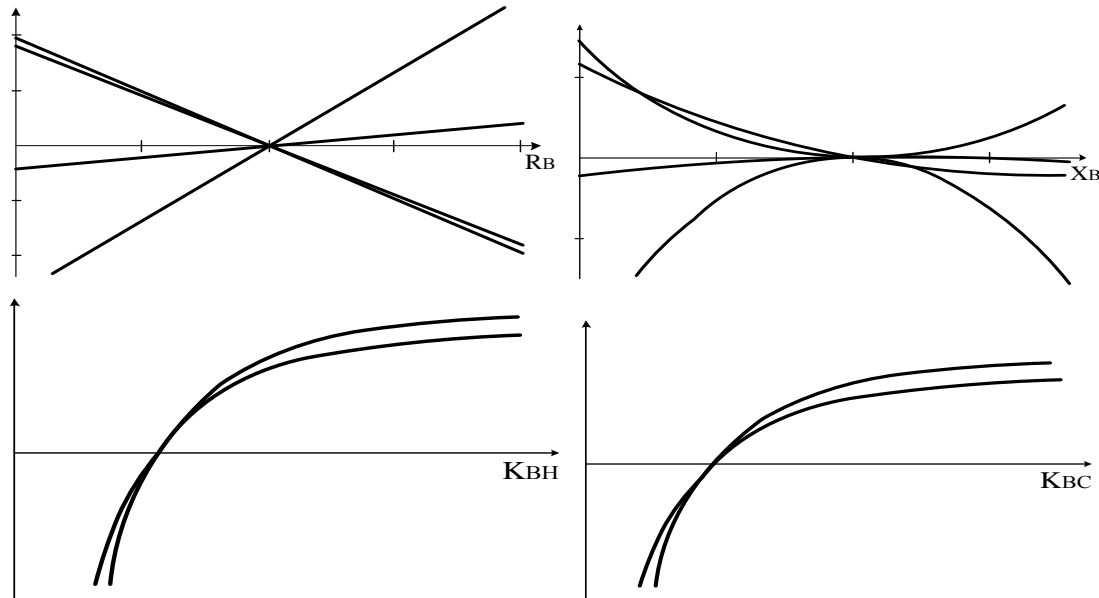


Рис.2. Характер зависимостей решений уравнений от искомых переменных

Предлагаемая модель позволяет оперативно идентифицировать параметры трехобмоточных трансформаторов (автотрансформаторов), в том числе уточнять величины сопротивлений обмоток в зависимости от текущего положения РПН, температуры и т.д.

Использование достоверных, синхронизированных во времени измерений параметров режима, полученных с помощью устройств РМУ [2], позволит достичь требуемого для проведения идентификации уровня качества исходных данных, а также даст возможность дополнить предлагаемую модель идентификации алгоритмом, основанным на определении разности углов между напряжениями  $U_B - U_C$  и  $U_B - U_H$ :

$$\operatorname{tg}(\delta_{B-C}) = \frac{-\frac{P_B X_B - Q_B R_B}{|U_B|} - \frac{P_C X_C - Q_C R_C}{|U_C/k_{TBC}|}}{U_B - \frac{P_B R_B + Q_B X_B}{|U_B|} - \frac{P_C R_C + Q_C X_C}{|U_C/k_{TBC}|}} \quad (13)$$

$$\operatorname{tg}(\delta_{B-H}) = \frac{-\frac{P_B X_B - Q_B R_B}{|U_B|} - \frac{P_H X_H - Q_H R_H}{|U_H/k_{TBH}|}}{U_B - \frac{P_B R_B + Q_B X_B}{|U_B|} - \frac{P_H R_H + Q_H X_H}{|U_H/k_{TBH}|}} \quad (14)$$

Система уравнений (8), дополненная уравнениями (13), (14), требует для проведения идентификации измерения величин, характеризующих всего два различных режима.

#### Список литературы:

1. Бердин А.С., Крючков П.А. Формирование параметров модели ЭЭС для управления электрическими режимами. Екатеринбург: Изд. УГТУ, 2000. 107 с.
2. IEEE Standard for Synchrophasors for Power System / IEEE Std. C37.118-2005. – New York: IEEE, 2006. – 57 p.

### Современные способы моделирования управляемого подмагничиванием шунтирующего реактора

А.А. Суворов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск

[lejkasvr@yandex.ru](mailto:lejkasvr@yandex.ru)

Существенное повышение управляемости и эффективности функционирования электроэнергетических систем может быть достигнуто путем применения управляемых технологий и устройств FACTS (Flexible Alternative Current Transmission Systems), к которым относятся: управляемые шунтирующие реакторы (УШР), статические тиристорные компенсаторы (СТК), статические синхронные компенсаторы (СТАТКОМ) и другие. Среди FACTS устройств наиболее распространённым в настоящее время, особенно в российских сетях, является УШР, основные назначения которого: компенсация реактивной мощности для регулирования напряжения и минимизация потерь за счет уменьшения потоков реактивной мощности. В российских сетях, как правило, применяются два типа УШР: УШР трансформаторного типа (УШРТ) и УШР с подмагничиванием (УШРП), которому посвящена данная работа.

УШРП выполняется на общих принципах трансформаторостроения и, как правило, на общем сердечнике реактора располагается сетевая обмотка, компенсирующая обмотка и обмотка управления. Сетевая обмотка является основной рабочей обмоткой, управляющая подключена к регулируемому по значению источнику постоянного напряжения. Каждая из обмоток создает свои магнитные потоки: сетевая обмотка - переменный поток промышленной частоты; управляющая - постоянный, регулируемый по значению поток подмагничивания. Постоянный поток подмагничивания смещает переменный поток в область насыщения кривой намагничивания стали, что и приводит к изменению индуктивного сопротивления устройства. При насыщении сердечника возникает искажение сигнала, а именно появляется ток третьей гармоники, для ограничения которого применяется соединенная в треугольник компенсационная обмотка [1].

При формировании уравнений, описывающих процессы протекающие в УШРП, учитывается взаимодействие каждой обмотки фазы с собственным основным магнитным потоком и потоком рассеивания. Согласно обозначенному подходу создаваемая математическая модель должна объединять в себе систему уравнений трех фаз трехобмоточного реактора, которая включает в себя:

1. Уравнения магнитосвязанных потоком фазы контуров каждой обмотки:

$$\begin{aligned} w_{\hat{N}i} \frac{d\hat{O}_{0i}}{dt} + L_{\hat{N}i} \frac{di_{\hat{N}i}}{dt} + r_{\hat{N}i} i_{\hat{N}i} &= u_{\hat{N}i} \\ w_{\hat{E}i} \frac{d\hat{O}_{0i}}{dt} + L_{\hat{E}i} \frac{di_{\hat{E}i}}{dt} + r_{\hat{E}i} i_{\hat{E}i} &= 0 \\ w_{\hat{O}i} \frac{d\hat{O}_{0i}}{dt} + L_{\hat{O}i} \frac{di_{\hat{O}i}}{dt} + r_{\hat{O}i} i_{\hat{O}i} &= u_{\hat{O}i} \end{aligned}$$

где:  $w_{ji}$  - число витков  $j$ -ой обмотки;

$i$  - фазы  $A, B, C$ ;

$\hat{O}_0$  - мгновенное значение основного магнитного потока фазы  $i$ ;

$\hat{O}_{0i}$  - мгновенное значение магнитного потока управления фазы  $i$ ;

$L_{ji}$  - индуктивность рассеивания  $j-i$  обмотки фазы  $i$ ;

$i_{ji}$  - мгновенное значение тока в  $j-i$  обмотке фазы  $i$ ;

$r_{ji}$  - активное сопротивление  $j-i$  обмотки фазы  $i$ ;

$u_{ji}$  - мгновенное значение напряжения  $j-i$  обмотки фазы  $i$ .

2. Уравнения магнитодвижущих сил для каждой фазы:

$$w_{\hat{N}i} \cdot i_{\hat{N}i} + w_{\hat{E}i} \cdot i_{\hat{E}i} + w_{\hat{O}i} \cdot i_{\hat{O}i} = F_{\hat{I}i}$$



где  $F_{i\dot{a}i}$  – намагничивающая сила для фазы  $i$ , определяемая с учетом возможного насыщения стали выражением:

$$F_{i\dot{a}i} = K_{\mu} \hat{O}_{0i}.$$

Полученные системы уравнений позволяют синтезировать соответствующую математическую модель УШРП, воспроизводящую процессы в обмотках, с учетом магнитопровода и его нелинейности, а также программно-аппаратной реализации данной модели, которая позволит бездекомпозиционно и непрерывно в реальном времени и на неограниченном интервале осуществлять обработку такого рода математических моделей, содержащих жесткую нелинейную систему дифференциальных уравнений, с гарантированной точностью. Решение такой модели численным путем не эффективно, в связи с необходимым для этого упрощением и ограничением математической модели, и как следствие сокращением полноты и достоверности моделирования.

Создание указанной модели и разработка альтернативного пути решения, а также программно-аппаратных средств, адаптированных для применения в соответствующей среде моделей ЭЭС является весьма актуальной задачей, с решением которой связана данная работа, включающая синтез обозначенной математической модели и создание программно-аппаратных средств – специализированного процессора УШР (СПР), структура которого изображена на рисунке 1.

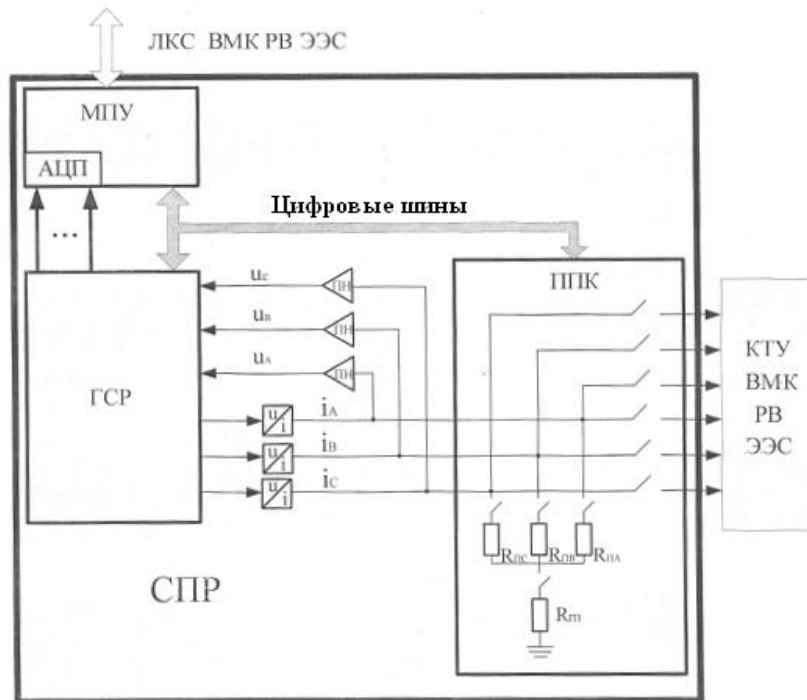


Рис.1. Структура специализированного процессора УШР

В состав СПР входят:

1. Микропроцессорный узел (МПУ), с помощью которого моделируется САУ УШРП и всё информационное управление. МПУ содержит центральный и периферийный микроконтроллер и аналого-цифровой преобразователь. САУ УШРП имеет три канала: по напряжению, по току и по реактивной мощности. Пример блок-схемы работы САУ приведен на рисунке 2. Каждый канал содержит защиту от перегрузки и от перенапряжения. Есть режимы форсированной загрузки и разгрузки УШРП. Изменение сопротивления УШРП пропорционально отклонению напряжения, тока или реактивной мощности от уставки.

2. Гибридный сопроцессор реактора (ГСП), с помощью которого осуществляется непрерывное и неявное решение системы дифференциальных уравнений математической модели УШРП в реальном времени и на неограниченном интервале. Выходные переменные ГСП представляются выходными напряжениями, которые преобразуются с помощью преобразователей

$u/i$  в модельные физические токи. Непрерывная информация о напряжениях в выходных узлах с помощью повторителя напряжений вводится в ГСР.

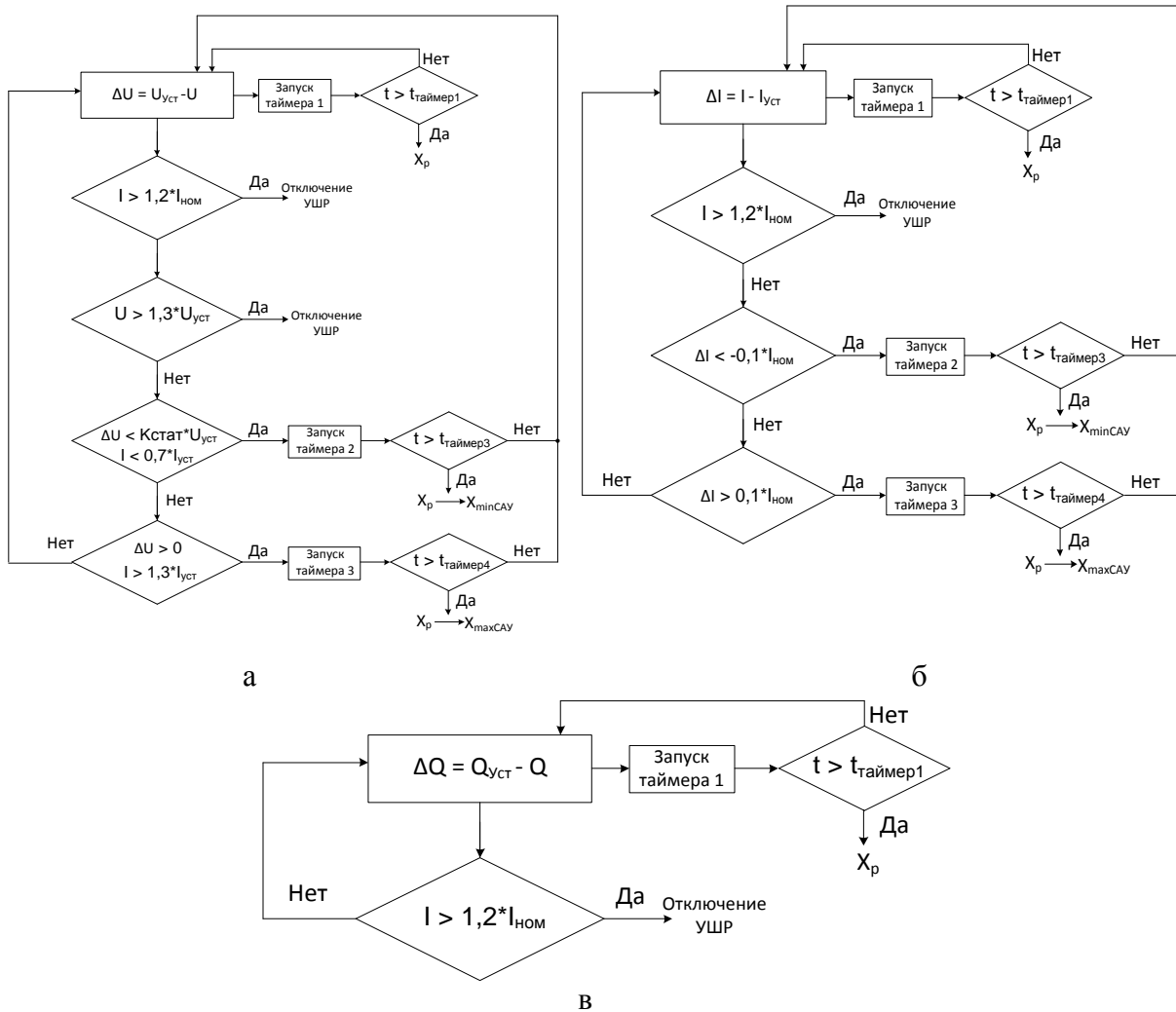


Рис. 2. Блок схема работы канала САУ а) по напряжению б) по току в) по реактивной мощности

3. Для осуществления всевозможного спектра трехфазных и пофазных продольно-поперечных коммутаций (ППК) используется цифро-управляемые аналоговые ключи. Переходное сопротивление коммутации реализуется с помощью цифро-управляемых сопротивлений.

Разработанный подобным образом СПР адаптирован для использования во Всережимном моделирующем комплексе реального времени электроэнергетических систем, который был создан в Энергетическом институте Томского политехнического университета [2].

#### Список литературы:

1. Брянцев А.М. Управляемые подмагничиванием электрические реакторы. – М.: Знак, 2004.
2. Боровиков Ю. С., Гусев А. С., Сулайманов А. О. Принципы построения средств моделирования в реальном времени интеллектуальных энергосистем. – Электричество, 2012, №6.

#### Перспективы развития ветроэнергетики на территории с экстремально-низкими температурами в зимний период

*Тремясов В.А., Бобров А.В., Кенден К.В.*

*Сибирский федеральный университет, Россия, г. Красноярск*

[kusa08@mail.ru](mailto:kusa08@mail.ru)

Основной проблемой районов крайнего Севера на сегодняшний день является отсутствие эффективного электроснабжения потребителей. Традиционным путем решения данной проблемы является замена устаревших дизельных электростанций (ДЭС) с корректировкой их

установленных мощностей. Принципиально более привлекательный вариант совершенствования системы электроснабжения является ее построение с ориентацией на местные, в том числе возобновляемые энергоресурсы.

Таймырский Долгано-Ненецкий автономный округ также относится к районам крайнего Севера. Централизованное электроснабжение потребителей района осуществляется от Норильской энергосистемы, расположенной на Юго-западной части Таймырского автономного округа (Норильские ТЭЦ – Усть-Хантайская ГЭС – Курейская ГЭС) и частично на территории северо-западной части Туруханского района, остальная часть территории и около половины населения района получают электроснабжения за счет 24 автономных дизельных электростанции с общей мощностью 30 МВт. Эти ДЭС обеспечивают жизнедеятельность примерно 40 населенных пунктов на площади 880 тыс. кв.км [1].

Исследования Таймырского Долгано-Ненецкого автономного округа на ветроэнергетический потенциал представлены в работах [1, 2]. В [3] подробно описывается опыт внедрения ветроэнергетических установок производства Днепропетровского исследовательского конструкторского бюро (Украина). Опыт эксплуатации показал, что далеко не все ВЭУ способны работать в условиях арктического климата. Для эксплуатации на территории Заполярья требуются ветроэнергетические установки, способные выдерживать низкие температуры и гололедные явления. Перспективной в данном направлении представляется разработка немецкой компании «Nordwind Energieanlagen GmbH». Принципиальное отличие ВЭУ «Nordwind» состоит в отсутствии системы поворотных лопастей (pitch-системы), которая в наибольшей степени подвержена выходу из строя при образовании гололеда. Регулировка мощности у данных ВЭУ осуществляется с помощью гидравлической системы, которая расположена внутри гондолы и полностью защищена от негативного воздействия окружающей среды. Использование гидравлической системы в ветроэнергетических установках осуществляют всего два мировых производителя: новозеландская компания «Windflow» и немецкая компания «Nordwind». Немецкие разработчики, в отличие от новозеландских коллег, проявляют большой интерес рынку северных территорий России и Канады. Новозеландская компания ориентирована на южные страны. Опыт эксплуатации ВЭУ «Nordwind» в условиях Альпийских гор показал возможность эксплуатации ВЭУ при температуре до -40 оС. Разработчиками планируются дальнейшие разработки в направлении устойчивости ВЭУ к гололедным явлениям. Предполагается, что в перспективе нескольких лет данная технология ветроэнергетических установок станет активно использоваться на территории России.

Помимо технологии компании «Nordwind» имеется ряд отечественных и зарубежных производителей, выпускающих ВЭУ для эксплуатации в климатических условиях России и Канады, использующих другие технологии адаптации к условиям Крайнего Севера. Произведена оценка эффективности использования ВЭУ различных производителей на территории Таймыра. Среднегодовые скорости ветра в Таймырском районе, полученные за 10-летний срок наблюдения метеорологическими станциями, представлены в таблице 1.

Институтом систем энергетики им. Л.А. Мелентьева предложено считать эффективной зоной использования ветроэнергетических установок на территории России зону со среднегодовой скоростью ветра, составляющей 5 м/с и более. При среднегодовой скорости в диапазоне от 3 до 5 м/с повторяемости скорости ветра носит выраженный сезонный характер – ветровая энергия может быть эффективно использована преимущественно в весенний и осенний период, а зоны, на которых среднегодовая скорость ветра менее 3 м/с малоприспособны для использования ВЭУ с ветроколесом, установленным на высоте флюгера. Отсюда значения среднегодовых скоростей ветра целесообразно группировать по 3 основным ветроэнергетическим зонам:

I ветровая зона с высоким ветроэнергетическим потенциалом, где среднегодовая скорость ветра составляет более 5 м/с;

II ветровая зона со средним ветроэнергетическим потенциалом, где среднегодовая скорость ветра составляет от 3 до 5 м/с;

III ветровая зона с низким ветроэнергетическим потенциалом, где среднегодовая скорость ветра составляет до 3 м/с включительно.

Из таблицы 1 видно, что преобладающая часть метеорологических станций относятся к I ветровой зоне, расположенной в основном на границе с Северным Ледовитым океаном, оставшаяся часть попадает под II ветровую зону, и всего 2 станции, находящиеся в южной части района относятся к III ветровой зоне.

На территории Таймыра рассмотрено 19 населенных пунктов, перспективных к строительству ветроэнергетических установок (ВЭУ) с точки зрения ВЭП и наличия

энергодефицита. На основе значений среднегодовых скоростей ветра авторами работы [4] произведен расчет технико-экономической оценки (ТЭО) возможностей ветроэнергетических установок современных производителей в России и за рубежом в климатических условиях населенных пунктов, расположенные в I и II зонах. ТЭО произведена для ВЭУ различных производителей, работающих в комбинированной ветро-дизельной системе электроснабжения совместно с существующими ДЭС. В основу технико-экономической оценки положен алгоритм, представленный в работе [3] и составленный на основе общепризнанных методик [4, 5]:

Таблица 1 – Среднегодовые скорости ветра по метеорологическим данным в Таймырском Долгано-Ненецком муниципальном районе

Ветровая зона	Метеорологическая станция	Среднегодовая скорость ветра, м/с
I	Краснофлотские, острова	5,7
	Солнечная, бухта	6,4
	Малый Таймыр, остров	5,9
	Челюскин, мыс	6,7
	Уединения, остров	6,7
	Русский, остров	6,3
	Андрея, остров	5,9
	Тыртова, остров	6,3
	Правды, остров	6
	Таймыры, реки, устье (Устье Таймыры)	6,5
	Эклипса, бухта (бухта Ломоносова)	6,3
	Известий ЦИК, острова	6,1
	Стерлегова, мыс	6,7
	Таймырское озеро	6,1
	Косистый, мыс	6,2
	Диксон, остров	7,5
	Усть-Тарей	5,7
	Лескина, мыс	6,8
	Сопочная Корга и Гольчиха	6,4
	Кресты Таймырские	6,9
	Караул и Толстый Нос	7,1
	Усть-Енисейский порт	5,8
	Дудинка	5,6
Норильск и Тиксель, озеро	5,7	
Надежда	7,3	
Медвежий Ручей	6,6	
II	Прончищевой, бухта	4,9
	Хатанга	4,8
	Волочанка	3,9
	Валек	4,9
	Имангда, Рудная	4,2
	Потапопо	4,5
III	Лама, озеро	1,2
	Имангда, Гремяка	2,6

произведен выбор вариантов состава и установленной мощности ветроэнергетических установок в составе ветродизельных комплексов, который определялся на основе характеристик (климатическое исполнение ВЭУ, объем потребления электрической энергии населенным пунктом, установленная мощность ВЭУ);

определены основные показатели капитальных затрат К и срока окупаемости ТОК для типовых ВЭУ различных производителей, перспективных к использованию в арктическом климате.

Результаты расчетов приведены в таблицах 2-4.

Таблица 2 – Расчетные капитальные затраты на строительство и срок окупаемости для ВЭУ средней мощности в населенных пунктах Таймыра.

Населенный пункт	Производители ВЭУ							
	Vergnet GEV R MP275		Nordwind NW24-180 HY-D		Northern Power 100		Endurance E-3120	
	К, млн. руб.	ТОК, лет	К, млн. руб.	ТОК, лет	К, млн. руб.	ТОК, лет	К, млн. руб.	ТОК, лет
Пос. Диксон	142,85	2,74	152,8	2,73	258,2	5,32	194,6	4,35
Пос. Караул	102,9	3,65	120,6	3,46	187,64	7,60	147,8	5,68
Село Каяк	62,95	6,48	88,4	5,29	70,04	7,28	85,4	7,23
Пос. Носок	62,95	5,25	88,4	4,33	140,6	8,46	116,6	6,51

Таблица 3 – Расчетные капитальные затраты на строительство и срок окупаемости для ВЭУ малой мощности в населенных пунктах Таймыра.

Населенный пункт	Производители ВЭУ							
	Nordwind NW17-60		Hummer H12-50000W		Endurance E-3120		Муссон-30	
	К, млн. руб.	ТОК, лет	К, млн. руб.	ТОК, лет	К, млн. руб.	ТОК, лет	К, млн. руб.	ТОК, лет
Пос. Волочанка	83,85	6,16	107,52	7,65	72,9	5,07	76,02	4,49
Пос. Воронцово	39,84	6,65	42,84	8,76	41,7	8,07	30,97	5,57
Пос. Жданиха	39,84	6,86	42,84	10,75	41,7	7,47	30,97	7,48
Село Каттырык	39,84	8,96	64,40	13,71	41,7	9,42	43,26	8,28
Село Кресты	25,17	5,49	21,28	9,01	26,1	6,47	18,69	5,82
Пос. Левинские пески	25,17	8,03	32,06	5,55	26,1	5,20	22,78	5,52
Село Новая	54,51	7,92	64,4	12,73	41,7	9,42	43,26	8,28
Село Новорыбная	39,84	6,86	64,4	9,24	41,7	7,47	43,26	5,78
Село Попигай	25,17	9,37	32,06	12,87	26,1	10,13	26,88	7,69
Пос. Потапово	54,51	5,94	64,4	6,94	57,3	4,78	47,35	4,41
Село Сындасско	39,84	6,86	53,62	9,79	41,7	7,47	39,16	6,15
Пос. Усть-Авам	83,85	6,16	118,3	7,54	88,5	4,88	84,21	4,47
Пос. Хантайское озеро	69,18	5,24	85,96	7,74	72,9	5,74	63,73	4,75
Село Хета	54,51	7,92	64,4	12,29	57,3	8,36	47,35	8,47

Таблица 4 – Расчетные капитальные затраты на строительство и срок окупаемости для ВЭУ большой и средней мощности в населенных пунктах Таймыра.

Населенный пункт	FL MD 77		GEV HP 1MW		NW52-900 HY-D HW		GEV MP C	
	К, млн. руб.	ТОК, лет	К, млн. руб.	ТОК, лет	К, млн. руб.	ТОК, лет	К, млн. руб.	ТОК, лет
Село Хатанга	373,8	2,15	582,5	2,82	236	1,94	696,9	3,67

Опыт эксплуатации ВЭУ на территории севера России может быть также использован для других регионов России. С одной стороны, опыт может быть полезен для регионов Крайнего Севера (Ямало-Ненецкому автономному округу, Республики Саха (Якутия) и др.), но также и для районов, расположенных на юге России, приравненных к регионам Крайнего севера. К таким относятся республики Тыва и Алтай. Зимний минимум в указанных регионах может достигать -45 оС. Условия эксплуатации ВЭУ в зимний период очень схожи с условиями эксплуатации ВЭУ на Крайнем Севере и требуют от ветроэнергетической установки устойчивости ко всем проявлениям сурового климата. С другой стороны, на территории республики Тыва имеется ряд перспективных высокогорных населенных пунктов и горнодобывающих предприятий, также получающих электроснабжение от ДЭС. Высокогорные вершины обладают достаточно высоким ветроэнергетическим потенциалом, соизмеримым с потенциалом прибрежных зон Северного

Ледовитого океана. Опыт эксплуатации пилотных ветроэнергетических установок определит перспективу использования ВЭУ конкретного производителя на территории с экстремальными климатическими условиями.

#### Список литературы:

1. Бобров А.В. Электроснабжение северных территорий Красноярского края на основе ветродизельных комплексов: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук – Красноярск., 2010 – 201 с.
2. Исследовательский отчет проекта: «Технико-экономическая оценка возможности использования возобновляемых источников энергии на территории Красноярского края в разрезе муниципальных образований края» - Красноярск, 2013 – 23 – 77 с.
3. Гагач Д. К., и др. Первая ветродизельная электростанция на Таймыре - И Кб "Юг-Контакт", Украина.
4. Безруких, П.П. Ресурсы и эффективность использования возобновляемых источников энергии в России [Текст] :П. П. Безруких[и др.]. -СПб.: Наука,2002. – 314 с.
5. Оценка ресурсов нетрадиционных источников энергии и объемов экономического их использования по регионам России. Договор № 98-14-19. Этап 1. Разработка научных, технических и экономических основ методик оценки ресурсов нетрадиционных источников энергии и объемов экономического их использования / Минтопэнерго РФ. АО ВИЭН. М.: 1998. (Рукопись).

#### Использование солнечной энергии в системах электроснабжения населенных пунктов Тывы

*Тремясов В.А., Бобров А.В., Кенден К.В.*

*Сибирский федеральный университет, Россия, г. Красноярск*

[kuca08@mail.ru](mailto:kuca08@mail.ru)

Согласно разработанной в Главной геофизической обсерватории методике районирования по валовому гелиопотенциалу Республики Тыва, южные районы Красноярского края наряду с Амурской областью, югом Читинской области относятся к первой группе, наиболее перспективной для использования солнечной энергии [1].

По оценкам специалистов, использование солнечной энергии целесообразно при годовой продолжительности солнечного сияния не менее 2000 часов. Другим показателем является количество поступившей на гелиоприемник солнечной радиации (энергии) и изменчивость ее во времени в течение года.

Используя солнечную радиацию как дополнительный источник энергии совместно с дизельными генераторами в отдаленных районах Тывы можно существенно сократить затраты на дизельное топливо.

Максимальный приход солнечной радиации характерен для южных районов республики в пределах Убсунурской котловины. Село Качык расположено в юго-восточной части республики и граничит с Монголией. В отдаленном селе на расстоянии 130 км от районного центра проживает 304 человек, получаая электроснабжение от дизельной электростанции (ДЭС) мощностью 30 кВт.

Для выбора структурной схемы и параметров элементов системы автономного электроснабжения с использованием энергии солнца необходимы, прежде всего, суточные графики нагрузок потребителей и среднемесячные значения прихода солнечной энергии на горизонтальную поверхность.

По изложенной в работе [2] методике расчета поступления солнечной радиации были получены среднемесячные значения прихода солнечной энергии на горизонтальную поверхность для села Качык (табл.1). Годовой приход солнечной энергии на горизонтальную поверхность составил 1555 кВт·ч/м<sup>2</sup>.

Таблица 1. Среднемесячные значения прихода солнечной энергии на горизонтальную поверхность

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
E, кВт·ч/м <sup>2</sup>	40	71	142	174	213	221	214	183	134	86	45	32

Простым и удобным на этапе предварительного проектирования является метод расчета часового электропотребления на основе многолетних накопленных данных, отражающих характер графика нагрузки электрической сети в зависимости от числа потребителей и времени года. Эти данные достаточно информативны и легко могут быть использованы в расчетных методах.

Поэтому с учетом сезонного и месячного изменения потребляемой энергии, за основу были взяты профили суточного электропотребления, приведенные в [3].

На рис. 1 и 2 представлены суточные графики нагрузок с максимальным потреблением (январь) и периода с минимальным потреблением (июль) электроэнергии.

За среднесуточное потребление электроэнергии одним человеком был взята величина, равная 1,2 кВт. Среднесуточное потребление электроэнергии потребителями в январе составляет 445 кВт·ч/сут., в июле – 283 кВт·ч/сут. Максимальная нагрузка приходится на вечернее время зимой и доходит до 24 кВт. Общее годовое потребление села Качык составило 129600 кВт·ч.

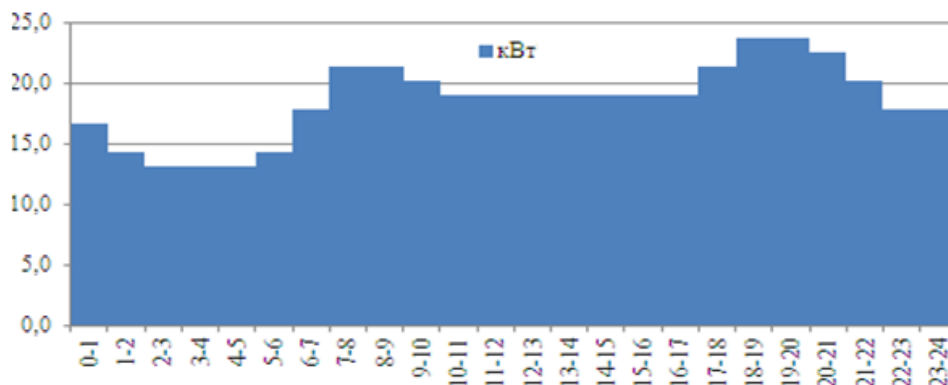


Рис. 1. Зимний суточный график нагрузки (январь)

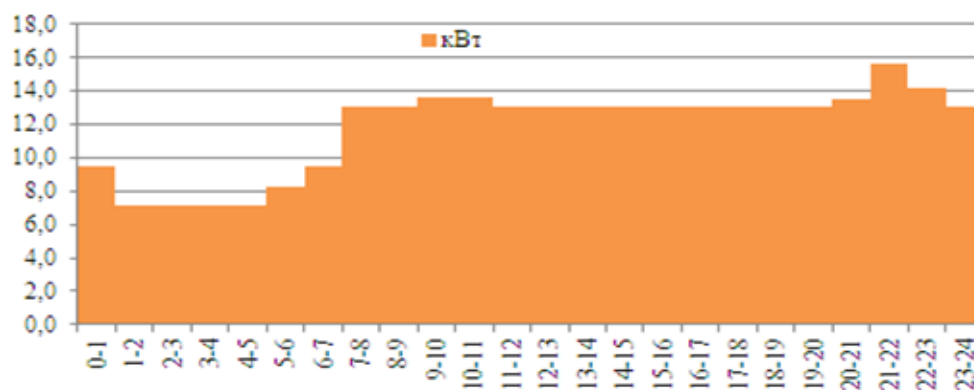


Рис. 2. Летний суточный график нагрузки (июль)

Структурная схема автономной солнечно-дизельной электростанции (СДЭ) представлена на рис. 3. Устройство АВР переключает питание нагрузки на дизель-генератор при отсутствии солнечной энергии и полном разряде аккумуляторной батареи (АБ).



Рис.3. Структурная схема автономной солнечно-дизельной электростанции

Необходимое количество  $N$  фотоэлектрических модулей (ФЭМ) для солнечной электроустановки (СЭУ) определяется по формуле [4]:

$$N = \frac{P_{нагр}}{\frac{E}{3,6 \times n} \times P_{СМ}}, \quad (1)$$

где РНАГР – нагрузка станции, 15 кВт;  $E$  – суммарная солнечная радиация на горизонтальную поверхность, кВт·ч/м<sup>2</sup> (табл.1);  $n$  – число дней в месяце; РСМ – мощность одного ФЭМ, 0,25 кВт.

С апреля по сентябрь зависимость необходимого количества ФЭМ для каждого месяца практически линейная. Поэтому принимаем количество ФЭМ  $N = 60$ , что соответствует месяцу марту и октябрю. Установка большего количества модулей экономически нецелесообразна ввиду резко увеличивающихся затрат. Номинальная мощность СЭУ  $P = 60 \cdot 0,25 = 15$  кВт. Годовая выработка электроэнергии СЭУ составляет 6479 кВт·ч.

ФЭМ пиковой мощностью по 250 Вт каждый и напряжением 48 В, соединяются в 12 групп по 5 штук, каждая из которых генерирует напряжение 240 В. Параллельно с ФЭМ подсоединена АБ. Выбор емкости АБ определяется суммарной мощностью батареи, суточным и сезонным графиком потребления электроэнергии, уровнем солнечной инсоляции и экономическими факторами. Энергия, запасенная в АБ, должна быть в 2–4 раза больше установленной мощности СЭУ. АБ состоит из 25-и аккумуляторов с емкостями по 193 А·ч. каждый.

Для преобразования постоянного напряжения в переменное используется инвертор, со встроенным устройством заряда аккумулятора.

При определении капитальных затрат на СДЭ учитываются затраты на все комплектующие. Стоимость всех составных частей СДЭ приведена в табл. 2.

Таблица 2. Капитальные затраты на составные части автономной СДЭ (Куст)

№	Наименование	Марка	Цена за единицу, тыс. руб	Кол-во	Итого, тыс. руб
1	Фотоэлектрический модуль	SUNWAYS ФСМ 250	14	60	840
2	Дизельный генератор	IS-40 Mobile-Strom	615,38	1	615,38
3	Инвертор	HYBRID 48В 18кВт	129	1	129
4	Аккумуляторная батарея	HZY12-200	18,47	25	461,75
5	Контроллер	Morningstar TS-MPPT-60	26,9	1	26,9
6	Дополнительное оборудование				84,25
Итого:					2157,3

К общим капиталовложениям  $K$  следует также отнести стоимость проектных  $K_{np}$  и строительных работ  $K_{стр}$  по определению местоположения и установки станции на местности [5]:

$$K = K_{уст} + K_{np} + K_{стр} \quad (2)$$

Стоимость проектных работ  $K_{np}$  по определению места установки станции на местности принимается в размере 10 % от величины капиталовложений.

Стоимость строительных работ  $K_{стр}$  определяется по формуле:

$$K_{стр} = k_p \times K_{уст}, \quad (3)$$



где  $k_p$  - коэффициент затрат на установку станции, (о.е.), величина коэффициента в расчетах принималось постоянной и равной 0,04.

В эксплуатационные расходы входят затраты на обслуживание и ремонт:

$$C_{\text{рем}} = \kappa_{\text{рем}} \times P_n \times (K_{\text{уст}} + K_{\text{стр}}), \quad (4)$$

где  $\rho_n = 1/T$  - нормативный коэффициент рентабельности, где  $T$  – экономический срок службы оборудования (лет), равный 15;  $K_{\text{рем}}$  - коэффициент затрат на ремонт (о.е.), принимаемый равным 0,2.

В табл. 3 приведены основные технико-экономические показатели СДЭ.

Таблица 3. Техничко-экономические показатели СДЭ (с. Качык, Республика Тыва)

Капиталовложения, тыс. руб.	2157,3
Эксплуатационные расходы, тыс. руб./год	18
Годовая выработка электроэнергии СЭС, кВт·ч	21269
Срок окупаемости, лет	11

#### Список литературы:

1. Иванова, И.Ю. Возможности использования солнечного излучения в Амурской области как одного из факторов снижения вредного воздействия на природную среду: сб. тр. 5-й Всероссийской НПК с международным участием / И.Ю. Иванова, Т.Ф. Тугузова, Н.А. Халгаева. – Благовеншенск: Изд-во АмГУ, 2008. – с. 341– 344.
2. Ибрахим Тогола. Использование солнечной энергии для обеспечения водоснабжения сельскохозяйственных районов западной Африки: дис. ... канд. техн. Наук: 05.14.08. Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский политехнический университет, 2003 – 147 с.
3. Михайлов, В.И. Режимы коммунально-бытового электропотребления. [Текст] / В.И. Михайлов, В.М. Тарнижевский – М.: Энергоиздат. 1993. – 283с.
4. Куликова, Л.В., Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: Учебное пособие / Л.В. Куликова, Ю.А. Меновщиков.– Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2005. – 365 с.
5. Лукутин, Б.В. Возобновляемая энергетика в децентрализованном электроснабжении: монография / Б.В. Лукутин, О.А. Суржикова., Е.Б. Шандарова. – М.: Энергоатомиздат, 2008. – 231 с.

#### Идентификация динамических объектов первого и второго порядка на основе применения нейроэмуляторов

*Умутбеков Д.А., Глазырин А.С., Глазырин А.С.*

*Томский политехнический университет, Россия, г. Томск*

*E-mail: metalurg@list.ru*

Введение. В настоящее время применение искусственных нейронных сетей (ИНС) стало широко использоваться в таких направлениях как автоматическое управление, нейрофизиология, электроэнергетика. Имея ряд уникальных свойств, а это, способность к обучению и обобщению данных, адаптация к изменению свойств объекта управления, пригодность к синтезу нелинейных регуляторов, ИНС становится мощным инструментом для решения задач фильтрации, идентификации динамических объектов, аппроксимации функции, прогнозирования (предсказания) и т.д.

Основанные на ИНС дискретные идентификационные модели называются нейроэмуляторами (НЭ) или предикторами. [1]

Рассмотрим примеры нейроэмуляторов динамических объектов первого и второго порядков.

Идентификация RL-цепи

В качестве примера динамического объекта 1-го порядка, рассмотрим RL-цепь с параметрами  $R = 1$  Ом,  $L = 0,01$  Гн.

Для составления тренировочного набора моделируются процессы, протекающие при коммутации RL-цепи на источник постоянного напряжения. Данный процесс описывается дифференциальным уравнением (1) составленным по второму закону Кирхгофа:

$$E(t) = R \cdot i_L(t) + L \frac{di_L(t)}{dt} \quad (1)$$

где  $i_L(t)$  – ток, протекающий через RL-цепь;  $E(t)$  – источник постоянного напряжения.

Период дискретизации для моделирования  $\Delta t = 0.0002$  с. Обучающая выборка представляет собой массив, состоящий из переходных характеристик динамического объекта, входными данными которого послужили напряжение и два задержанных сигнала по току, а выходным, соответственно ток на текущем шаге.

Нейронная сеть моделировалась, и обучалась в программной среде Matlab, с использованием инструментов Neural Network Toolbox. Архитектура нейроэмулятора: однослойная сеть вида 3-10-1 с прямой передачей сигналов, количество нейронов в скрытом слое – 10, функция активация всех нейронов – линейная. Обучение нейронной сети производилось по алгоритму Ливенберга-Марквардта [3].

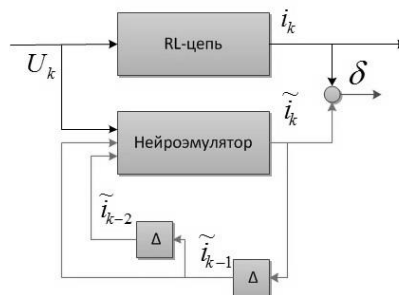


Рис.1. Схема обучения нейроэмулятора

На рис.1 представлена схема обучения нейроэмулятора.

где  $U_k$  – напряжение на входе;  $i_k$  – выход RL-цепи (переходной ток);  $i_k$ -tilde – выход нейроэмулятора;  $i_{k-1}$ -tilde – 1-й задержанный сигнал нейроэмулятора;  $i_{k-2}$ -tilde – 2-й задержанный сигнал нейроэмулятора;  $\delta$  – Среднеквадратичная ошибка.

На рис.2 представлен график переходного процесса при мгновенном изменении источника постоянного напряжения

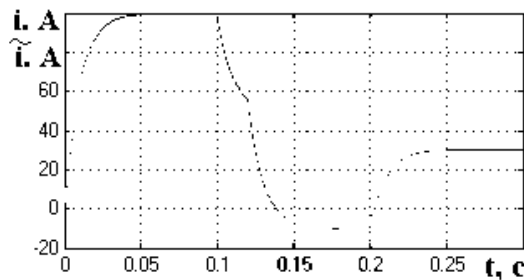


Рис.2. График переходного процесса при мгновенном изменении источника постоянного напряжения

### Идентификация фильтра низких (ФНЧ) и фильтра верхних частот (ФВЧ)

Рассмотрим в качестве модели динамического объекта 2-го порядка фильтр низких частот и фильтр верхних частот.

ФНЧ и ФВЧ собраны на катушке индуктивности  $L = 350$  мГн с омическим сопротивлением  $R = 1$  Ом и конденсаторе  $C = 450$  мкФ. Сопротивление нагрузки  $R_{НАГР.ФНЧ} = 100$  Ом,  $R_{НАГР.ФВЧ} = 10$  Ом. ФНЧ и ФВЧ описываются, дифференциальными уравнениями (2-3) составленными по первому и второму закону Кирхгофа.

Для фильтра низких частот:

$$\begin{cases} U_{BX}(t) = L \frac{di_L(t)}{dt} + i_L(t) \cdot R + U_{BЫX}(t) \\ i_L(t) = C \frac{dU_{BЫX}(t)}{dt} + \frac{U_{BЫX}(t)}{R_{НАГР}} \end{cases}; \quad (2)$$

Для фильтра верхних частот:

$$\begin{cases} U_{BЫX}(t) = i_L(t) \cdot R + L \frac{di_L(t)}{dt} \\ i_L(t) = C \frac{dU_{BX}(t)}{dt} - C \frac{d(U_{BЫX}(t))}{dt} - \frac{U_{BЫX}(t)}{R_{НАГР}} \end{cases}. \quad (3)$$

где  $i_L(t)$  - ток, протекающий через катушку индуктивности;  $U_{BX}(t)$  - напряжение на входе фильтра;  $U_{BЫX}(t)$  - выходное напряжение фильтра.

Для составления тренировочного набора моделируются переходные процессы при замыкании и размыкании на источник постоянного напряжения. Данный процесс моделировался в программе Matlab с использованием библиотек Simulink.

Период дискретизации для моделирования ФНЧ и ФВЧ  $\Delta t = 0,001$  с. Обучающая выборка для нейроэмулятора ФНЧ представляет собой массив, состоящий из переходных характеристик динамического объекта, входными данными которого послужили напряжение по входу и два задержанных сигнала напряжения по выходу фильтра, а выходными данными обучающей выборки соответственно выходное напряжение фильтра на текущем шаге. Отличие обучающей выборки для нейроэмулятора ФВЧ в том, что здесь добавляется входные данные задержанного входного сигнала на один шаг.

Архитектура нейроэмулятора ФНЧ: однослойная сеть вида 3-35-1 с прямой передачей сигналов, количество нейронов в скрытом слое – 35, функция активация всех нейронов – линейная. Архитектура нейроэмулятора ФВЧ: однослойная сеть вида 4-35-1 с прямой передачей сигналов, количество нейронов в скрытом слое – 35, функция активация всех нейронов – линейная. Схема обучения нейроэмуляторов ФНЧ и ФВЧ показана на рис.3. Обучение нейронных сетей производилось по алгоритму Ливенберга-Марквардта [3].

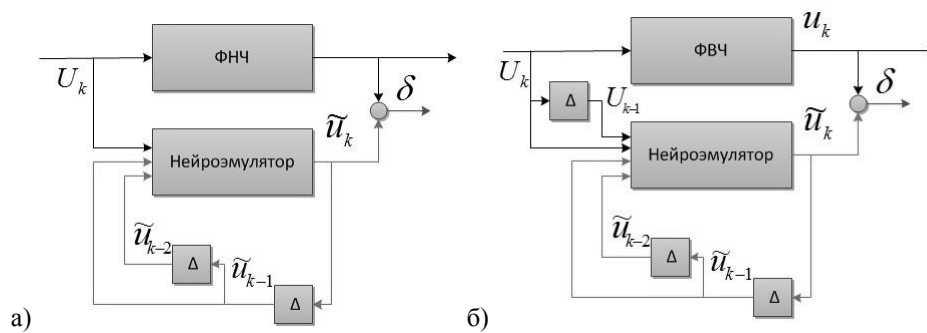


Рис.3. Схема обучения нейроэмуляторов а) ФНЧ и б) ФВЧ

Где  $U_k$  – напряжение на входе;  $U_{k-1}$  – задержанный сигнал по входу;  $u_k$  – выход нейроэмулятора;  $u_k$  – выход фильтра;  $u_{k-1}$  – 1-й задержанный выходной сигнал нейроэмулятора;  $u_{k-2}$  – 2-й задержанный выходной сигнал нейроэмулятора;  $\delta$  – Среднеквадратичная ошибка.

На рис.4-6. представлены работы нейроэмуляторов при различных частотах.

По рис.5 видно, что нейроэмулятор ФНЧ пропускает сигналы низкой частоты, а при более высокой частоте (рис.6) амплитуда сигнала на выходе значительно уменьшается, что свидетельствует о правильности работы нейроэмулятора. Аналогично нейроэмулятор ФВЧ пропускает сигналы высокой частоты, при этом более низкие подавляет, уменьшая их амплитуду

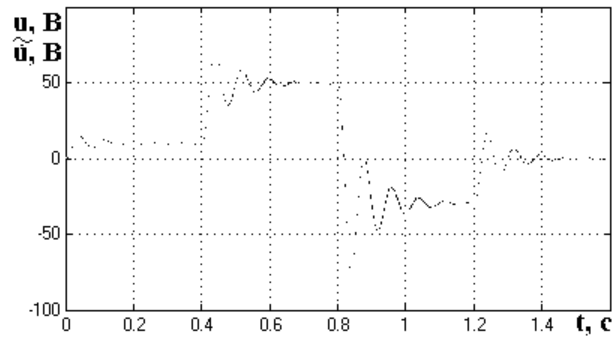


Рис.4. График переходного процесса нейроэмулятора ФНЧ при мгновенном изменении входного напряжения

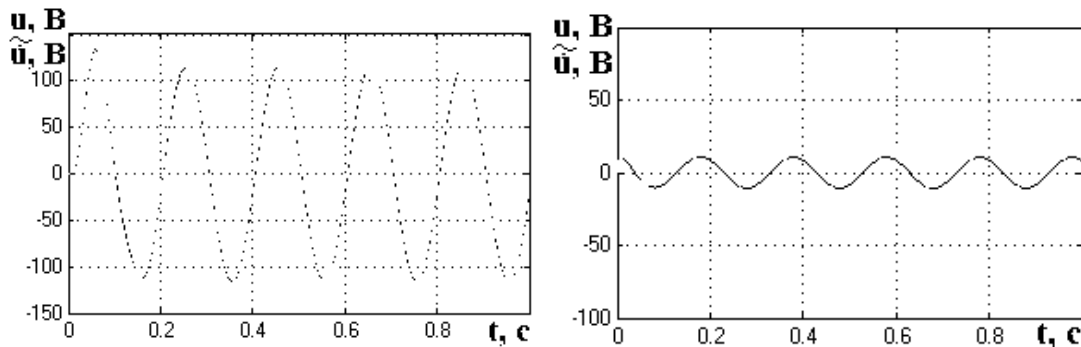


Рис.5. Работа нейроэмуляторов при частоте 5 Гц и напряжении на входе 100 В. а) нейроэмулятор ФНЧ и б) нейроэмулятор ФВЧ

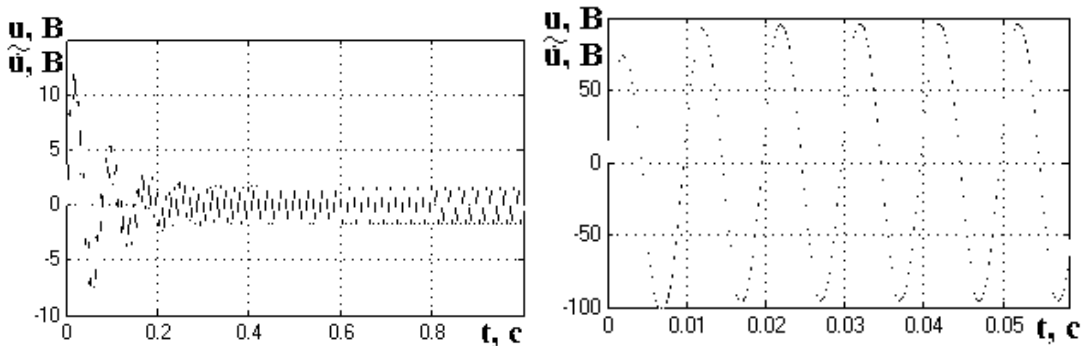


Рис.6. Работа нейроэмуляторов при частоте 100 Гц и напряжении на входе 100 В. а) нейроэмулятор ФНЧ и б) нейроэмулятор ФВЧ

#### Вывод.

В результате проделанной работы были смоделированы нейроэмуляторы RL-цепи, ФНЧ и ФВЧ. Искусственные нейронные сети с линейными функциями активации могут моделировать различные динамические процессы 1-го и 2-го порядка. Использование нейроэмуляторов повышает эффективность фильтрации сигналов различных частот. Принцип обучения, рассмотренный в данной работе, позволяет использовать его для моделирования более сложных нейроэмуляторов динамических объектов.

#### Список литературы:

1. Махотило К.В. Разработка методик эволюционного синтеза нейросетевых компонентов систем управления. Харьков — 1998
2. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс, 2-е издание. : Пер. с англ. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2006. – 1104 с.: ил. – Парал. Тит. Англ.
3. Медведев В.С., Потемкин В.Г. Нейронные сети. MATLAB 6/Под общ. Ред. к.т.н. В.Г.Потемкина. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2002. – 496 с.

## Способы защиты сетей генераторного напряжения от коммутационных перенапряжений

Е.М. Фаттахов

Новосибирский Государственный Технический Университет, Россия, г. Новосибирск

[fem85@rambler.ru](mailto:fem85@rambler.ru)

Характерной особенностью электрических сетей, содержащих вращающиеся электрические машины, является относительно низкая электрическая прочность ее статорной изоляции по сравнению с прочностью другого электрооборудования. Перенапряжения, возникающие при отключении генераторным выключателем токов короткого замыкания (КЗ) зависят не только от схемы сети, но и от характеристик дугогасительной среды генераторного выключателя. В настоящее время в сетях генераторного напряжения ТЭЦ широко внедряются вакуумные выключатели взамен морально и физически устаревших масляных выключателей. Как известно, вакуумные выключатели имеют жесткое дугогашение, т.е. способны отключать ток, содержащий высокочастотную составляющую, возникшую при повторном зажигании дуги в выключателе. В этом случае возникает так называемая эскалация перенапряжений. ОПН, установленные в сети генераторного напряжения могут ограничить перенапряжения относительно земли. Однако исследования показывают, что при этом градиентные перенапряжения, возникающие на продольной изоляции обмотки статора, превосходят уровень, допустимый для витковой и катушечной изоляции этой обмотки. Поэтому при проектировании дугогасящей камеры вакуумных выключателей следует обеспечивать такую скорость восстановления электрической прочности, при которой не будет наблюдаться повторных зажиганий дуги в вакуумной дугогасительной камере (ВДК) [1].

Следует отметить, что специального государственного стандарта на генераторные выключатели в РФ нет, но некоторые положения по техническим требованиям к ним записаны в общем стандарте на выключатели ГОСТ 687. Зарубежные производители генераторных выключателей ориентируются на стандарт IEEE Std C37.013-1997 «Высоковольтные генераторные выключатели переменного тока». В нем даны общие технические подходы и критерии по ряду параметров, методам испытаний и методикам расчетов [2].

Расчеты отключаемых генераторным выключателем токов КЗ и скорости ПВН проведены с использованием прикладного пакета Matlab Simulink. Результаты подтверждены аналитически по общеизвестным методикам расчета.

Таблица 1. Ток КЗ и скорость восстановления электрической прочности межконтактного промежутка ВДК

		КЗ на шинах	КЗ на выводах генератора	КЗ на выводах генератора с установкой RC-цепочки
2 генератора в работе	Ik, кА	27	45	45
	Скорость восстановления электрической прочности межконтактного промежутка ВДК, кВ/мкс	1,16	1,41	0,81
1 генератор в работе	Ik, кА	27	23	23
	Скорость восстановления электрической прочности межконтактного промежутка ВДК, кВ/мкс	1,16	5,2	0,69

Наиболее тяжелые условия для гашения дуги возникают при отключении первого полюса выключателя. Отключение всех полюсов происходит при прохождении тока в них через нулевое значение. Следовательно, при отсутствии механической задержки во времена отключения полюсов, время между отключениями составляет 3,3 мс, что существенно превышает время достижения восстанавливаемым напряжением своего максимума. Поэтому рассматриваются процессы на контактах первого по очереди отключаемого полюса выключателя. Способность отключения генераторного выключателя определяется, как правило, начальной скоростью восстановления напряжения на контактах выключателя, так как отключение без повторных зажиганий дуги в выключателе происходит лишь в случае, если скорость восстановления

электрической прочности между контактами в дугогасительной камере (ДГК) превышает скорость СПВН [1].

Результаты расчетов отключаемых токов и СПВН при варьировании места КЗ сведены в таблицу 1. В этой же таблице отражены различные режимы работы сети – работа одного или двух генераторов на шины ГРУ.

Из таблицы 1 видно, что наиболее тяжёлый случай возникает при отключении КЗ на выводах генератора и отключенном втором генераторе. Начальная скорость восстановления электрической прочности межконтактного промежутка ВДК должна составлять величину 5,2 кВ/мкс. Заводы-изготовители современных вакуумных выключателей гарантируют скорости восстановления электрической прочности межконтактного промежутка на уровне 4 кВ/мкс.

Следовательно, необходимо устанавливать средства защиты. В качестве такого средства была рассмотрена RC-цепочка с параметрами:  $R=50$  Ом,  $C=0,1$  мкФ. Результаты расчета СПВН с защитным аппаратом также представлены в таблице 1.

Как видно из результатов расчета наличие RC-цепочки приводит к снижению скорости восстановления напряжения на контактах ВДК до допустимого уровня (не более 4 кВ/мкс).

**Заключение.**

Расчет токов 3-фазного короткого замыкания в сети генераторного напряжения показал, что наиболее опасно КЗ на выводах генератора.

С установленным защитным аппаратом (RC-цепочка) требуемая начальная скорость восстановления электрической прочности межконтактного промежутка ВДК должна быть не менее 0,69 кВ/мкс. Заводы-изготовители современных вакуумных выключателей гарантируют скорости восстановления электрической прочности межконтактного промежутка на уровне 4 кВ/мкс. При установке в рассматриваемую сеть выключателя с указанной скоростью восстановления электрической прочности не будет наблюдаться повторных зажиганий дуги в дугогасительной камере, следовательно, не будет наблюдаться и опасных высокочастотных перенапряжений на витковой изоляции генератора, силового трансформатора и токоограничивающего реактора.

#### **Список литературы:**

1. Электрооборудование высокого напряжения нового поколения. Основные характеристики и электромагнитные процессы: монография/ К.П.Кадомская, Ю.А.Лавров, О.И.Лаптев. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2008. – 343 с.
2. Генераторные выключатели 6 - 24 кВ, проблема выбора и применения. Новости электротехники №2(38) 2006 [Электронный ресурс].- Режим доступа: <http://www.news.elteh.ru/arh/2006/38/10.php>.

#### **Проблема повышения эффективности регулируемого электропривода с вентильными преобразователями при добычи нефти**

**Филимонова О.В.**

*Самарский государственный технический университет, Россия, г. Самара  
oksana201@rambler.ru*

Тенденция развития современного производства направлена на повышение единичных мощностей машин и оборудования при одновременном уменьшении их энергопотребления и снижении стоимости, для чего, в настоящее время активно развивается производство энергоэффективных регулируемых электроприводов с вентильными преобразователями.

Комплексный подход к энергоэффективности при добыче нефти основан на трех составляющих: энергосберегающее оборудование; подбор оборудования по критерию максимального КПД при добыче; обеспечение работы насосной установки с максимальным КПД при эксплуатации средствами интеллектуальной системы управления.

Использование в установках электроцентробежных насосов (УЭЦН) энергоэффективных ступеней и вентильных двигателей позволяет снизить потери электроэнергии на 25%, а посредством применения комплексного подхода можно добиться снижения удельного энергопотребления на 40% и более.

Вентильный двигатель (ВД) является наиболее перспективным и универсальным типом электропривода переменного тока, в котором регулирование скорости и момента вращения осуществляется подводимым напряжением, током возбуждения и углом опережения включения вентилей при самоуправлении по частоте питания. Он обладает регулировочными качествами

машин постоянного тока и надежностью систем переменного тока. Особенностью магнитокоммуникационных электрических машин является наличие общей магнитной системы статора, состоящей из двух групп, где при перемещении ротора возникает циркуляция двух переменных во времени магнитных потоков, максимальные значения которых сдвинуты по фазе на период, и, поскольку каждый из этих периодически переключаемых магнитных потоков пронизывает обмотку якоря, в последней индуцируется переменная во времени ЭДС. Так как максимальный магнитный поток замыкается через магнитопровод статора, ферромагнитные элементы ротора и немагнитный рабочий зазор, то зависимость  $\Phi_{\text{тах}}$  от тока возбуждения аналогична кривой намагничивания обычных синхронных машин.

Современные исследования показывают, что ВД с коммутацией магнитного потока за счет наиболее полного использования всего объема машины и устранения при этом из системы пассивных электрических и магнитных контуров, не участвующих в процессе электромеханического преобразования энергии, позволяют обеспечить достижение высоких удельных массогабаритных и энергетических показателей [1]. В вентильных магнитокоммутационных двигателях рационально используются электрические и магнитные материалы, отсутствует перемагничивание и связанные с ним потери в магнитных контурах вследствие однонаправленных магнитных потоков возбуждения. Сокращение длины силовых линий магнитного поля улучшает использование объема электромагнитного ядра и уменьшает массу расходуемой электротехнической стали, что также ведет к снижению добавочных потерь на вихревые токи и гистерезис и, таким образом, способствует увеличению КПД машины.

В процессе добычи нефти основная проблема при эксплуатации стандартных УЭЦН на базе асинхронного двигателя состоит в том, что из 100% энергии, потребляемой из сети, 29% — приходится на потери в насосе, 13% — в двигателе и 10% — в кабеле. Еще 9% энергии теряется в системе управления и трансформаторе. Таким образом, 61% электроэнергии, потребляемой при эксплуатации УЭЦН, тратится впустую — на обогрев, вибрацию, износ и т.д. Лишь 39% электроэнергии идет непосредственно на подъем жидкости. При проектировании рабочего режима скважины нефтяники постоянно сталкиваются с проблемой подбора оптимальной компоновки насоса. В этом случае, как правило, используется следующий алгоритм: вывод УЭЦН на номинальный режим при максимальном КПД; поддержание оптимального давления при подачи жидкости; поддержание максимального дебита в рабочей области насоса; периодическая эксплуатация УЭЦН с максимальным КПД.

Применение вентильных магнитокоммутационных двигателей в системе регулируемого электропривода позволяет поддерживать работу установки в точке оптимального КПД насоса непосредственно при эксплуатации. Этому способствуют такие характеристики ВД как плавный пуск, точная регулировка и полная защита электродвигателя от перегрузок за счет встроенного блока электронного управления; диапазон регулирования скорости до 90% от максимального режима. Необходимая производительность УЭЦН достигается меньшим числом оборотов, и, соответственно, снижается уровень шума и повышается надежность.

В настоящее время вентильные магнитокоммутационные двигатели находят широкое применение в приборном электроприводе, в промышленной автоматике и робототехнике, в современных транспортных системах, в медицине, в мехатронных судовых и авиационных системах. Такие машины представляют собой дискретные конструкции, которые совместно с системами управления позволяют создавать энергоэффективные мехатронные устройства с информационными и энергетическими возможностями, недоступными для традиционных конструкций.

#### Список литературы:

1. Герман-Галкин С.Г. Анализ и синтез мехатронной системы с магнитокоммутационной машиной в пакетах Matlab Simulink // Силовая электроника. №1, 2006. – С. 82-86.

#### Расчет оптимального шага расщепления

*Хмелик М. С., Шевченко С. С.*

*Новосибирский Государственный Технический Университет, Россия, г. Новосибирск  
michael.khmelik@gmail.com*

В статье описаны некоторые возможности использования современных программных комплексов ELCUT и MATLAB. Дан алгоритм и приведены результаты расчета оптимального шага расщепления. Ключевые слова — расщепление проводов, расчет электромагнитных полей, ELCUT, MATLAB.

## I. Введение

Выбор шага расщепления фазы является одной из задач при проектировании воздушных линий СВН. Расщепление позволяет исключить возникновение общей короны и, соответственно, снизить потери. Детально, методика выбора шага расщепления описана в [1].

Следует отметить, что её основное достоинство - это простота, поскольку весь расчет основан на сравнении значений, полученных по простым формулам. С другой стороны, основной критерий, напряженность электрического поля, вычисляется по эмпирическим формулам, полученным ещё в начале прошлого века.

Очевидно, что в основе этой задачи лежит расчет электрического поля фазы. Современные программные комплексы позволяют решать сложные полевые задачи, что позволяет воспользоваться другим путем: смоделировать необходимую конструкцию фазы и получить картину поля с заданной точностью. Затем, используя алгоритмический язык, можно задавать циклическое изменение параметров модели, и в рамках этого цикла решать указанную задачу.

Это можно реализовать, используя пакеты ELCUT и MATLAB. С помощью упомянутых комплексов, можно легко получить распределение напряженности электрического поля в зависимости от расстояния между составляющими фазы. При этом, полевая задача будет решена напрямую, а точность будет зависеть лишь от выбранной сетки.

## II. Расчетная модель

Рассмотрим задачу расчета оптимального шага расщепления для воздушной линии 330 кВ.

Будем считать, что вектор напряженности электрического поля не изменяется вдоль координаты  $z$  (вдоль оси фазы). Это позволит упростить модель и свести задачу выбора шага расщепления к решению двумерного электрического поля. В качестве еще одного допущения, примем, что земля имеет абсолютно ровную поверхность. Провода представлены в виде гладких цилиндров.

Такая модель, созданная в пакете ELCUT, показана на рисунке 1. Увеличенная часть модели, содержащая составляющие расщепленной фазы, показана на рисунке 2.

Использовались следующие параметры:

Радиус составляющей фазного провода  $d = 21.6$  мм (АС 240/32);

Высота подвеса провода над землей  $H = 15$  м;

Фазное напряжение  $U = \frac{330}{\sqrt{3}} = 190.52$  кВ

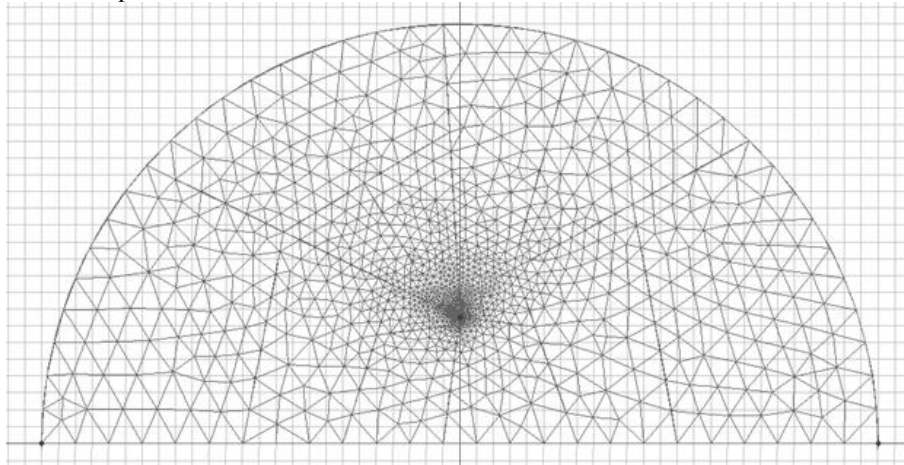


Рис. 1. Исследуемая модель

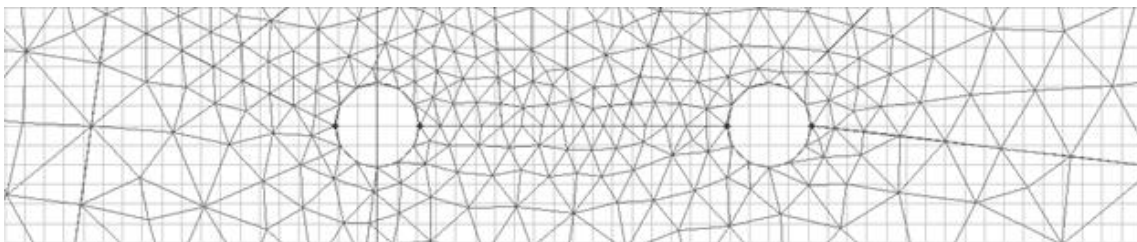


Рис. 2. Модель расщепленной фазы



### III. Определение оптимального шага расщепления

Для определения оптимального шага расщепления построим кривую зависимости максимальной напряженности электрического поля на поверхности провода от расстояния между составляющими фазы. Входными данными для расчета являются минимальный ( $a_{\min}$ ) и максимальный ( $a_{\max}$ ) возможный шаг расщепления и шаг расчета ( $\Delta a$ ).

Поскольку радиус провода АС 240/32 равен 1.08 см, то минимальный шаг расщепления (расстояние между центрами проводников) был принят равным 3 см. Максимальный шаг установлен 70 см, т.к. дальнейшее изменение поля не представляет интерес. Шаг расчета принят радиусу провода - 1.08 см, т.к. позволяет получить результат с достаточной точностью, без использования значительных вычислительных мощностей.

Кроме того, был произведен расчет по аналитической методике, упомянутой выше, с параметрами аналогичными модели. Коэффициент негладкости провода  $m = 1$ , относительная плотность воздуха  $\delta = 1$ . Расчетная формула [2]:

$$U_{\text{к}} = \frac{2\pi\epsilon\epsilon_0 \cdot m \cdot n \cdot r_0 \cdot E_{\text{к}}}{K_n \cdot C}$$

где  $U_{\text{к}}$  – напряжение начала короны, кВ,  $E_{\text{к}}$  – действующее значение напряженности начала короны, кВ/см,  $r_0$  – радиус провода, см,  $m$  – коэффициент негладкости поверхности провода,  $n$  – количество проводников в фазе,  $\epsilon$  – диэлектрическая проницаемость,  $\epsilon_0$  – диэлектрическая постоянная, Ф/м,  $K_n$  – коэффициент неравномерности,  $C$  – емкость провода, Ф/м

Результаты численного и аналитического расчетов представлены на рисунке 3. На нем же отмечены минимумы напряженности электрического поля и соответствующие им величины шага расщепления, которые равны 22.44 см и 25.28 см. Разность значений предположительно объясняется погрешностью численных расчетов сделанных в программном комплексе ELCUT и, возможно, погрешностью эмпирической формулы, используемой в аналитическом расчете. Но так или иначе, оба полученных шага расщепления близки по величине друг к другу.

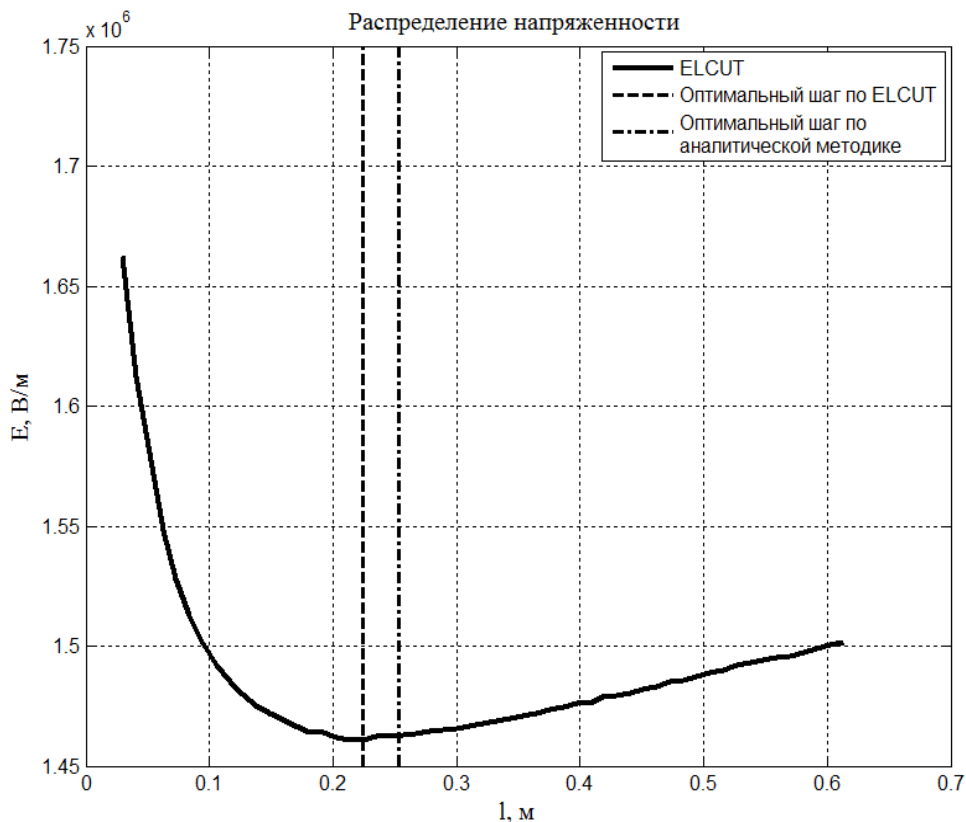


Рис. 3. Зависимость максимальной напряженности поля на поверхности расщепленного провода от шага расщепления

Стоит отметить, что приведенные в литературе [3][4] шаги расщепления для данного класса напряжения равны 40 и 60 см, что существенно выше полученных в результате расчета значений.

#### IV. Выводы

Совместное применение комплексов ELCUT и MATLAB позволяет полностью автоматизировать процесс расчета поля. Благодаря этому, можно отказаться от многих эмпирических формул, имеющих ограниченную область применения, и решать задачи поля без допущений, с необходимой точностью.

Как отмечалось ранее, оптимальный шаг расщепления по аналитической методике отличается от шага, найденного на основе расчета поля. Хотя разница примерно в 10%, необходимо провести эксперимент, который покажет какая из двух методик точнее.

Наиболее интересное следствие из работы - несовпадение оптимального шага расщепления с точки зрения напряженности поля на поверхности провода с реально применяемым при проектировании. Причина этого авторам статьи неясна и будет устанавливаться в дальнейшей работе.

#### Список литературы:

1. Герасимов В. Г. и др. (гл. ред. А. И. Попов). Электротехнический справочник: в 4 т. Т.3. – М.: Издательство МЭИ, 2004 – 964с.
2. Дмоховская Л.Ф., Ларионов В. П. и др. Техника высоких напряжений. – М.: Издательство «Энергия», 1975 – 480 с.
3. СТО56947007. Внутрифазные дистанционные распорки – гасители. Технические требования.
4. SS-EN 61854. Spacers for 220 kV and 400 kV OH lines.

#### Выбор мощности и места установки локального источника энергии в распределительной системе

*Я.Э. Шклярский, О.И. Цинкович*

*Горный университет, г. Санкт-Петербург, Россия*

*tsinkovich\_o@mail.ru*

Внедрение локальных источников энергии в распределительную сеть связано с рядом сложностей, вызванных их влиянием на такие параметры режима работы энергосистемы как уровни напряжений в узлах, токи в линиях связи и др. На данный момент отсутствует общепринятая методика выбора мест установки и объемов распределенных генерирующих мощностей с точки зрения указанных факторов [1].

В общем случае можно сказать, что на выбор места расположения и мощности локального источника энергии влияют следующие факторы, связанные с энергосистемой [2]:

Технические (потери в линиях, качество электроэнергии, конфигурация и надежность системы электроснабжения, работа устройств РЗА и ПА);

Экономические (стоимость проектирования, стоимость строительства, стоимость эксплуатации и обслуживания, стоимость электроэнергии, потребляемой от централизованного источника энергии, расход топлива, стоимость производимой электроэнергии);

Экологические (уровень эмиссии углекислого газа и других загрязняющих веществ).

При внедрении распределенной генерации также возможен совместный учет указанных факторов.

Необходимо отметить, что неправильный выбор мощности и места установки локального источника может привести к увеличению потерь, ухудшению показателей качества электроэнергии, надежности и управляемости энергосистемы [2].

В настоящий момент задача выбора места установки и мощности локального источника энергии решается с помощью как аналитических, так и эвристических методов. В частности, применение генетического алгоритма показало свою эффективность для больших распределительных систем, в том числе и субоптимальные решения, при сравнении с методом перебора возможных вариантов [3]. При этом, одним из основных критериев при выборе мощности локального источника является минимум потерь при присоединении к  $i$  шине распределительной системы, а место установки определяется как шина, на которой потери при подключении источника оптимальной мощности будут минимальны. При поиске оптимального решения также учитываются следующие условия: уровень напряжения на шинах должен находиться в допустимых пределах, а ток в линиях - ниже максимально допустимого значения.

Однако существуют и других подходы к проблеме внедрения локальных источников энергии, так, например в [4] анализ работы распределительной системы с локальным источником энергии производится на основе двух вероятностных методов планирования с учетом нагрузки, производства электроэнергии и их корреляции.

Первый метод включает в себя расчет объемов генерации локального источника энергии в течение месяца/года на основании статистических данных, затем, применяя график продолжительности нагрузок, определяется пропускная способность системы. В результате можно оценить «непроизведенную» энергию как разность между произведенной энергией и пропускной способностью системы и сделать вывод о необходимости модернизации существующей энергосистемы и/или изменении мощности локального источника энергии.

Во втором случае, используя график нагрузки для групп потребителей и график производительности локального источника энергии, можно провести расчет потоков мощности в системе и, как следствие, основных технологических показателей (уровней напряжения на шинах, потери и т.п.). В результате, можно сделать вывод о необходимой мощности источника, его алгоритмах управления и т.д.

Оба метода являются приближенными и не решают проблему выбора места установки локального источника энергии, при этом результаты, полученные при расчете приведенными методами, дают положительный экономический эффект, по сравнению с расчетом при условии «минимум спроса – максимум производства электроэнергии», который зачастую применяется при выборе локального источника энергии [4].

Кроме того локальные источники энергии могут применяться в качестве третьего независимого источника питания электроприемников особой группы I категории с целью обеспечения безаварийного останова технологического процесса (в обоснованных случаях – для обеспечения продолжения работы производства) [5].

В этом случае также применяются эвристические алгоритмы для реконфигурации системы с питанием групп ответственных потребителей от локального источника энергии в послеаварийном режиме [6].

Таким образом, можно сказать, что перспективным направлением решения проблемы выбора мощности и места установки локального источника энергии является применение эвристических алгоритмов оптимизации режима работы распределительной системы с локальным источником энергии.

#### Список литературы:

1. В.В. Тарасенко. Генетический алгоритм выбора распределенной генерации // Вестник ЮУрГУ, №14, 2010, Серия «Энергетика», выпуск 13, С. 15-19.
2. Gopiya Naik S., D.K. Khatod, M.P Sharma. Distributed generation Impact on Distribution Networks: A Review // International Journal of Electrical and Electronics Engineering (IJEEE): 2231-5284, Vol-2, Iss-1, 2012, pp. 68-72.
3. Deependra Singh, Devender Singh, K.S. Verma. Multiobjective Optimization for DG Planning With Load Models // IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 24, No. 1, February 2009.
4. Sami Repo, Hannu Laaksonen, Pertti Jarventausta. New Methods and Requirements for Planning of Medium Voltage Network Due to Distributed Generation, Tampere University of Technology, Finland.
5. НТП ЭПП-94 - Нормы технологического проектирования. Проектирование электроснабжения промышленных предприятий. 1-я редакция. - М.: 1994. – 70 с.
6. Баасан Бат-Ундрал. Методы комплексного исследования нормальных и послеаварийных режимов систем электроснабжения с распределенной генерацией. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. ИРГТУ, г. Иркутск, 2009 г.

#### Разработка энергоэффективных систем катодной защиты магистральных газопроводов

*Абуняев А.С., Хасанова Л.Н., Цынаева А.А.*

*Самарский государственный архитектурно-строительный университет, Россия, г. Самара  
landysechka@mail.ru*

Природный газ является одним из наиболее экспортируемых ресурсов Российской Федерации. Его транспортировка осуществляется при помощи магистральных газопроводов, которые в процессе их эксплуатации подвергаются электрохимической коррозии [1].

Для защиты газопроводов от электрохимической коррозии применяется катодная защита, заключающаяся в изменении состояния металла из активного в пассивное. Она может осуществляться двумя методами:

1. Гальванический метод заключается в образовании гальванопары, которая будет сохранять трубопровод электронейтральным;
2. Электрический метод заключается в использовании внешнего источника тока для поддержания пассивного состояния материала трубопровода.

Гальванопара – это два вещества, при взаимодействии которых в окружающей их среде возникает электрический ток [2]. В гальваническом методе роль этих веществ будут играть металлы, обладающие различными потенциалами и помещенные в электролит. При этом металл, обладающий более отрицательным потенциалом, будет выполнять роль анода и, разрушаясь, защищать металл с менее отрицательным потенциалом [1].

В качестве разрушаемых гальванических анодов используют протекторы из сплавов магния, алюминия или цинка.

Гальванический метод эффективен при использовании только в грунтах низкого сопротивления (до 50 Ом: пески, супесь, суглинки, чернозем, глина) [3]. Так как в грунтах с высоким сопротивлением (более 50 Ом: песчаники, известняки, лёсс) данный метод не может обеспечить необходимую защиту, будет целесообразным использование электрического метода [3].

Для осуществления защиты подземных трубопроводов от агрессивной электрохимической среды сооружаются станции катодной защиты (СКЗ), схема которой представлена на рис. 1. В состав СКЗ входят источник постоянного тока или преобразователь (защитная установка), анодное заземление, контрольно-измерительный пункт, соединительные провода и кабели.

Как правило, в качестве источников постоянного тока используются преобразователи различной конструкции, питающиеся от сети переменного тока. Они позволяют регулировать защитный ток в широких пределах, тем самым обеспечивая необходимую защиту трубопровода. Для питания защитных установок используются воздушные линии переменного тока мощностью 0,4; 6 или 10кВ.

Защитный ток создает разность потенциалов "труба-земля". Так как ток распределяется по длине газопровода неравномерно, то и разность потенциалов в различных точках будет иметь значения неравные друг другу, причем максимальное из них будет находиться в точке дренажа, т.е. в точке подключения источника тока. Далее разность потенциалов уменьшается по мере удаления от этой точки.

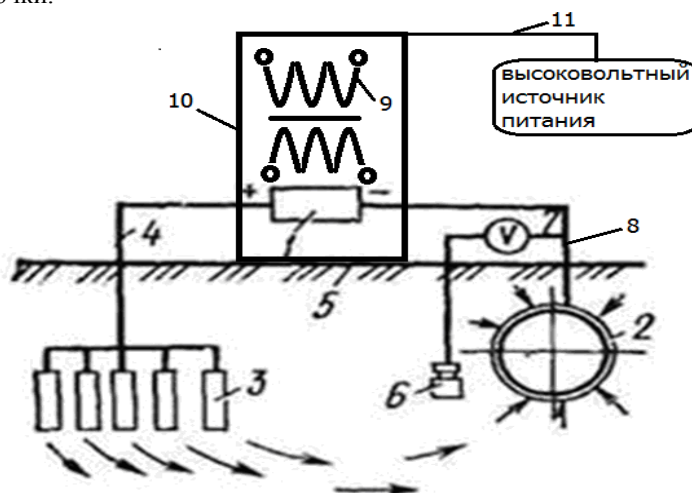


Рис.1. Схема станции катодной защиты: 1 – выпрямитель; 2 – газопровод; 3 – анодное заземление; 4 – металлический проводник; 5 – грунт; 6 – электрод сравнения; 7 – высокоомный вольтметр; 8 – катодный вывод; 9 – трансформатор; 10 – блок управления; 11 – кабель питания

Основными недостатками используемых в настоящее время СКЗ является сбой в их работе, вызванные следующими видами отказов:

- обрыв катодного вывода - 2%
- пробой трансформатора - 4%

- сбой в работе блока управления и измерения - 5%
- нарушение работы высоковольтного разъединителя - 14%
- пробой диодов, тиристорov выпрямителя - 15%
- разрушение контакта в переключателях и разъемах - 15%
- обрыв провода к анодному заземлителю - 17%
- обрыв кабеля питания -18%

Подобные проблемы приводят к значительному сокращению эксплуатационного периода газопроводов, в связи с этим целью нашей работы является повышение энергоэффективности систем катодной защиты.

Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

1. исследование существующих систем катодной защиты для выявления недостатков в их работе;
2. разработка математической модели систем катодной защиты;
3. на основе численного моделирования разработка и исследование систем катодной защиты и разработка новых высокоэффективных СКЗ.

Для уменьшения значительной части отказов по причине нарушения целостности кабелей можно использовать каучуковую (резиновую) изоляцию проводов большей толщины. Так, например, если увеличить толщину изоляции вдвое, мы можем добиться увеличения пластичности провода, а, следовательно, и его меньшей ломкости, к тому же это позволит не допускать повреждение провода по причине перемерзания в северных районах, так как коэффициент теплопроводности например вспененного каучука 0.03 (Вт/ м\*К). Также можно использовать дублирование проводов.

Для борьбы с отключением сети 220В можно установить несколько батарей, обеспечивающих полностью автономную работу системы в момент аварии. При отключении сети, батареи должны без перебоя напрямую включиться в сеть и нести заряд, способный поддерживать работу установки около 12 часов до прибытия ремонтных служб и устранения неполадок.

Также для более оперативного устранения неполадок можно применить систему датчиков, направленных на самые проблемные участки конструкции и передающие сигнал в случае неполадок на пульт инженерных служб.

Для снижения процента отказов, вызванных поломкой переключателей, следует уйти от кнопочной схемы к тумблерной.

Так как пробой тиристорov возникают при их перегреве, то этого можно избежать путем увеличения площади первоначального включения, то есть площади р-п перехода. Также одной из причин пробоев является перенасыщение базы тиристора. Решить эту проблему можно путем увеличения сопротивления установки, например при помощи резистора.

В дальнейшем предполагается проведение численного исследования СКЗ на основании, разрабатываемой математической модели и получение новых конструктивных решений для СКЗ на основе результатов исследований.

#### Список литературы:

1. 1. Котляр И.Я. Эксплуатация магистральных газопроводов/Котляр И.Я., Пиляк В.М.// Л.: «Недра», 1971.-248с
2. 2. Тодт Ф. Коррозия и защита от коррозии –Л.: Химия,1967.-709с
3. 3. [http://www.zandz.ru/udelnoe\\_soprotivlenie\\_grunta.html](http://www.zandz.ru/udelnoe_soprotivlenie_grunta.html)

#### Требования к коммутационной способности линейных выключателей при отключении коротких замыканий

*А.Н. Чурина*

*Новосибирский Государственный Технический Университет, Россия, г.Новосибирск  
churina-anastasija@rambler.ru*

Линейные выключатели должны надежно отключать все виды коротких замыканий на ВЛ, отходящих от шин ОРУ ВН. Основными характеристиками выключателей с этой точки зрения являются их разрывная мощность, характеризуемая приданном классе напряжения величиной отключаемого тока, а также коммутационная способность, характеризуемая процессом восстановления электрической прочности между контактами полюса выключателя при их расхождении[1].

Выключатель является самым ответственным аппаратом в высоковольтной системе, при авариях он всегда должен обеспечивать четкую работу. При отказе выключателя авария развивается, что ведет к тяжелым разрушениям и большим материальным потерям, связанных с недоотпуском электроэнергии, прекращением работы крупных предприятий.

Основным требованием к выключателям является высокая надежность их работы во всех возможных эксплуатационных режимах. Отключение выключателем любых нагрузок не должно сопровождаться перенапряжениями, опасными для изоляции элементов установки. В связи с тем, что режим короткого замыкания для системы является наиболее тяжелым, выключатель должен обеспечивать отключение цепи за минимально возможное время[2].

Обычно рассматриваются два расчетных случая коммутации:

- отключение короткого замыкания (КЗ) на ВЛ непосредственно за выключателем,
- отключение КЗ на ВЛ на достаточно близком расстоянии от выключателя, так называемое "неудаленное КЗ" (по терминологии в российской технической литературе) или "километрический эффект" (по терминологии, принятой в зарубежной технической литературе)[1].

Для типовой схемы выдачи мощности ГЭС (рис.1) были проведены расчеты переходных восстанавливающихся напряжений (ПВН) на первом отключаемом полюсе линейного выключателя при отключении трехфазного КЗ на одной из отходящих ВЛ.

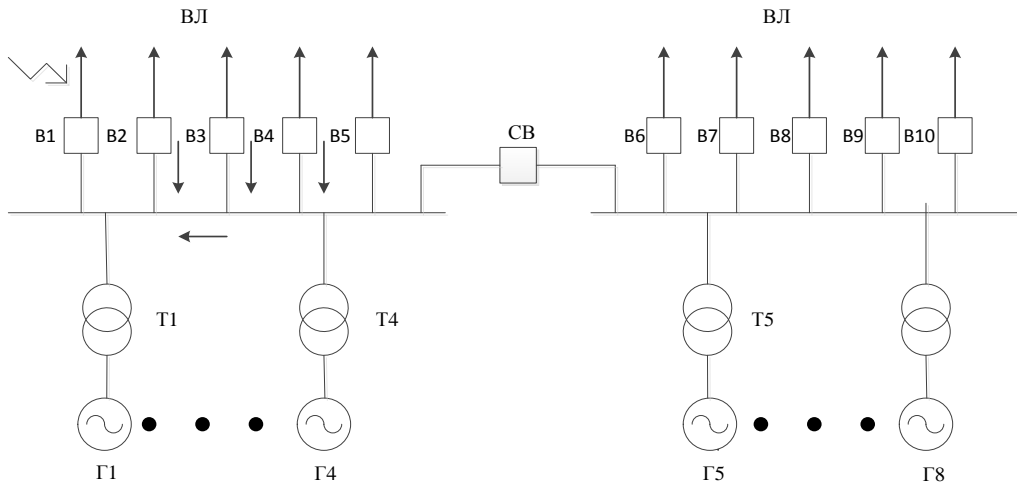


Рис. 1. Принципиальная схема выдачи мощности ГЭС с указанием точки КЗ

Для исследования процессов восстановления напряжения на контактах выключателя в рассматриваемой схеме и построение нормируемой кривой ПВН был использован пакет программы MatlabSimulink.

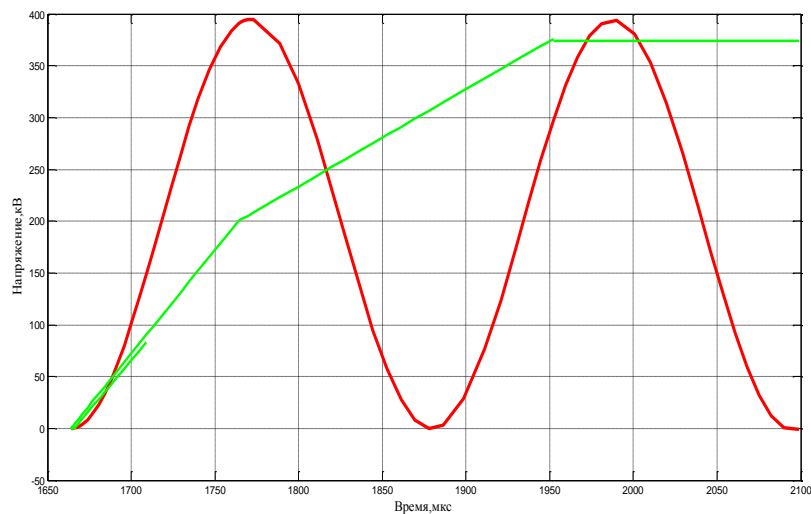


Рис.2 Осциллограмма восстанавливающегося напряжения и нормируемая кривая ПВН при условии  $I_{0.n} = I_{0.ном}$

Для рассматриваемой сети ток трехфазного КЗ равен 53 кА. Отталкиваясь от условия  $I_{кз} \leq I_{отк}$ , можно рекомендовать для установки выключатель с параметрами:  $U_{ном} = 220$  кВ;  $I_{отк} = 63$  кА. Компьютерная осциллограмма восстанавливающегося напряжения на контактах отключаемого полюса выключателя и нормируемая кривая переходного восстанавливающегося напряжения приведены на рис.2.

Кривая восстанавливающегося напряжения пересекает и лежит выше нормируемой кривой, следовательно, выключатель с предлагаемыми характеристиками не справляется с коммутацией отключения тока КЗ.

К возможным вариантам увеличения коммутационной способности выключателя при отключении токов КЗ (а именно снижение начальной скорости восстановления напряжения) можно отнести следующие:

- применение токоограничивающих устройств;
- использование шунтирующего сопротивления в выключателях;
- оснащение нейтралей трансформаторов ОРУ низкоомными сопротивлениями;
- деление сети или станции перед отключением [1].

Первые две меры сопряжены с введением дополнительного оборудования или усложнением конструкции выключателей, третья мера эффективна при отключении однофазных КЗ. Поскольку в работе рассматривались только трехфазные КЗ, то рассмотрим эффективность применения последней из перечисленных мер.

Предварительное отключение секционного выключателя приводит к увеличению эквивалентного сопротивления системы и способствует снижению тока КЗ. Расчетные осциллограммы процесса отключения при делении станции секционным выключателем приведены на рис.3.

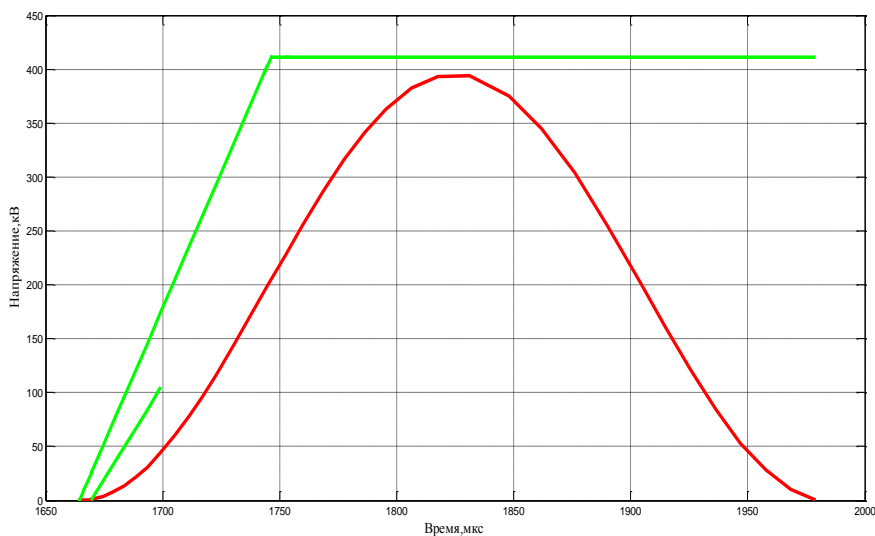


Рис.3 Осциллограмма восстанавливающегося напряжения и нормируемая кривая ПВН в случае деления станции секционным выключателем ( $I_{о.н} = 0,3 I_{о.ном}$ )

Кривая восстанавливающегося напряжения лежит ниже нормированной кривой. Следовательно, в случае деления станции предлагаемый выключатель способен отключить ток КЗ непосредственно за линейным выключателем на отходящей ВЛ.

В качестве альтернативной меры можно предложить включение дополнительной емкости на шинах ОРУ. В рассматриваемом случае уменьшается не только собственная частота, но и коэффициент превышения амплитуды  $K_a$  (отношение наибольшей амплитуды восстанавливающегося напряжения к наибольшей амплитуде возвращающегося напряжения промышленной частоты), так как чем больше эта емкость, тем больше демпфирующее действие сети и тем ниже кривая восстанавливающегося напряжения. Расчетная осциллограмма процесса приведена на рис.4.

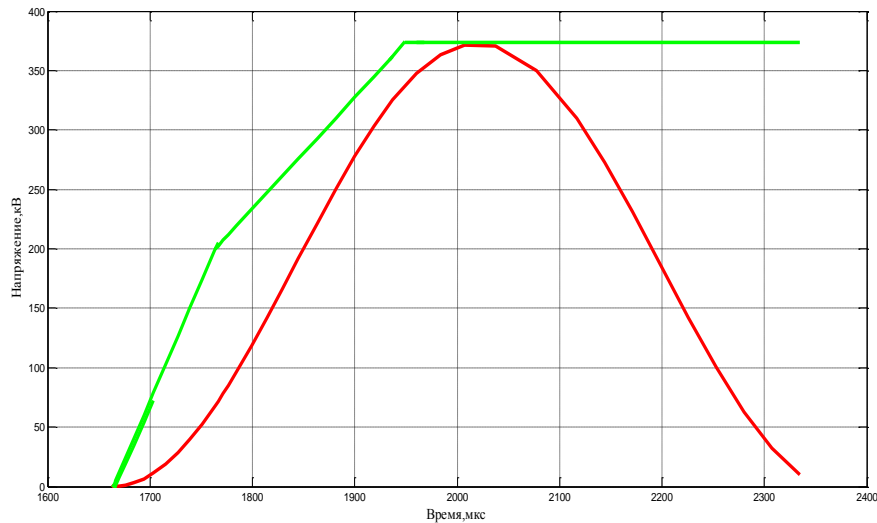


Рис.4. Осциллограмма восстанавливающегося напряжения и нормируемая кривая ПВН в случае увеличения суммарной емкости сети ( $I_{0.n} = I_{0.ном}$ )

В некоторых схемах определяющей коммутацией может быть не отключение КЗ непосредственно за линейным выключателем, а отключение КЗ на ВЛ на небольшом удалении от выключателя. Очевидно, что удаление точки КЗ от шин ОРУ приводит к некоторому уменьшению величины токов КЗ. Однако начальные скорости восстановления напряжения на контактах отключаемого полюса выключателя могут

возрасти за счет волновых процессов, возникающих на участке ВЛ от шин ОРУ до места КЗ [1]. Сравнительные расчетные осциллограммы процессов при отключениях КЗ непосредственно за выключателем и на некотором удалении (3 км) от него приведены на рис.5.

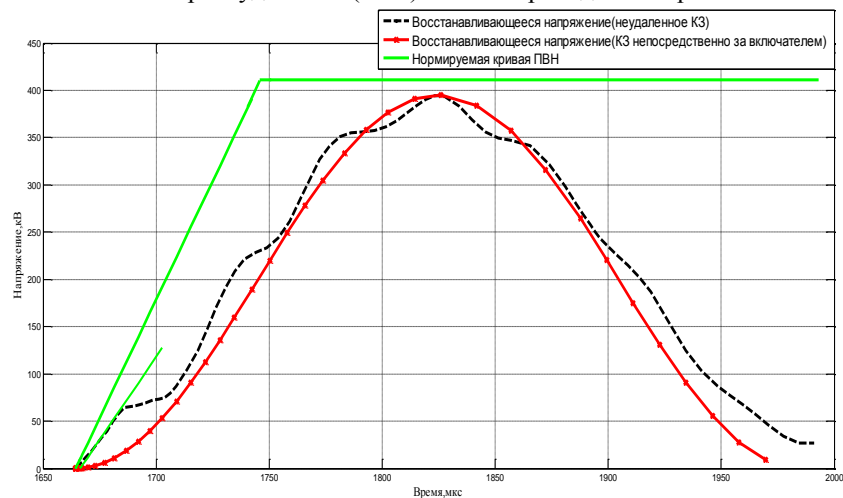


Рис.5. Сравнительные расчетные осциллограммы процессов восстановления напряжения на контактах выключателя при КЗ непосредственно за выключателем и на некотором удалении от него и нормируемая кривая ПВН

Наиболее эффективной мерой снижения начальной скорости ПВН при отключении неударенных КЗ является оснащение выключателей шунтирующими сопротивлениями [1].

Выводы: Проведенные в работе расчеты показали, что для обеспечения требуемой коммутационной способности линейных выключателей при отключении токов 3-фазного КЗ на отходящих ВЛ необходимо предусмотреть следующие меры:

- деление сети или станции перед отключением линейного выключателя;
- использование дополнительных емкостей на шинах ОРУ ВН;
- использование шунтирующего сопротивления в выключателях.



**Список литературы:**

1. Кадомская К.П., Лавров Ю.А., Рейхердт А. Перенапряжения в электрических сетях различного назначения защита от них: Учебник. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004. – с.
2. Кукеков Г.А. Выключатели переменного тока высокого напряжения. 2-е изд.- Л: «Энергия», 1972.- 338 с.
3. Ключенович В.И. Выключатели переменного тока высокого напряжения: Рекомендации по выбору и справочные данные. №2839. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004.

**О структурно-параметрической оптимизации режима перекачки при частотно-регулируемом электроприводе магистральных насосов****Шабанов В.А., Шарипова С.Ф.***Уфимский государственный нефтяной технический университет, Россия, г. Уфа  
sharipovavsveta@yandex.ru*

При современной системе перекачки нефти по магистральным нефтепроводам весь трубопровод делится на технологические участки. Технологический участок может содержать до 5-6 нефтеперекачивающих станций (НПС), на каждой из которых устанавливается, как правило, четыре магистральных насоса. В пределах технологического участка все насосы включены последовательно, работают с одинаковой подачей и поэтому режимы их работы взаимосвязаны. Так включение, отключение или изменение частоты вращения одного из насосов изменяет производительность трубопровода, а, следовательно, и подачу всех насосов технологического участка. Поэтому при оптимизации частотно-регулируемых электроприводов (ЧРЭП) магистральных насосов на одной из НПС необходимо учитывать изменение режимов работы всех других НПС технологического участка. В статье рассматриваются проблемы оптимизации режима перекачки при использовании ЧРЭП магистральных насосов.

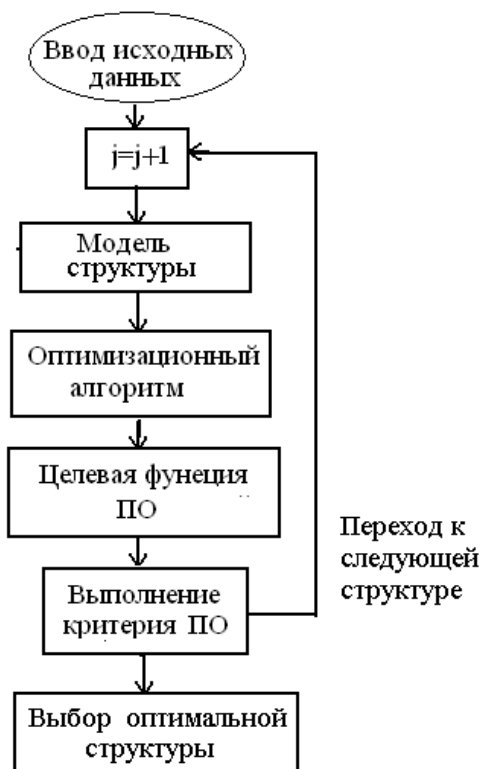
При оптимизации режима перекачки нефти при использовании ЧРЭП магистральных насосов решаются две оптимизационные задачи: определение оптимального числа ЧРЭП [1] и выбор оптимальной частоты вращения каждого из регулируемых насосных агрегатов [2, 3, 4].

При оптимизации технологического процесса перекачки (ТПП) все насосы, электродвигатели и преобразователи частоты технологического участка следует рассматривать как компоненты единого ТПП, образующие структуру технологического участка [5]. Поэтому при оптимизации перекачки нефти по технологическому участку необходимо найти как оптимальную структуру технологического участка (число магистральных насосов и ЧРЭП на каждой из НПС), так и параметры элементов, составляющих эту структуру (скорости вращения электродвигателей и магистральных насосов, напоры магистральных насосов, потребление мощности каждым из насосных агрегатов и т.д.). Это означает, что для оптимизации ТПП целесообразно использовать структурно-параметрическую оптимизацию, которая представляет собой комбинацию структурной и параметрической оптимизаций [6]. При структурно-параметрической оптимизации неизвестными являются как структура ТПП, так и параметры компонентов и процесса. При этом поиск осуществляется в пространстве структур и параметров.

Для проведения структурно-параметрической оптимизации необходимы математическая модель технологического участка, целевые функции и оптимизационный алгоритм. Структурно-параметрическую оптимизацию ТПП можно выполнять как единый процесс оптимизации, при котором одновременно оптимизируется и число ЧРЭП на каждой НПС, и их параметры. Разные структуры технологического участка, вследствие различий в количестве и сочетании регулируемых и нерегулируемых насосов и электродвигателей на каждой НПС, имеют различные выходные показатели (производительность трубопровода, напоры и загрузку насосов и электродвигателей, расход электроэнергии на перекачку, остаточный ресурс, расходы на техобслуживание и ремонт и др.). При этом для решения задачи структурной оптимизации необходимо знать оценки качества технологического процесса, которые, можно получить только на основе параметрической оптимизации. С другой стороны, задача параметрической оптимизации может быть решена только для заданной структуры. При этом параметрическая оптимизация становится подчиненной задачам структурной оптимизации. Структурная схема структурно-параметрической оптимизации приведена на рисунке 1.

Так как число структур, т.е. число возможных комбинаций магистральных насосов, ЧРЭП и мест их базирования на технологическом участке, может быть значительным, то такой алгоритм усложняет процедуру оптимизации и требует много машинного времени.

Возможна и другая процедура структурно-параметрической оптимизации, в которой структурная и параметрическая оптимизация на первом этапе разделены, а на втором этапе образуют единый процесс оптимизации с последовательными циклами и обратными связями. При этом на этапе структурной оптимизации выполняется структурный синтез. Для проведения структурного синтеза необходимы математическая модель технологического участка, целевые функции и показатели эффективности. При этом структурный синтез ТПП, в свою очередь, целесообразно выполнять в два этапа. На первом этапе может выполняться предварительный структурный синтез, например, на основе ограничений, накладываемых на параметры технологического режима. При этом структурный синтез на первом этапе - это процесс формирования технически допустимых структур с отсевом недопустимых и определение множества возможных и допустимых (конкурирующих) структур. На этом этапе параметры каждой из структур не оптимизируются – определяется только допустимый диапазон изменения параметров, например, допустимый диапазон изменения частоты вращения насосов. На следующем этапе структурного синтеза производится сравнение структур по одному из показателей эффективности (критерию отбора), например, по расходу электроэнергии, или по минимуму эквивалентного КПД. Причем определяется разброс изменения показателя эффективности в рабочем диапазоне изменения рабочих параметров. Конечная задача структурного синтеза – выбор структур с наибольшим значением показателя эффективности (например, с наименьшим расходом электроэнергии).



ПО - параметрическая оптимизация

Рис. 1. Перебор структур с выполнением параметрической оптимизации

Параметрическая оптимизация технологического процесса при частотном регулировании магистральных насосов, заключается в расчете оптимальных скоростей вращения каждого из них. Параметрическая оптимизация также может проводиться в несколько этапов. На первом этапе в качестве целевой функции может использоваться потребляемая мощность, расход электроэнергии или эквивалентный КПД технологического участка. Управляемыми переменными являются частоты вращения магистральных насосов. Выбор целевых функций и критериев оптимизации является при этом одной из важнейших проблем параметрической оптимизации. На первом этапе целесообразно использовать целевые функции в виде расхода электроэнергии. Это наиболее простые целевые функции, но не всегда эффективные [7]. На втором этапе параметрической

оптимизации целесообразно использовать критерии, связанные с повышением надежности трубопровода и повышением остаточного ресурса трубопровода, МН и электродвигателей [8].

Математические и компьютерные модели, применяемые при структурно-параметрической оптимизации ЧРЭП МН, могут существенно отличаться от моделей, используемых при параметрической оптимизации. Так, если при параметрической оптимизации структура технологического участка в процессе оптимизации остается постоянной, то в процессе структурно-параметрической оптимизации одновременно с параметрами ТПП изменяется и его структура, и целевые функции, и критерии оптимизации. При этом возможны несколько подходов к формированию модели ТПП. Можно, например, создавать свою модель для каждой структуры технологического участка. В этом случае должно быть создано множество моделей для разного числа и разного сочетания регулируемых и нерегулируемых МН и должен быть организован переход от одной модели ТПП к другой в процессе поиска оптимальной структуры. При таком подходе переход от одной модели к другой может производиться либо методом последовательного перебора, либо методами поисковой оптимизации с использованием критериев оптимизации. Однако при использовании ЧРЭП число структур может быть велико и метод перебора может потребовать значительного машинного времени, а применение методов поисковой оптимизации требует разработки критериев и целевых функций параметрической оптимизации. Другой подход заключается в создании модели, которая удовлетворяла бы требованиям всех возможных структур ТПП. Такая модель потребует использования нескольких критериев оптимизации и превращает задачу в многокритериальную. Такая модель будет универсальной и позволит автоматизировать процесс структурно-параметрической оптимизации.

#### Список литературы:

1. Шабанов В.А. Основы методики выбора числа и места установки частотно-регулируемых электроприводов магистральных насосов // Нефтегазовое дело. Научно-технический журнал. – 2012. – Т. 10. – № 2. – С. 36–39.
2. Туманский А.П. Оптимизация режимов перекачки по магистральным трубопроводам с перекачивающими станциями, оборудованными частотно-регулируемым приводом // Транспорт и хранение нефтепродуктов. – 2005. – №8. – С. 11–14.
3. Шабанов В.А., Ахметгареев А.А. К вопросу о выборе оптимального режима работы магистрального насоса с частотно-регулируемым приводом // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2012. – №3(89). – С. 119–127.
4. Шабанов В.А., Шарипова С.Ф. Алгоритм определения частоты вращения магистральных насосов // Нефтегазовое дело: электрон. научный журнал. – 2013. – №4. – С. 20–29. URL: [http://www.ogbus.ru/authors/Shabanov/Shabanov\\_17.pdf](http://www.ogbus.ru/authors/Shabanov/Shabanov_17.pdf)
5. Шабанов В.А., Шарипова С.Ф. Задачи и проблемы оптимизации ЧРЭП МН // Сборник научных трудов I международной (IV Всероссийской) НТК «Электропривод, электротехнологии и электрооборудование предприятий». - Уфа, «Нефтегазовое дело». – 2013. – С. 92–98.
6. Акимов С.В. Компьютерные модели для автоматизированного структурно-параметрического синтеза // Компьютерное моделирование 2004: Труды 5-й международной конференции. Часть 1. – СПб.: «Нестор». – 2004. – С. 191–197.
7. Шабанов В.А., Хакимов Э.Ф., Шарипова С.Ф. Алгоритм оценки эффективности частотно-регулируемого электропривода магистральных насосов эксплуатируемых нефтепроводов по критерию снижения расхода электроэнергии // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2013. – №2(9). – С. 34–42.
8. Шабанов В.А., Шарипова С.Ф. Критерии эффективности частотно-регулируемого электропривода магистральных насосов на нефтеперекачивающих станциях // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2013. – №1(9). – С. 38–43.

#### Повышение эффективности систем передачи и распределения электрической энергии

*Шевченко Н.Ю.*

*Камышинский технологический институт (филиал) ВолгГТУ, Россия, г. Камышин  
[schewchenckonata1960@mail.ru](mailto:schewchenckonata1960@mail.ru)*

Для повышения энергетической эффективности энергосистем необходимо оптимизировать процесс передачи и распределения электрической энергии.

Основные пути повышения энергетической эффективности электрических сетей [1]:

- внедрение технологий по увеличению пропускной способности линий электропередач (ЛЭП);
- энергосбережение за счет оптимизации конструкций электрооборудования, электрических сетей, проводниковой продукции и схемных решений;
- внедрение новых промышленных стандартов энергоэффективности силовых электрических аппаратов.

К новым технологиям в электроэнергетике предъявляются следующие требования: относительно небольшие инвестиции; непрерывный мониторинг состояния электрической сети; существенное повышение надежности снабжения потребителей электроэнергией; повышение пропускной способности линий электропередачи; регулирование напряжения в сети; повышение качества поставляемой электроэнергии; улучшение статической и динамической устойчивости энергосистемы; длительный период эксплуатации; интеллектуализация электрической сети.

Рассмотрим наиболее перспективные способы увеличения пропускной способности линий электропередачи.

Применение термостойких проводов позволяет ослабить температурные ограничения при передаче электрической энергии на короткие и средние расстояния при неизменных параметрах линии. Для получения необходимой температурной устойчивости применяются дисперсионно-твердеющие материалы, циркониевые сплавы, композитные материалы с внедрением волокон оксида алюминия. Такие материалы выдерживают без старения повышенные рабочие температуры (200-2500 С) и имеют сниженный коэффициент температурного расширения. Для повышения надежности и пропускной способности электрической сети можно использовать современные композитные провода AERO-Z, имеющие меньший вес по сравнению с проводом АС (ACSR), большую прочность на разрыв, меньшее удельное сопротивление и следовательно меньшие потери электроэнергии. Основные поставщики специальных проводов в Россию: Nexans (Бельгия); Lumpri- Berndorf, (Австрия); J-Power Systems (Япония).

Для передачи больших объемов электрической энергии на расстояния свыше 600 км наиболее эффективными являются линии постоянного тока (HVDC). Пропускная способность таких ЛЭП в 2-5 раз выше, чем при передаче переменного тока такого же напряжения. Постоянный ток также используется в кабельных подводных линиях электропередачи длиной более 50 км. Потери при передаче электрической энергии постоянного тока меньше по сравнению с переменным током, так как не зависит от сопротивления проводников и протекающего тока [2]

Применение в электрических сетях «гибких передающих систем переменного тока» на основе устройств FAST (Flexible alternative Current Transmission Systems) позволит повысить эффективность и обеспечить гибкое управление режимами энергосистем, так как FAST одновременно могут воздействовать на напряжение, сопротивление и угол сдвига фаз. Считается, что устройства FAST поднимут пропускную способность линий электропередач на 20-40%. Гибкие системы электропередачи должны позволить при любых возмущениях в системе с помощью устройств FAST перевести систему в новое стабильное состояние. Наиболее полно этим требованиям удовлетворяют такие устройства FACTS, как СТАТКОМ, АСГ (асинхронизированные генераторы), АСК (асинхронизированные компенсаторы), СТК (статические тиристорные компенсаторы), УПК (управляемые продольные компенсаторы), фазоповоротные трансформаторы, управляемые шунтирующие реакторы. Применяются данные устройства на всех уровнях электроэнергетической системы: на электростанциях, в сети, у потребителя [3].

Повышение компактности и экологичности электроэнергетических объектов – требования сегодняшнего дня, вызывающие необходимость применения новых технологий.

Для уменьшения отчуждения территории под линии электропередачи и снижения воздействия на окружающую среду все большее распространение находят компактные линии электропередач и подстанции различного исполнения. Воздушные линии (ВЛ) нового поколения (компактные ВЛ и управляемые самокомпенсирующиеся ВЛ (УСВЛ)) в сочетании с устройствами FAST по сравнению с ВЛ традиционной конструкции позволяют: увеличить пропускную способность в 1,2-1,6 раза; снизить суммарные затраты на 10-20% в расчете на единицу передаваемой мощности; осуществить принудительное перераспределение потоков активной и реактивной мощности; повысить эффективность использования устройств регулирования реактивной мощности; уменьшить суммарную мощность и стоимость устройств регулирования мощности напряжения; снизить суммарные потери электроэнергии в энергосистеме; повысить механическую устойчивость ВЛ при воздействии неблагоприятных атмосферных факторов; сократить в 1,5-2 раза площади земельных угодий, отчуждаемых под воздушные линии при

передаче одинаковой мощности; обеспечить управление величиной и направлением потоков мощности в электрических сетях [4].

Основные преимущества УСВЛ достигаются за счет создания новых конструкций опор и расщепленных фаз линии, изменения конфигурации расположения фаз в пространстве и расстояний между ними, выполнения специальных схем электрических присоединений линий данного типа к подстанциям, применение новых устройств фазового управления, а также средств компенсации, продольного и поперечного регулирования. Управляемые самокомпенсирующиеся высоковольтные линии электропередачи переменного тока могут выполняться в воздушном или кабельном исполнении и применяться в электрических системах для транспорта электрической энергии на малые, средние, дальние и сверхдальние расстояния, а также в распределительных электросетях.

Основные конструктивные особенности УСВЛ состоят в том, что цепи линии располагаются на общих опорах или сближенные фазы на отдельных опорах. Фазы в пролетах фиксируются друг относительно друга с помощью изоляционных элементов. Технические параметры различных вариантов двухцепных УСВЛ (CFACTS) приведены в таблице 1.

Таблица 1. Технические параметры различных вариантов двухцепных CFACTS

Параметры	Единицы измерения	Напряжение, кВ		
		220	330	500
Длина линий	км	100-300	200-400	300-600
Провода		2АС300	3АС300	АС300
Расстояние между сближенными фазами	м	2,2	3,0	4,0
Волновое сопротивление при:	$\Theta=00$	Ом	375	367
	$\Theta=1200$	Ом	222	214
	$\Theta=1800$	Ом	206	199
Натуральная мощность линии электропередачи при	$\Theta=00$	МВт	258	592
	$\Theta=1200$		416	965
	$\Theta=1800$		468	1090
				1478
				2567
				2929

Замена воздушных линий на кабели вплоть до номинального напряжения 500 кВ в крупных городах, несомненная тенденция развития электроэнергетики, результатом которой должно стать повышение компактности электроэнергетических объектов.

Сейчас наиболее перспективными являются кабели с теплостойкой экструдированной изоляцией (сшитый полиэтилен (СПЭ) и этиленпропиленовая резина), а также сверхпроводящие кабели ВТСП, которые примерно в 3–5 раз сокращают площади земель, отчуждаемых для прокладки даже кабелей из сшитого полиэтилена и позволяют увеличить почти на порядок рабочий ток при тех же радиальных габаритах токоведущей жилы.

Переход от кабелей с бумажной пропитанной изоляцией к кабелям с изоляцией из сшитого полиэтилена связан со следующими преимуществами последних: высокая пропускная способность; низкий вес, меньший диаметр и радиус изгиба; более высокая надежность; возможность прокладки на сложных трассах; относительно низкая себестоимость прокладки [5]. Ориентировочные экономические показатели при переустройстве ВЛ в КЛ приведены в таблице 2.

Таблица 2. Ориентировочные экономические показатели при переустройстве ВЛ в КЛ

Ориентировочная стоимость строительства 1 км. кабельной линии	Площадь высвобождаемого участка земли	Ориентировочная стоимость высвобождаемого участка земли
КЛ 110 кВ = 26 - 103 млн. руб.	4,5 Га	112 - 1120 млн. руб.
КЛ 220 кВ = 52 - 115 млн. руб.	5,6 Га	140 - 1400 млн. руб.
КЛ 500 кВ = 183 - 223 млн. руб.	8,0 Га	200 - 2000 млн. руб.

К другим перспективным решениям можно отнести газоизолированные линии (ГИЛ), где воздух, элегаз или другой газообразный диэлектрик находится при избыточном давлении. Такие

линии целесообразны в больших городах или на подходах к ним, а также для подстанционных связей. Относительная диэлектрическая проницаемость газа близка к единице, в результате погонная емкость примерно в 3–4 раза меньше, чем у обычных кабелей и, соответственно, значительно меньше и потери. Поэтому газоизолированные линии можно применять для передачи энергии на достаточно далекие расстояния. Газоизолированные линии, как правило, прокладываются в тоннелях. В настоящее время в мире реализовано более 500 проектов ГИЛ.

Выводы:

1. Условия работы современных электроэнергетических систем характеризуются увеличением плотности передаваемой мощности; снижением управляемости сети; необходимостью компактного исполнения электроэнергетических объектов; социальными аспектами обеспечения высокой надежности и экологичности электроснабжения.

2. Основой повышения управляемости и надежности электроэнергетических систем является применение устройств FACTS, системы мониторинга состояния и диагностики оборудования, работающими в режиме on-line.

3. Технологической основой создания компактных электроэнергетических объектов, наряду с применением ВТСП устройств, должны стать кабели на основе сшитого полиэтилена, компактные воздушные электропередачи с использованием многогранных опор, высокопрочных полимерных изоляторов нового поколения, изолированных, высокотемпературных и компактных проводов, газоизолированные линии.

#### Список литературы:

1. [http://www.energyfoto.ru/corp\\_mag/abb\\_review/ABB\\_Review\\_2007\\_2.pdf](http://www.energyfoto.ru/corp_mag/abb_review/ABB_Review_2007_2.pdf)
2. <http://www.siemens.com/energy/hv-gil>
3. <http://www.news.elteh.ru/proect/kochkin>.
4. [http://www.energo-info.ru/images/pdf/transformatorostroenie/pl\\_006\\_d.pdf](http://www.energo-info.ru/images/pdf/transformatorostroenie/pl_006_d.pdf).
5. [http://www.simross.ru/upload/information\\_system\\_17/2/2/0/group\\_220/information\\_groups\\_property\\_1052.pdf](http://www.simross.ru/upload/information_system_17/2/2/0/group_220/information_groups_property_1052.pdf)

#### Задача сопряжения математической модели объекта регулирования с автоматическим регулятором, реализованным на базе ПЛК.

*Сафронов А.В., Глезер В.В.*

*НГТУ, Россия, Новосибирск*

[glezer.v.v@gmail.com](mailto:glezer.v.v@gmail.com)

Энергетика – это отрасль с большим объемом автоматизации. Если в конце XX века теплоэнергетические процессы были автоматизированы на 70÷80%, то уже в начале XXI века объем автоматизации стал достигать 90÷95%. При этом, если раньше затраты на автоматизацию составляли порядка 4÷5% от стоимости основного оборудования, то сейчас эта цифра увеличилась до 15÷20% [1].

Развитие микропроцессорной техники позволило реализовать более сложные законы регулирования основных параметров работы энергооборудования. Так, доля применения ПИД закона регулирования составляет в одноконтурных системах 64%, в двухконтурных - 36% [2].

Сегодня на рынке можно найти большое количество производителей по разработке, производству, поставке и внедрению полномасштабных автоматизированных систем управления. Из них стоит выделить: Siemens, Honeywell, Emerson, из отечественных производителей – МС-Торнадо, Текон.

Каждый из производителей оборудования для автоматизации ведет свои разработки касательно создания новых законов регулирования: системы с предикторами, с элементами нечеткой логики, с различными доработками ПИД-регулятора, например, PIDFF разработки Siemens [3].

В связи с более сложными структурами регуляторов на сегодняшний день актуальным вопросом является обучение специалистов методам настройки автоматических систем регулирования (АСР) с заменой реального объекта автоматизации математической моделью. При этом в качестве регулятора используется программируемый логический контроллер (ПЛК) с реализованным в нем алгоритмом работы регулятора.

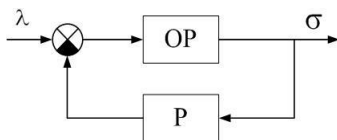


Рис.1. Структурная схема одноконтурной АСР.

где «Р» - регулятор, выполненный конкретным производителем и реализующий тот или иной закон регулирования; «ОР» - математическая модель объекта регулирования, достаточно полно и точно описывающая реальную систему, в которой предполагается использовать данный регулятор.

При реализации математической модели объекта регулирования возникает вопрос по способу сопряжения платформы расчета модели с ПЛК производителя [4,5].

Самым простым и очевидным решением является размещение математической модели (ММ) в этом же рабочем ПЛК. Существенным ограничением этого решения являются малые вычислительные ресурсы ПЛК, частота процессора, не превышающая 400 МГц и объем оперативной памяти 16 Мб. Поэтому для такой реализации возможно использование только упрощенных моделей. Применение этого метода возможно только в тех условиях, где величина конечной точности ММ не важна.

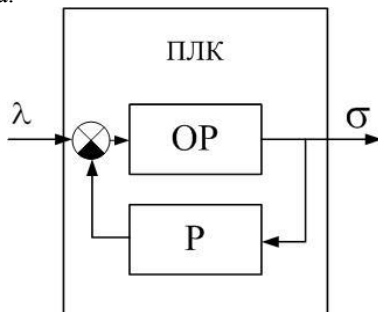


Рис.2. Схема размещения математической модели объекта регулирования в ПЛК.

Существенным недостатком данного способа является то, что при выборе ПЛК другого производителя будет необходимо заново набирать весь «листинг» кода ММ в новом редакторе, так как каждый производитель оборудования использует свою среду разработки, например: ISaGRAF, CoDeSys, Step7 и т.д. Решением этой проблемы может быть размещение всей ММ объекта регулирования физически в другом ПЛК.

В данном случае математическая модель реализуется в одном контроллере, а с ним сопрягается второй «исследуемый» контроллер. В этом случае ММ пишется только один раз и при смене «исследуемого» контроллера не переписывается.

Сопряжение контроллеров может быть произведено также несколькими способами: первый очевидный способ - через аналоговые/дискретные входы/выходы. Если же характеристики входов/выходов не совпадают, то возможно связать контроллеры через RS-485, либо RS-232 интерфейс, или же обеспечить их взаимодействие через OPC - сервер (OLE for Process Control), представляющий собой единый интерфейс для управления объектами автоматизации.

Как уже было отмечено выше, основным недостатком данного подхода являются малые вычислительные мощности современных ПЛК. При реализации сложных ММ основного энергетического оборудования и нехватке вычислительных ресурсов ПЛК представляется логичным использовать ресурсы более мощной техники, например – персонального компьютера (ПК). Современные достижения информационных технологий позволяют реализовывать любые математические модели теплового оборудования и всего энергоблока в целом и производить их расчет в реальном времени [6-8].

При размещении ММ на персональном компьютере возможны несколько способов его сопряжения с ПЛК.

Одним из способов решения является применение ЦАП/АЦП платы в ПК (PCI ЦАП/АЦП), которая преобразует выходные значения ММ в унифицированные токовые сигналы, а входные воздействия со стороны ПЛК - в цифровые. Так, мы получаем замкнутую систему АСР, работающую в реальном времени. Основным недостатком такого сопряжения является высокая стоимость платы (превышающая стоимость ПЛК) и ограниченное число входных/выходных

каналов. В связи с этим, для сопряжения регулятора с ММ экономически выгоднее использовать не ЦАП/АЦП плату, а ПЛК. Но тогда снова встает вопрос о сопряжении ПК и ПЛК между собой для передачи данных по схеме ПК-ПЛК-ПЛК.

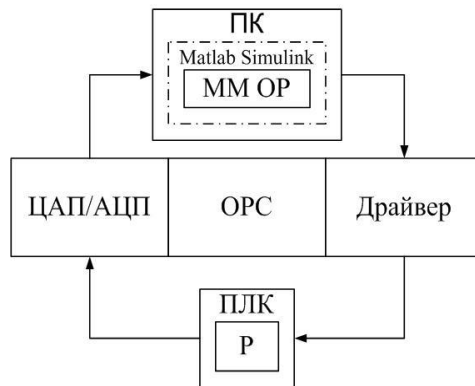


Рис.3. Схема возможных сопряжений ММ, размещенной в ПК с ПЛК.

Вторым способом решения данной задачи является использование промышленных протоколов Modbus и Profibus через преобразователь интерфейсов USB\RS-485, либо USB\RS-232. Недостатком этого подхода является сложность настройки ПЛК конкретного производителя для работы по данным протокола.

Перспективным решением в этой области является применение OPC-технологий. OPC-протокол является открытым стандартом, базирующимся на Windows-технологиях: OLE, ActiveX, COM/DCOM; а протоколы OPC XML DA, OPC UA - платформо-независимы. Это позволяет легко сопрягать с уже реализованной математической моделью ПЛК любого производителя.

Таким образом, обобщая все вышесказанное, можно сделать вывод о том, что для обучения специалистов методам поиска оптимальных параметров настройки АСУ с заменой реального объекта автоматизации математической моделью, математическую модель эффективнее размещать на вычислительных мощностях персонального компьютера, а сопряжение с контроллером осуществлять через OPC-сервер, размещенный на том же ПК.

#### Список литературы:

1. Оптимизация систем автоматизации теплоэнергетических процессов. Ч. 1. Автоматические системы регулирования теплоэнергетических процессов с аналоговыми регуляторами : учебник / С.И. Новиков. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2011. – 284 с.
2. Новиков С.И., Сафронов А.В. Метод экспериментального определения Д-составляющей ПИД-регулятора // Энергетика и теплотехника: сб. науч. трудов / под ред. акад. РАН В.Е. Накорякова. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2010. – Вып. 15. – С. 127-136.
3. Денисенко В.В. ПИД-регуляторы: принципы построения и модификации // Современные технологии автоматизации. - 2007. - №1. С. 78-88.
4. Зюбин В.Е. Использование виртуальных объектов для обучения программированию информационно-управляющих систем // Информационные технологии. 2009. №6. С.79-82.
5. Зюбин В.Е., Калугин А.А. Виртуальные лабораторные стенды: обучение программированию задач промышленной автоматизации // Промышленные АСУ и контроллеры. 2009. №2. С.39-43.
6. Загреддинов И. Ш. Магид С. И. Тренажерная it-подготовка персонала – основа экономичной и безаварийной работы предприятий электроэнергетики России. "Энергетика и промышленность в России" №10, 2004;
7. Рубашкин А. С. Развитие технологии моделирования динамических процессов на тепловых электростанциях. "Теплоэнергетика" №10, 2004;
8. Донской А. Н. Тренажеры на базе ЭВМ для оперативного персонала ТЭЦ. "Энергетик" № 5, 1995.



## Секция 2

## Эффективность теплоэнергетических установок и систем

## Повышение эффективности газотурбинных установок в системе эксплуатации газопроводов

*Афанасьев К.Ю.**Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск**[afalina1@sibmail.com](mailto:afalina1@sibmail.com)*

В последние годы газотурбинные установки (ГТУ) приобретают все большее развитие в различных отраслях промышленных предприятий. Повышенное внимание к газотурбинным установкам в первую очередь может быть объяснено рядом преимуществ ГТУ перед их основными конкурентами. К наиболее важным достоинствам ГТУ можно отнести высокую экономичность, большие мощности при малых габаритных размерах и удельном весе, возможность использования автоматизированного управления, высокая надежность, возможность агрегатного ремонта, а также простота конструкции и обслуживания.

Эффективность и экономичность использования газотурбинных установок на компрессорных станциях газопроводов, благодаря высокой энергоемкости, компактности и автономности уже давно доказаны на примере большинства газотранспортных компаний. На сегодняшний день количество газоперекачивающих агрегатов с приводом на основе ГТУ достигло по суммарной мощности уже более 80 % от общей установленной мощности [1].

При этом стоит отметить, что на привод газоперекачивающих агрегатов (ГПА) расходуется около 30 % от перекачиваемого объема природного газа. Таким образом, одним из приоритетных направлений развития газотранспортных компаний является внедрение доступных и эффективных методов повышения КПД газотурбинных установок компрессорных станций.

Как известно, основными методами повышения эффективности ГТУ являются повышение КПД, а также улучшение экологичности (уменьшение количества вредных выбросов в атмосферу).

Разработки по повышению эффективности ГТУ можно разделить на три направления:

рекуперация тепла уходящих газов, с его повторным использованием;

модернизация термодинамических циклов в самой установке;

внедрение современных конструктивных решений по созданию тепловых двигателей.

Первое направление включает в себя утилизацию тепловой энергии для повышения эффективности самой газотурбинной установки или для вспомогательных нужд (подогрев сетевой воды, отопление, ГВС и т. д.).

Второе направление предусматривает улучшение термодинамических характеристик ГТУ за счет:

использование теплоты уходящих газов для подогрева сжатого воздуха перед входом в камеру сгорания;

промежуточное охлаждение воздуха при ступенчатом сжатии;

промежуточный подвод теплоты при ступенчатом расширении;

использование частично замкнутого циркуляционного контура [2].

Третье направление предполагает развитие таких технологий как:

создание сложных и многовалвных установок, которые имеют большую эффективность и экономичность при работе на частичных нагрузках;

разработка комбинированных установок, работающих по парогазовому циклу или с поршневыми камерами сгорания;

повышение температуры перед турбиной до 2000 К [3];

разработка контактных газо-паротурбинных установок схемы «Водолей»;

приближение процесса горения в проточном тракте турбины к изотермическому за счет создания установок без камер сгорания [4].

Стоит отметить, что в работах многих авторов [5..8] даются данные о сложности и перспективности того или иного метода повышения эффективности ГТУ, однако речь чаще всего идет лишь о конечных цифрах увеличения КПД, а получить промежуточные результаты расчетов, влияющие на конечный результат не представляется возможным. Также, как уже говорилось, эффект от введения того или иного метода повышения КПД ГТУ зависит от ее класса мощности, и

выявление зависимостей для конкретного примера ГПА-16М-10, который эксплуатируется на компрессорной станции острова Сахалин, будет иметь высокое прикладное значение.

В ходе работы были рассмотрены схемы ГТУ, начиная от простой и заканчивая схемами с промежуточными подводами теплоты, промежуточными охлаждениями между ступенями компрессора, рекуперацией и т.д., а также проанализировано влияние повышения температуры перед турбиной, изменения температуры воздуха перед компрессором и введения воздушного охлаждения.

Далее приведем в графическом виде результаты относительных изменений основных показателей рассчитанных схем ГТУ на рисунках 1-5.

Исходя из представленных диаграмм видно, что схема с регенерацией имеет наибольший КПД за счет минимальной работы компрессора, при этом максимальный коэффициент полезной работы достигается в схеме с промежуточным подводом теплоты и промежуточным охлаждением.

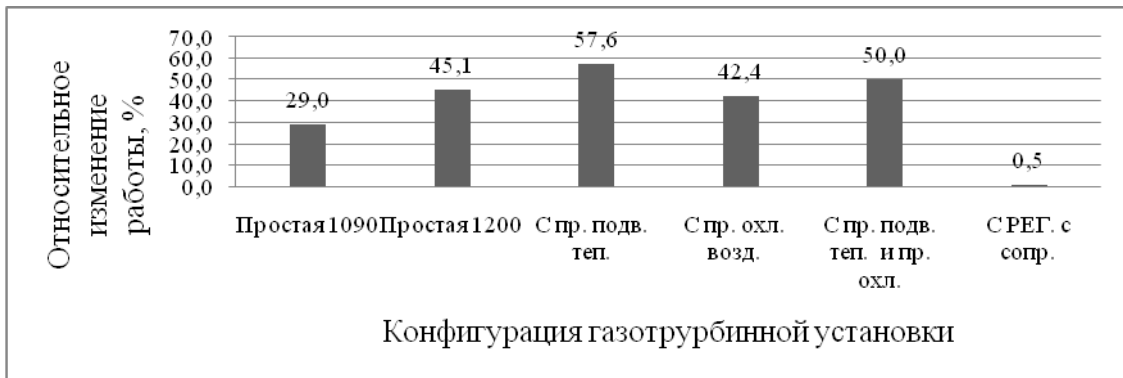


Рис. 1 Зависимость работы на валу агрегата от конфигурации газотурбинной установки



Рис. 2 Зависимость коэффициента полезной работы от конфигурации газотурбинной установки



Рис. 3 Зависимость КПД от конфигурации газотурбинной установки

Также было получено, что во всех рассмотренных схемах температура газов на выходе из турбины превышает  $360^{\circ}\text{C}$ , что дает возможность использования теплоты уходящих газов для производства дополнительной тепловой энергии для отопления и ГВС.

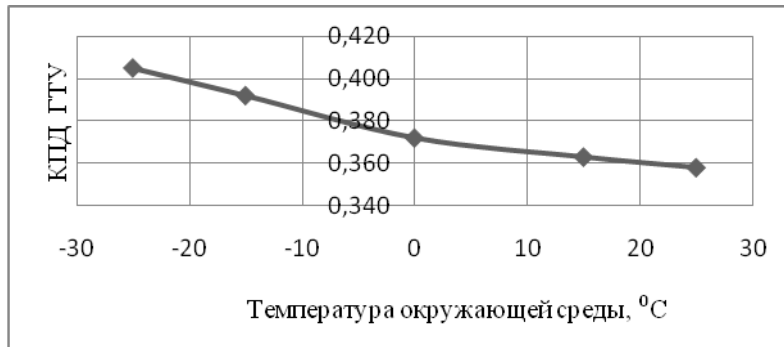


Рис. 4 График зависимости КПД ГТУ от температуры окружающей среды

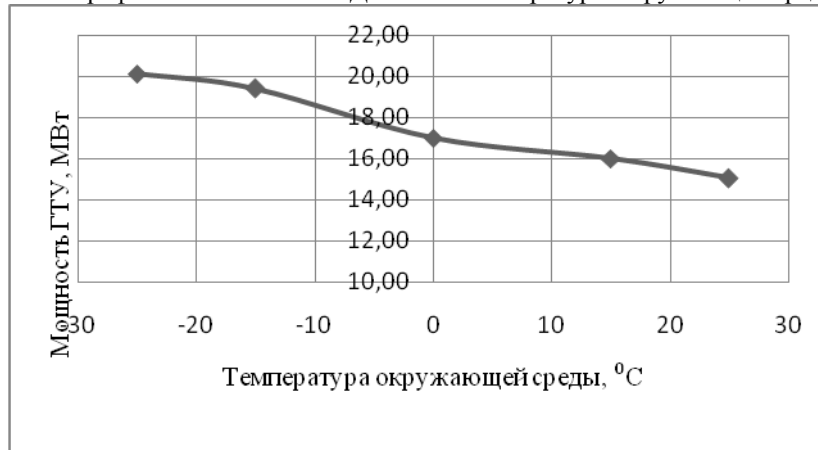


Рис. 5 График зависимости мощности ГТУ от температуры окружающей среды

По результатам представленных графиков можно сделать следующие выводы:

Увеличение температуры позволяет увеличить работу расширения 1 кг газа в турбине и увеличить работу ГТУ на валу агрегата, что позволит получить большую эффективную мощность.

Рост температуры на входе в турбину позволяет снизить расход газа через турбину, расход воздуха, подаваемого компрессором и расход топлива, что приведет к уменьшению экономических затрат и повышению КПД на 3 %.

Используя промежуточный подвод теплоты, мы получаем более высокую работу расширения 1 кг газа в турбине и более высокую работу газа на валу агрегата и следовательно большую мощность. Однако, прирост КПД менее 1 %.

Промежуточное охлаждение воздуха позволяет незначительно увеличить работу расширения 1 кг газа в турбине и увеличить работу ГТУ на валу агрегата, а также снизить расход газа через турбину, расход воздуха, подаваемого компрессором, что приведет к уменьшению экономических затрат. Коэффициент полезного действия увеличился также менее чем на 1 %.

Комплексное применение промежуточного подвода теплоты и промежуточного охлаждения воздуха наряду с преимуществами каждого из вариантов является наиболее капиталоемким методом. Рост КПД составил около 2 %.

Использование рекуператора позволяет существенно увеличить температуру газов на выходе из турбины, их тепловой потенциал, а также снизить работу сжатия одного килограмма воздуха в компрессоре, что приводит к увеличению КПД ГТУ на 3-4 %.

При воздушном охлаждении простой ГТУ при расходе воздуха на охлаждение 0,106 кг/кг, происходит снижение электрического КПД на 6 % и увеличивается расход топлива в камеру сгорания на 3 %.

При уменьшении температуры наружного воздуха происходит увеличение мощности ГТУ, что является следствием повышения работы расширения рабочего тела в газовой турбине, при повышении расхода воздуха сжимаемого компрессором. КПД ГТУ, коэффициент полезной мощности повышаются, а удельные расходы топлива и воздуха снижаются в связи с уменьшением работы, затрачиваемой на сжатие воздуха в компрессоре, однако массовые расходы воздуха и топлива возрастают.

Таким образом, схема с регенерацией имеет наибольший КПД за счет минимальной работы компрессора, при этом максимальный коэффициент полезной работы достигается в схеме с промежуточным подводом теплоты и промежуточным охлаждением.

Исходя из целесообразности применения того или иного решения на компрессорной станции о. Сахалин наиболее эффективным методом считаю внедрение регенерации тепла уходящих газов за счет введения кожухотрубных теплообменных аппаратов с оребрением.

#### Список литературы:

1. Газотурбинные установки для транспорта природного газа: учебное пособие / А. В. Рудаченко, Н. В. Чухарева. — Томск: Изд-во ТПУ, 2012. — 212 с.
2. Ходус В.В. Высокоэффективный регенеративный цикл ГТУ с рециркуляцией продуктов сгорания при высоком давлении // Теплоэнергетика. 2010. № 2. С. 7 – 11.
3. Fukaizumi J. The future of gas turbine // Power Engng Intern. Mag. 2005. Vol. 13. № 5. P. 683-691.
4. John H. Lewis, William H. Day, "Gas turbine", in AccessScience, ©McGraw-Hill Companies, 2008, URL: <http://www.accessscience.com> (дата обращения 01.04.2013).
5. Scholberty M. Breakthrough in gas turbine efficiency // Turbomachine Intern. 2005. Vol. 46. № 1. P. 23-29.
6. Микаэлян Э. Газотурбинные технологии в нефтегазовом комплексе. Бурение и нефть. 2/2004. С 28 – 29.
7. Обзор перспективы развития рынка ГТУ для газоперекачки //Аэронавтика и космос, 19-25 января, 2004. С. 64-67.
8. Романов В.И., Кучеренко О.С. Газотурбинный двигатель для газовой промышленности. Территория Нефтегаз \№8\ август \ 2007. С 92 – 95.

УДК 697.1

#### Энергоэффективность однотрубных систем отопления при различных методах регулирования теплопотребления

*Морозов М.Н., Стрижак П.А.*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск  
[benm6@yandex.ru](mailto:benm6@yandex.ru)*

Разработана тепловая модель системы теплоснабжения здания, состоящая из источника теплоты, индивидуального теплового пункта и системы отопления. Выполнены исследования однотрубной конфигурации системы отопления. Проведено сравнение интегральных параметров работы систем с местным и индивидуальным регулированием. Сделаны выводы о неэффективности однотрубной системы отопления при различных методах регулирования теплопотребления.

В последнее время вопрос повышения ресурсоэффективности во всех сферах жизнедеятельности стал подниматься на различных уровнях [1,2]. Особое значение уделяют мероприятиям, направленным на повышение энергоэффективности зданий и сооружений [3]. К современным системам теплоснабжения предъявляются следующие требования: с одной стороны необходимо поддерживать параметры микроклимата на комфортном уровне [4], а с другой требуется повышение энергоэффективности инженерных систем жизнеобеспечения здания. Цель настоящей работы заключается в исследовании однотрубной конфигурации системы отопления здания при местном регулировании в тепловом пункте, а также в случае дополнения системы индивидуальными регуляторами.

Объектом моделирования является система централизованного теплоснабжения здания учебного корпуса Томского Политехнического Университета, расположенного по адресу г. Томск, пр. Ленина, 30а. Система состоит из теплового пункта, магистральных подающих и отводящих трубопроводов, стояков, подводок к отопительным приборам, самих отопительных приборов и запорно-регулирующей арматуры. Теплоснабжение здания осуществляется от центрального теплового пункта (ЦТП) по температурному графику 95/70 °С. Ввод системы теплоснабжения в корпус осуществляется через узел учета индивидуального теплового пункта (ИТП). ИТП спроектирован по зависимой схеме с применением насосной циркуляции и подмешиванием теплоносителя из обратного трубопровода в подающий. Особенностью отопительной системы здания является наличие как одно-, так и двухтрубной конфигурации. Объектом исследования в рамках данной работы была выбрана однотрубная конфигурация (рис.1). Система является

комбинированной: обвязка отопительных приборов верхних этажей выполнена с байпасом, нижний этаж – проточная система.

Для оценки энергоэффективности однотрубных систем отопления при различных методах регулирования разработана универсальная тепловая модель здания. В качестве платформы для имитационной модели выбрано приложение Simulink математического пакета Matlab [5, 6].

Реализация модели в пакете Matlab основывается на представлении каждого отдельного функционального компонента в виде блоков s-функций и подсистем (рис.2).

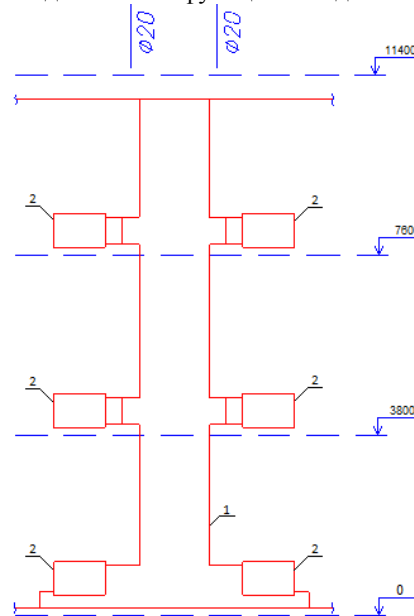


Рис.1. План однотрубной вертикальной конфигурации системы отопления:  
1 – водопроводная труба; 2 – отопительный прибор.

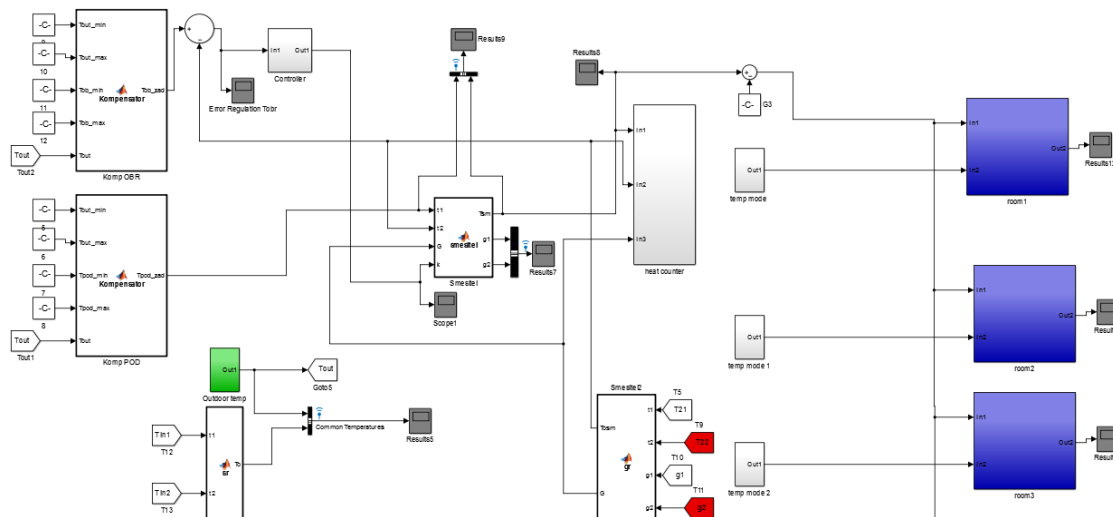


Рис.2. Тепловая модель системы теплоснабжения здания

Для решения поставленной задачи проведено две серии опытов, заключавшихся в исследовании влияния внешнего возмущающего фактора на тепловой режим помещений, содержащих систему отопления: 1) с индивидуальным регулированием; 2) с местным регулированием в ИТП без индивидуального.

В каждой серии опытов были рассмотрены три помещения, расположенных на различных этажах здания (рис. 1), отопительные приборы которых соединены последовательно – вертикальная однотрубная разводка. В качестве внешнего возмущающего фактора была принята

температура наружного воздуха, изменение которой задавалось в диапазоне  $[-40;5]$  °С с шагом 5 °С.

Сравнительный анализ результатов моделирования первой серии опытов показал, что индивидуальное регулирование отопительного прибора обеспечивает стабилизацию регулируемого параметра – температуры воздуха внутри помещений. Оценка качества переходных процессов проводилась по времени регулирования. Результаты моделирования для каждого помещения представлены на рисунке 3.

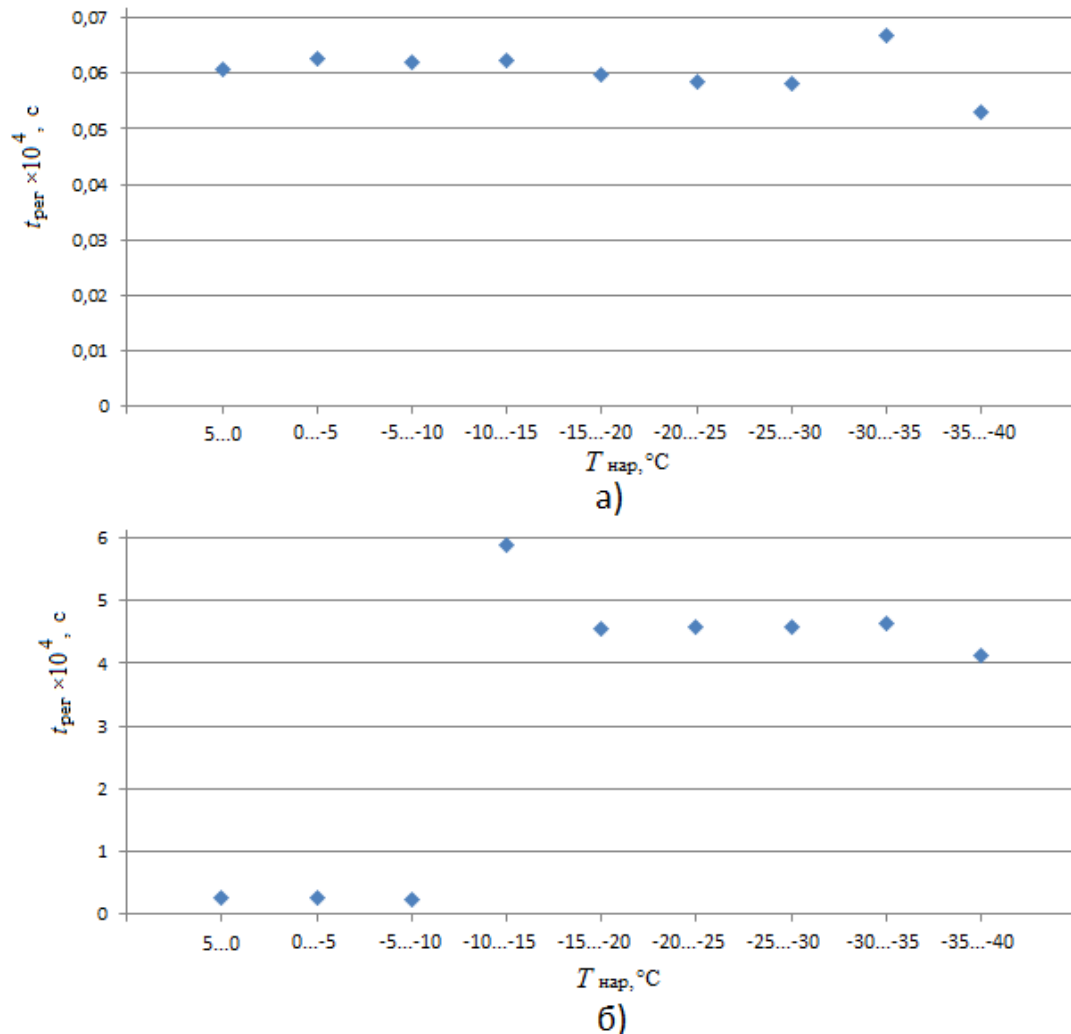


Рис. 3. Зависимость времени регулирования от температуры наружного воздуха: а – для помещения третьего этажа; б – для помещения первого этажа.

Резкий рост времени регулирования для помещения первого этажа объясняется недостаточной температурой теплоносителя на входе в отопительные приборы. В этом случае локальная автоматическая система регулирования не может стабилизировать температуру воздуха в помещении.

Полученные данные также позволяют сравнить оценки качества регулирования между рассматриваемыми помещениями. Регулирование температуры воздуха в помещении 3-го этажа (первого по направлению движения теплоносителя) является наиболее оптимальным, тогда как нижний этаж характеризуется относительно большим временем регулирования.

Анализ второй серии опытов показывает, что отсутствие индивидуального регулирования не позволяет системе отопления поддерживать оптимальный тепловой режим помещений (рис. 4). Температура воздуха внутри помещения третьего этажа оказывается завышенной во всем диапазоне изменения внешнего возмущающего воздействия, т.е. в течение всего отопительного сезона. Наоборот, помещение первого этажа характеризуется дефицитным теплоснабжением. В

настоящее время система отопления не только не удовлетворяет нормативным значениям параметров микроклимата [4], но и вызывает дополнительные теплотери из-за «перетоков».

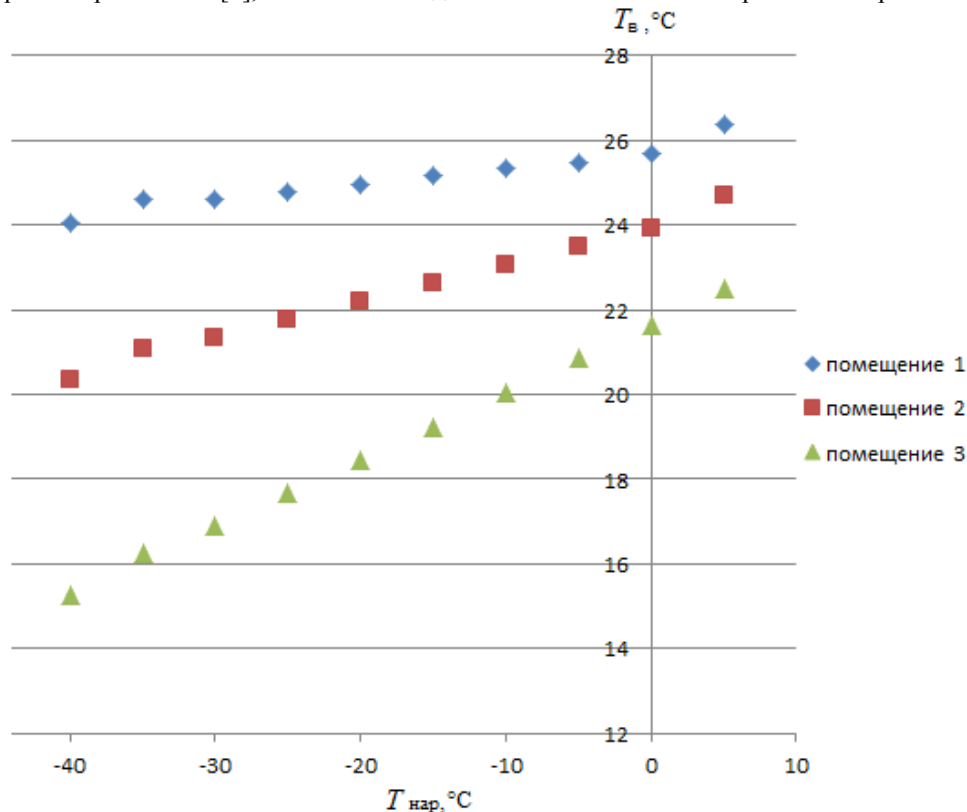


Рис. 4. Зависимость температуры воздуха внутри помещений от наружной

Неравномерное распределение теплоносителя по отопительным приборам является наиболее важным недостатком однотрубных систем отопления. Данную проблему не удастся решить и при внедрении в ИТП современного регулятора с погодным компенсатором. Исследования показали, что при внедрении локальных регуляторов теплопотребления рассматриваемая система отопления приобретает качественно новые возможности: поддержание индивидуального теплового режима помещения, точное регулирование по ПИД-, ПД- или ПИ-закону исключает перерасход тепла. При этом происходит автоматическое перераспределение теплоносителя между отопительными приборами.

#### Список литературы:

1. Дубягин Ю.П., Дубягина О.П., Марченко Е.М. Стратегия национальной безопасности России и ее соотносимость с энергетической безопасностью и ее важными системными составляющими: энергосбережением и водоподготовкой // Энергосбережение и водоподготовка. – 2013. – № 3(83). – С. 11–16.
2. Парыгин А.Г., Волкова Т.А., Куличихин В.В. О энергонезависимости и надежности тепловых пунктов // Энергетик. – 2013. – № 3. – С. 41–43.
3. Самарин О.Д., Гришнева Е.А. Повышение энергоэффективности зданий на основе интеллектуальных технологий // Энергосбережение и водоподготовка. – 2011. – № 5. – С. 12–14.
4. СНиП 41-01-2003. Отопление, вентиляция и кондиционирование. М., 2004.
5. Добротин С.А., Прокопчук Е.Л. Синтез системы упреждающего управления процессом подачи тепла на отопление здания // Проблемы региональной энергетики. 2011. №2. С. 53-65.
6. Солдатенков А.С., Потапенко А.Н., Глаголев С.Н. Исследование математической модели управления автоматизированным индивидуальным тепловым пунктом с типовыми регуляторами // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2012. – № 1 (2). – Том 14. – С. 679–684.

УДК 62-7/78

**Влияние ремонтной кампании на сокращение потерь сетевой воды****Москалёв И.Л.***Томский политехнический университет, Россия, г. Томск**E-mail: moskalew@tpu.ru*

В данной работе обобщены результаты проведения ремонтной кампании 2013 г. Определены величины утечки сетевой воды по падению давления до и после проведения ремонта. Проведен анализ подпитки за 2012-2013 гг.

Проведенный нами анализ влияния ремонтов на сокращение сетевой воды проводился для системы централизованного теплоснабжения одного из городов Сибирского федерального округа, с общей протяженностью сетей 513 594 м (магистральные сети - 130 887 м, квартальные – 382 707 м). Необходимо отметить, что среди участков тепловых сетей, входящих в анализируемую группу, имелись участки различных диаметров и способов прокладки, а также с различным сроком эксплуатации; кроме того, они отличались друг от друга качеством ремонта и условиями эксплуатации (нарушенная изоляция, затопленные каналы, качество сетевой воды и другие).

В ходе летней ремонтной кампании 2013 года на магистральных тепловых сетях гидравлические испытания на прочность и плотность проведены в полном объеме. На плотность было испытано 206,2 км тепловых сетей (40,1 % от общей протяженности).

Также в результате ремонта проведены гидравлические испытания на прочность 471,1 км тепловых сетей, что составляет 92% от общей протяженности.

Подробная информация о результатах испытаний представлена в таблице 1.

Таблица 1. Результаты проведения гидравлических испытаний и испытаний на плотность тепловых сетей в 2013 году (без учета сетей от наружных узлов управления)

Наименование показателя	Испытанные сети			Неиспытанные сети		
	Маг.	Кварт.	Всего	Маг.	Кварт.	Всего
<b>Испытания на плотность</b>						
Протяжённость, м	130 887	75 265	206 152	0	307 442	307 442
% от общей протяжённости	100	19,7	40,1	0	80,3	59,9
Сокращение утечки, т/ч	141,6			-255,6		
<b>Гидравлические испытания на прочность</b>						
Протяжённость (P= 16 кгс/см <sup>2</sup> ), м	120 287	268 649	388 937	0	42 517	42 517
Протяжённость (P< 16 кгс/см <sup>2</sup> ), м	10 600	71 540	82 140			
% от общей протяжённости	100	88,9	91,7	0	11,1	8,3

Сокращение утечки на испытанных участках составило 141,6 м<sup>3</sup>/ч. Учитывая тот факт, что с начала отопительного сезона 2013-2014 суточная подпитка тепловой сети в сравнении с доремонтным периодом (апрель 2013) увеличилась на 114 м<sup>3</sup>/ч, можно предположить, что на неиспытанных участках тепловых сетей произошло увеличение утечки сетевой воды на 255,6 м<sup>3</sup>/ч.

Всего за ремонтную кампанию 2013 г. на плотность испытано 130 887 м (100%) магистральных сетей и 75 265 м (19,7%) квартальных сетей. По испытанным сетям сокращение утечки составило 141,6 м<sup>3</sup>/ч (825 811 м<sup>3</sup> в пересчете за отопительный сезон), при этом увеличение утечки сетевой воды на не испытанных участках составило 255,6 м<sup>3</sup>/ч (1 490 659 м<sup>3</sup> в пересчете за отопительный сезон).

По результатам испытаний на прочность и плотность сетей ГВС от ЦТП (в расчетах собраны данные по 36 ЦТП) объем минимальной ночной подпитки после ремонта сократился с 50,27 м<sup>3</sup>/ч до 37,43 м<sup>3</sup>/ч (107 856 м<sup>3</sup>/год), что составляет 26% от годового объема потерь в сетях ГВС от ЦТП за 2012г.

Нами были выявлены следующие причины, не позволившие в полном объеме провести испытания на плотность и прочность квартальных тепловых сетей:



## 1. Рост повреждаемости квартальных тепловых сетей:

Наименование тепловых сетей	Повреждаемость тепловых сетей по годам, шт				
	2009	2010	2011	2012	2013
Квартальные сети	742	874	1 133	1 114	1 134

Как следствие - требуется больше времени на устранение данных дефектов.

Ежегодные объемы перекладки квартальных тепловых сетей в рамках капитальных ремонтов (подрядным и хоз. способом) составляют:

Наименование тепловых сетей	Перекладка тепловых сетей по годам, м				
	2009	2010	2011	2012	2013
Квартальные сети	5 572,75	6 220,2	5 851,57	5 496,89	4 689

Согласно нормативной документации, замена участков тепловых сетей должна проводиться не реже одного раза в 16 лет, что составляет 22,6 км ежегодно.

2. Отсутствие материалов на дополнительное количество выявленных повреждений к окончанию ремонтной кампании.

3. Нехватка специализированной техники (экскаваторы, самосвалы, гидромолот и т.п.) для производства земляных работ согласно постановлениям «Об утверждении Правил благоустройства территории муниципального образования». Данные обстоятельства замедляли процесс устранения повреждений на тепловых сетях.

Интересным представляется анализ влияния ремонтной кампании на подпитку сетевой воды и потери с нераспределенной сетевой водой.

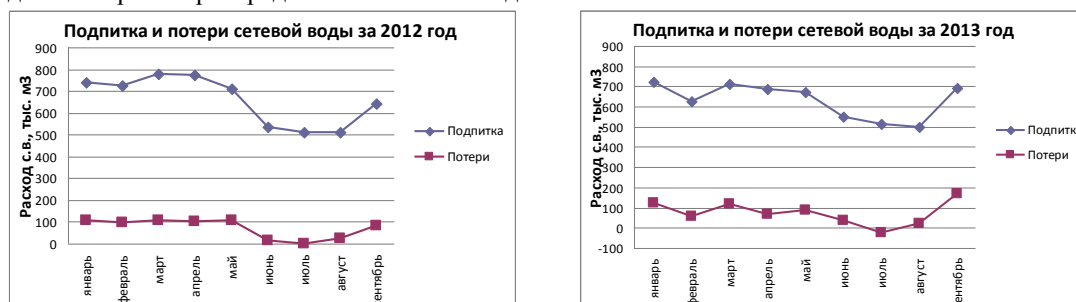


График 1 – Подпитка и потери с нераспределенной сетевой водой

Из Графика 1 видно, что начало отопительного сезона (после проведения межотопительных ремонтов) за прошедшие два года, неуклонно, связано с ростом потерь и как следствие ростом подпитки сетевой воды. Причем, рост потерь в среднем соизмерим с величиной потерь до начала ремонтной кампании в натуральном выражении.

Нами были выявлены причинами увеличения сверхнормативных потерь сетевой воды за 9 месяцев 2013 г. по сравнению с аналогичным периодом 2012 г.:

- начало отопительного сезона в 2013 году произошло на 9 дней раньше чем в 2012 году, так при росте сверхнормативных потерь сетевой воды на 7,6 тыс. м<sup>3</sup> за 9 месяцев, за 8 месяцев 2013 года сокращение сверхнормативных потерь сетевой воды составило 79 тыс. м<sup>3</sup>;

- несоответствие темпов снижения отпуска в сеть (4,2%) и полезного отпуска сетевой воды (6,8%)/

Следует отметить, что суммарный объем потерь сетевой воды (норм.+сверхнорм.) за 9 месяцев 2013г. сократился на 61,5 тыс. м<sup>3</sup> (1,9%) по сравнению с аналогичным периодом 2012 г.

На основании вышесказанного можно заключить, что некачественно проведенный ремонт зачастую ведет к увеличению подпитки, по причине роста потерь сетевой воды, а это напрямую связано с дополнительными затратами на химводоподготовку (удалении из воды веществ, образующих накипь на греющих поверхностях водогрейных котлов, а также осадков коллоидных и органических веществ, гидроокиси железа и т.д.) и подогрев воды для подпитки тепловых сетей. Может возникнуть необходимость включения в подпитку неподготовленной воды, которая из-за повышенного содержания солей приводит к образованию накипи в водогрейных котлах и

вызывает закупорку (закипание) трубопроводов, из-за повышенного содержания кислорода вызывает интенсивную внутреннюю коррозию.

А если по причине не 100% испытания тепловых сетей произойдет авария в холодное время года, то будет произведено отключение теплоснабжения в местах массовой застройки, которое чревато серьезными социально-экономическими последствиями. Это связано с остыванием зданий и инженерных сооружений ниже пороговых температур.

При длительной утечке воды утяжеляются условия ликвидации повреждения и его последствий: увеличиваются временные, материальные и физические затраты, связанные с проведением соответствующих работ по устранению повреждения.

Таким образом, в настоящее время существует много моделей оценивания надежности и эффективности централизованного теплоснабжения, но все они сложны в своем использовании, требуют специального дорогостоящего оборудования и специалистов умеющих с ним обращаться, но как показывает практика зачастую предприятия энергетики не готовы сегодня выделять финансирование на диагностику, считается, что дешевле устранить повреждение по факту его появления. Поэтому необходимы такие модели, которые будут просты и понятны в использовании, не требующие специального образования, к тому же они должны быть эффективны и самое главное не требующие больших финансовых вливаний. Таким методом является предлагаемый нами метод по ремонтной истории тепловых сетей. Данный метод подробнее будет рассмотрен в следующих работах.

#### Список литературы:

1. «Методика определения потребности в топливе, электрической энергии и воде при производстве и передаче тепловой энергии и теплоносителей в системах коммунального теплоснабжения», Государственный комитет РФ по строительству и жилищно-коммунальному хозяйству, Москва. 2003, 79 с.
2. СНиП 41-03-2003 «Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов».
3. СНиП 41-02-2003 «Тепловые сети».

УДК 62–67

#### Перспективные технологии энергосбережения с использованием тепловых насосов

*Батухтин А.Г., Кобылкин М.В., Минькович М.Е.*

*Забайкальский государственный университет, Россия, г. Чита  
[mkchita@gmail.com](mailto:mkchita@gmail.com)*

Целостная картина восприятия инженерных систем – основа современного подхода при определении их энергетической эффективности.

Рассмотрение взаимодействия всех элементов наружных и внутренних инженерных систем на пути от потребителя до источника теплоты позволяет раскрыть и реализовать в полной мере потенциал в энергосбережении.

Главная задача энергосбережения – снижение величины непроизводительных потерь, возникающих в процессе работы. Основной же проблемой, возникающей при решении этой задачи, является выявление наиболее крупных составляющих этих потерь и выбор оптимального технологического решения, позволяющего значительно снизить их влияние на экономичность системы. Причем каждый конкретный объект (цель энергосбережения) имеет ряд характерных конструктивных особенностей и составляющие его тепловые потери различны по величине. И всякий раз, когда речь заходит о повышении экономичности работы теплоэнергетического оборудования (например, системы отопления), перед принятием решения в пользу использования какого-нибудь технологического новшества, необходимо обязательно провести детальное обследование самой системы и выявить наиболее существенные каналы потерь энергии. Разумным решением будет использование только таких технологий, которые существенно снизят наиболее крупные непроизводительные составляющие потерь энергии в системе и при минимальных затратах значительно повысят эффективность ее работы [3].

Обычно тепловая энергия, переданная в котельной или на ТЭЦ теплоносителю, поступает в теплотрассу и следует на объекты потребителей. При разумно спроектированной и гидравлически налаженной системе теплотрасс, общая величина потерь обычно не должна превышает 5–7%. Однако использование отечественных мощных сетевых насосов с низким КПД, качество тепловой изоляции, гидравлическая разлаженность теплотрасс, а также использование

тупиковых схем горячего водоснабжения (ГВС), при которых фактически 35–45% тепловой энергии, идущей на нужды ГВС, затрачивается впустую, приводит к увеличению потерь до 25% и выше.

Наиболее существенными составляющими тепловых потерь в теплоэнергетических системах являются потери на объектах–потребителях. Наличие таковых не является прозрачным и может быть определено только после появления в тепловом пункте здания прибора учета тепловой энергии, т.н. теплосчетчика. Опыт работы с огромным количеством отечественных тепловых систем, показывает, что общие неявные непроизводительные потери на объекте потребления могут составлять до 35% от тепловой нагрузки.

Особую актуальность в таких сложных условиях принимают энергосберегающие разработки, направленные на снижение тепловых потерь при распределении тепловой энергии, а также технологии модернизации тепловых пунктов конечных потребителей.

Одним из перспективных направлений энергосбережения в современном мире является применение теплонасосных установок. Теплонасосные установки (ТНУ) это устройства для переноса тепловой энергии от источника низкопотенциальной тепловой энергии (с низкой температурой) к потребителю (теплоносителю) с более высокой температурой. Термодинамически тепловой насос аналогичен холодильной машине. Однако если в холодильной машине основной целью является производство холода путём отбора теплоты из какого–либо объёма испарителем, а конденсатор осуществляет сброс теплоты в окружающую среду, то в тепловом насосе картина обратная. Конденсатор является теплообменным аппаратом, выделяющим теплоту для потребителя, а испаритель – теплообменным аппаратом, утилизирующим низкопотенциальную теплоту: вторичные энергетические ресурсы и (или) нетрадиционные возобновляемые источники энергии. ТНУ позволяют объединить проблематику переноса и потребления теплоты в одно методологическое решение, что в свою очередь немаловажно при внедрении технологий в разные сферы деятельности, и значительно упрощает обучение обсуживающего персонала.

Однако все предлагаемые, на сегодняшний день, технологии с использованием ТНУ, объединяет один недостаток ограничивающий их область применения. Этим недостатком являются значительные капиталовложения при внедрении ТНУ в существующие системы отопления, особенно в условиях плотной городской застройки, когда возникает сложность с созданием скважин или приемных емкостей для организации доступа к низкопотенциальной тепловой энергии. Кроме того, не смотря на значительный потенциал, в мировой практике практически отсутствуют методы перераспределения тепловой энергии в тепловых сетях на основе ТНУ.

Принимая во внимание всё изложенное ранее, научными работниками Забайкальского государственного университета были предложены новейшие разработки в области энергосбережения для систем теплоснабжения с использованием ТНУ, которые не только эффективно снижают потери, но и обладают сравнительно малыми капитальными затратами.

В частности, для сокращения тепловых потерь на объектах–потребителях, разработан способ перехода систем ГВС, в летний период времени, на качественно новый источник тепла, доступ к которому не требует значительной реконструкции исходной схемы теплоснабжения, и реализуем для любого потребителя имеющего систему отопления[1].

Источником тепла в данном способе выступает замкнутый контур системы отопления здания, который не функционирует в летний период.

Технологическое решение реализуется следующим образом (рис. 1). В неотапительный период, когда система отопления и ГВС здания переводится на режим ГВС, закрывается запорная арматура 8 и открывается арматура 9, тем самым создавая закрытый контур циркуляции внутри системы отопления здания изолированный от внешних тепловых сетей. В закрытом контуре теплоноситель, при помощи циркуляционного насоса, подается в систему отопления. Проходя отопительные приборы, теплоноситель забирает избыточное тепло помещений, после чего поступает в испаритель ТНУ, где охлаждается, передавая собранное тепло хладагенту, циркулирующему в контуре ТНУ. Тепло, полученное хладагентом, отдается в конденсаторе ТНУ, в который, в качестве нагреваемой среды, подается вода, идущая на ГВС, нагрев осуществляется до температуры не менее 60°C, после чего вода подается потребителю.

Одновременно с закрытием арматуры 8 производится закрытие арматуры 7 и трехходового клапана, что приводит к остановке циркуляции в подающем и обратном трубопроводах абонентского ввода здания, это полностью исключает тепловые потери от трубопроводов абонентского ввода.

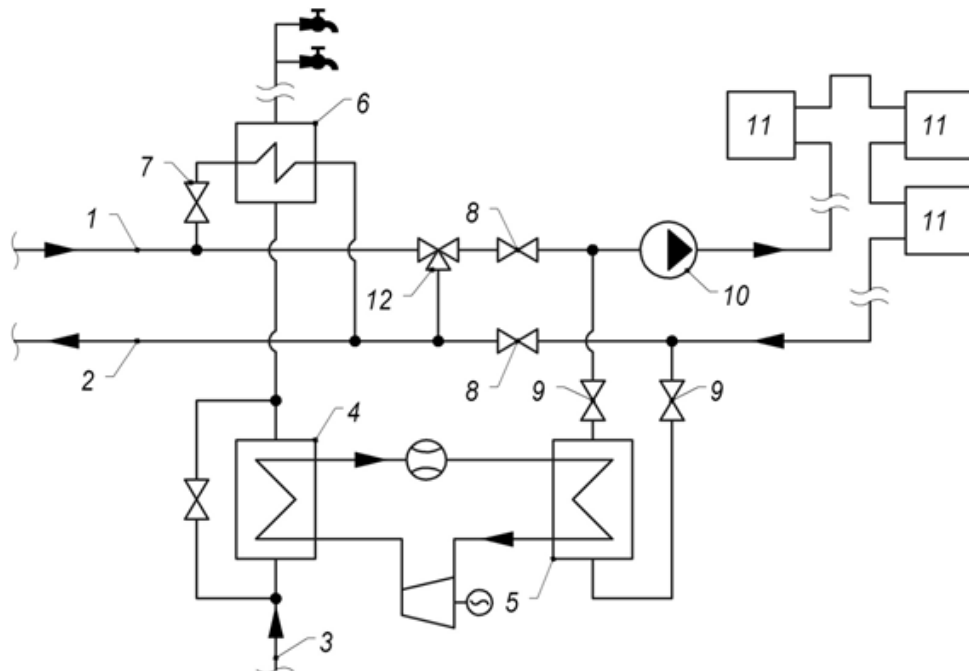


Рис. 1 – система горячего водоснабжения здания:

- 1 – подающий трубопровод, 2 – обратный трубопровод, 3 – трубопровод воды идущей на горячее водоснабжение, 4 – конденсатор теплонасосной установки, 5 – испаритель теплонасосной установки, 6 – теплообменник горячего водоснабжения, 7, 8, 9 – запорная арматура, 10 – циркуляционный насос, 11 – отопительный прибор, 12 – трехходовой клапан.

Таким образом, используя в качестве низкопотенциального источника теплоты воду, циркулирующую в системе отопления здания в неотапливаемый период, можно обеспечивать здание горячей водой вне зависимости от централизованного источника тепла при незначительных капитальных затратах. При этом экономический эффект достигается за счет экономии при переходе на автономный источник тепла, экономии от отсутствия тепловых потерь от трубопроводов абонентского ввода, а также экономии за счет сокращения затрат на кондиционирование помещений.

Кроме локального применения для конкретных потребителей, специалистами университета также ведется разработка методов перераспределения избыточной тепловой энергии в городских сетях теплоснабжения, которым присуща проблема ненормативного отпуска тепла[2]. При этом уже сейчас можно отметить значительные успехи в этой области.

В дальнейшем подобные разработки помогут привести современный топливно энергетический комплекс к должному виду, что положительно скажется не только на экономике, ведь затраты на внедрение таких установок незначительны по сравнению с получаемым результатом, но и на экологии, проблемы которой тесно связаны с нерациональным использованием ресурсов.

Работа по разработке энергоэффективных систем централизованного теплоснабжения проводится в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы, а также гранта Президента РФ по поддержке молодых ученых, кандидатов наук.

#### Список литературы:

1. Батухтин, А.Г. Использование тепловых насосов для повышения тепловой мощности и эффективности существующих систем централизованного теплоснабжения [текст] / А.Г. Батухтин // Научно-технические ведомости СПбГТУ. – 2010. №2. – С. 28–33.
2. Батухтин, А.Г. Повышение эффективности современных систем теплоснабжения [текст] / А.Г. Батухтин, С.А. Иванов, М.В. Кобылкин, А.В. Миткус // Вестник ЗабГУ. – 2013. № 9 (100). – С. 112–120.
3. Пырков В.В. Современные тепловые пункты, автоматика и регулирование. К.: иДП «ТакіСправи», 2007. 252 с.

**К анализу повышения эффективности кожухотрубных теплообменных аппаратов****Белянин А.О.***Национальный исследовательский Томский политехнический университет г. Томск, Россия*[belyaninemail@yandex.ru](mailto:belyaninemail@yandex.ru)

Кожухотрубные теплообменные аппараты широко применяются в коммунальной теплоэнергетике и других областях техники: химической, нефтеперерабатывающей, холодильной, криогенной, пищевой промышленности [2]. Теплообменные аппараты должны обладать малыми габаритными размерами и массой, быть высоконадежными в работе.

Переход к элементам рыночной экономики при продажах теплотехнического оборудования многочисленных фирм изготовителей делает актуальной задачу его сравнения. В рекламных материалах трудно найти показатели, по которым можно было бы объективно оценить разные конструкции теплообменных аппаратов одинакового назначения.

Проблема методов сравнения возникла давно. Ученым Кирпичевым М.В., Гухманом А.А. и другими авторами были предложены различные методики оценки основного показателя качества ТА – его теплоэнергетической эффективности.

Отдавая должное фундаментальным положениям этих методик, в нынешних условиях мы не могли довольствоваться их результатами. Выделяя качественную оценку отдельных параметров конструкции ТА, эти методики не позволяли количественно, одним постоянным для данной конструкции ТА критерием оценить сравниваемые аппараты в равных условиях их применения.

Причина сложности получения количественной оценки эффективности ТА заключается в обилии переменных величин, на нее влияющих.

Под понятием “эффективность ТА” понимается величина коэффициента теплопередачи и потери давления в фиксированных (эталонных) условиях сравнения.

Коэффициент теплопередачи – величина комплексная, зависящая как от исходных данных для теплового процесса, так и от конструктивных особенностей ТА.

Внешние параметры – это исходные условия для выполнения процесса теплопередачи. К ним относятся заданные расходы рабочих сред; их начальные и конечные температуры; теплофизические свойства сред в диапазоне заданных температур; тепловые нагрузки на ТА. Внешние параметры для сравниваемых ТА должны быть выбраны одинаковыми, и на величину числа единиц эффективности, в равных условиях, не влияют.

Внутренние параметры теплообменного аппарата определяет его конструкция, обеспечивающая потенциальный уровень эффективности. Они включают: формы поверхности теплообмена, определяющие размеры – эквивалентные диаметры каналов, их длины и длины поперечного сечения; площади поверхности теплообмена, размещенные на этой длине каналов; тепло-гидродинамические характеристики данной конструкции теплообменного аппарата по интенсивности теплопередачи при возникающих при этом потерях давления в каналах; компактность конструкции и ее удельную металлоемкость; рациональность использования высококачественных дорогих материалов; уровень унификации деталей и узлов ТА при производстве широких размерных рядов на различные давления; возможность разнообразить (расчетной) компоновки каналов для обеспечения внешних параметров; возможность создания ТА максимального температурного напора при заданных температурах путем полного противотока рабочих сред; ремонтпригодность, надежность и долговечность конструкции ТА; рентабельность изготовления данных конструкций ТА; удобства обслуживания; капитальные и эксплуатационные затраты.

Приведенный перечень переменных параметров показывает всю сложность объективной оценки одним числом единиц эффективности, оптимальности сочетаний всех внутренних параметров в созданной конструкции ТА.

Внешние параметры ТА назначаются пользователем ТА, согласно принятым технологическим процессам и проектам.

Внутренние параметры закладываются в конструкцию ТА его разработчиком и стабильны при изменении внешних параметров [1].

Перспективный путь создания компактных теплообменных аппаратов – интенсификация теплообмена в каналах. Поэтому проблема интенсификации процессов конвективного теплообмена является одной из актуальнейших.

Работы по интенсификации теплообмена ведутся в течении многих лет. Предложено много различных способов интенсификации теплообмена при течении в каналах однофазных и двухфазных сред. Однако результаты этих исследований противоречивы, предлагаемые в них методы не всегда технологичны и эффективны. В ряде случаев выбор метода интенсификации не обоснован и носит случайный характер. Нет единого подхода к оценке эффективности того или иного метода интенсификации, что затрудняет выбор оптимальных параметров теплообменных аппаратов в условиях использования интенсификации теплообмена.

Существует достаточно много различных методик оценки эффективности ТА, что сдерживает их практическое применение. Обычно Эффективность интенсификации теплообмена может оцениваться по трем критериям:

1) Сравнение поверхностей теплообмена или объемов двух ТА – одного с гладкими поверхностями и другого с приспособлениями для интенсификации теплообмена. При этом оба ТА имеют одинаковую тепловую мощность, расходы теплоносителей и потери давления на их прокачку, то есть характеризуются одинаковыми мощностями, расходуемыми на прокачку.

2) Сравнение тепловых мощностей ТА при одинаковых объемах, расходах теплоносителей и потерях давления на их прокачку, то есть при одинаковых мощностях, расходуемых на прокачку.

3) Сравнение потерь давления на прокачку теплоносителей (или мощностей, расходуемых на прокачку) при одинаковых объемах, тепловой мощности и расход теплоносителей [2].

Необходимо признать, что на сегодняшний день не существует общепризнанного метода оценки эффективности интенсификации теплообмена. Очень часто оценка интенсификации ограничивается приведением зависимостей вида

$$\frac{Nu}{Nu_{zl}} = f(Re), \quad (1)$$

$$\frac{\zeta}{\zeta_{zl}} = f(Re), \quad (2)$$

$$\frac{Nu/Nu_{zl}}{\zeta/\zeta_{zl}} = f(Re). \quad (3)$$

В приведенных зависимостях содержится вся информация, необходимая для оценок того или иного способа интенсификации, однако для оценок достаточно понятных и важных с практической точки зрения, только лишь этих зависимостей, недостаточно.

Многие авторы предлагают оценивать эффективность интенсификации с помощью энергетического критерия Кирпичева  $E = Q/N$ , полагая, что при сравнении двух теплообменников, тот из них, теплообмен в котором интенсифицирован более эффективным способом, и должен обладать большим значением соответствующего критерия. Сравнение должно проводиться при одинаковых числах Re и числах труб в ТА, а также их длинах L и диаметрах D, то есть необходимо сравнивать в одинаковых условиях конструктивно идентичные теплообменники, отличающиеся лишь интенсификаторами в трубных каналах [3].

На основе методики [4, 5] была составлена программа и рассчитаны основные параметры кожухотрубного ТА. По полученным показателям (тепловая мощность и гидравлические потери) была проанализирована работа ТА с помощью – критерия энергетической эффективности

$$E_f = \frac{Q}{(\delta P_1 + \delta P_2)},$$

где  $\delta P_1$  и  $\delta P_2$  затрачиваемая мощность на прокачку теплоносителя в трубном и в межтрубном пространстве

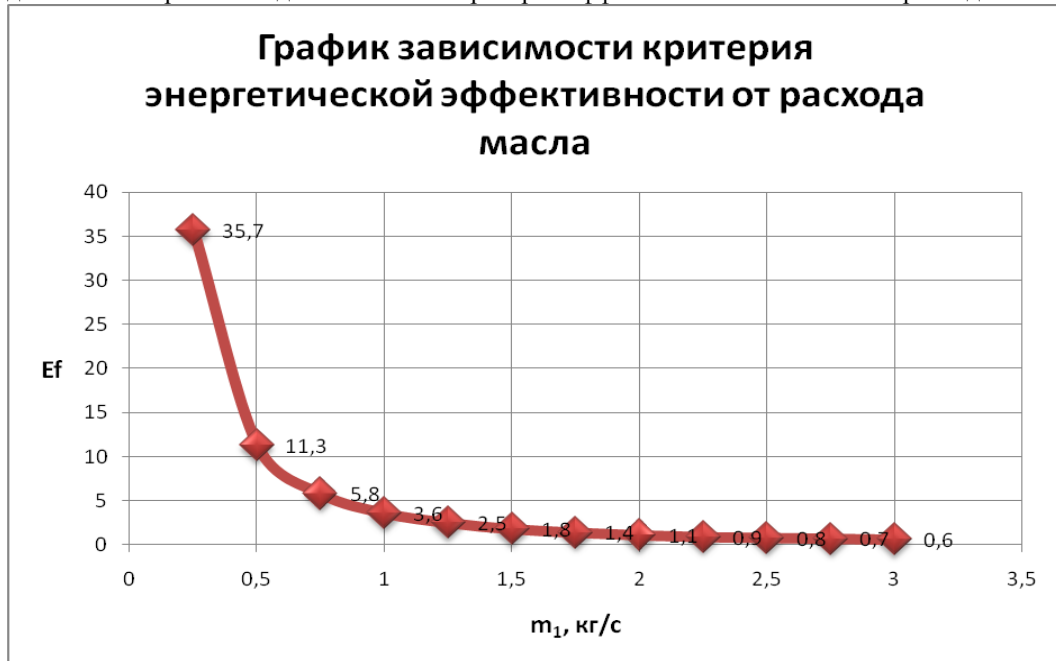
$$\delta P_1 = G_{V1} P_1,$$

$$\delta P_2 = G_{V2} P_2.$$

В трубах кожухотрубного горизонтального подогревателя диаметром  $d_k$  осуществляется подогрев масла от температуры  $t_{11}$  до  $t_{12}$ . Массовый расход масла  $m_1$ . Греющей жидкостью является вода (при давлении выше температуры насыщения), которая движется в межтрубном

пространстве и охлаждается от температуры  $t_{21}$  до  $t_{22}$ . Трубы выполнены из углеродистой стали, их диаметры: внутренний  $d_b$ , наружный  $d_h$ ; число труб равно  $n$ .

В ходе параметрического анализа расход масла варьировался от 0,5 до 3 кг/с, в соответствии с расходом менялись и гидравлические потери. Результаты расчетных данных представлены на рис. 1 в виде зависимости критерия эффективности от массового расхода масла.



Из графика можно сделать вывод, что эффективность кожухотрубного ТА падает. При максимальном расходе теплоносителя 3 кг/с эффективность теплообменного аппарата стремится к нулю. Прежде всего, это связано с большим ростом гидравлических потерь. Критерий энергетической эффективности при расходе масла 1,6 кг/с (исходные данные примера из [4]) составил 1,9.

#### Список литературы:

1. Тарадай А.М., Коваленко Л.М., Гурин Е.П. К вопросу оценки теплоэнергетической эффективности теплообменников, применяемых в муниципальной энергетике. //Новости теплоснабжения 2003– № 6 – С. 40–43.
2. Дрейцер Г.А. Методика оценки эффективности интенсификации теплообмена в теплообменных аппаратах. //Известия вузов. Машиностроение 1999 – № 5-6 – С. 67–75
3. Об Эффективности интенсификации теплообмена глубоким профилированием /А. А. Коноплев, Г.Г. Алексанян, Б.Л. Рытов, А.А. Берлин //Теоретические основы химической технологии – 2012– Т. 46– №1– С. 24–34
4. Юдаев Б.Н. Техническая термодинамика. Теплопередача –М.: Высш. шк. – 1988. – 479 с.
5. Голдаев С.В. Практикум по математическому моделированию и расчетам теплотехнических систем на ЭВМ. Учебное пособие. Томск: Издательство ТПУ, 2004. – 74 с.

#### Об эффективности работы авиационного гтд на газокompрессорной станции при совместном использовании параллельного подвода теплоты и регенерации

**Бирюков Б.В., Шапошников В.В., Шапошников А.В.**

*Кубанский государственный технологический университет, Краснодар.*

*shaposhnikov.valentin@gmail.com*

Для снижения себестоимости транспортировки газа на компрессорной станции предлагается устанавливать ГТД, выполненные на базе ГТУ типа АД – 31СТ объединения Сатурн – Льюлька (Москва) [1] (Рис.1).

Для расчета исследуемой схемы были использованы данные АД – 31СТ: массовый расход сжимаемого в воздушном компрессоре воздуха – 61,0кг/с, давление сжатого в компрессоре воздуха 2,1МПа, внутренний КПД компрессора – 0,87053. Полезная мощность ГТУ 20,0МВт

определена при температуре газов на входе в турбину  $T_3=1523,15\text{K}$ . Принято, что давление газов на выхлопе турбины  $P_4$  равно  $0,103\text{МПа}$ , а внутренний КПД турбины –  $0,89$ . Эффективный КПД ГТУ составил  $36,5\%$  [1].

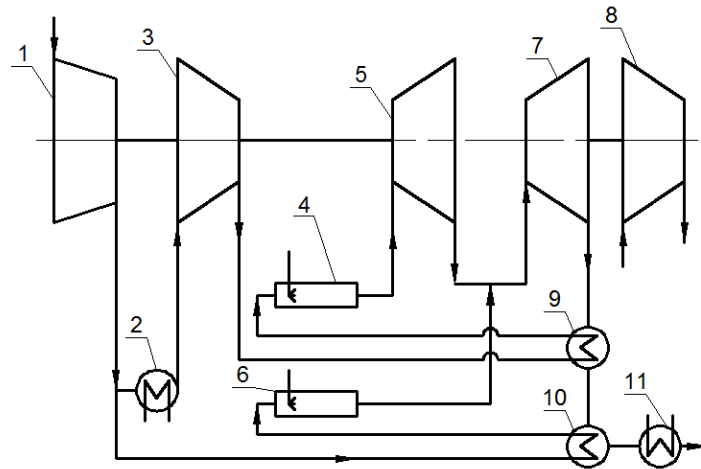


Рисунок 1. Схема ГТД с двухступенчатым сжатием воздуха в компрессорах и подводом теплоты в основную и дополнительную камеры сгорания: 1 и 3 – воздушные компрессоры низкого и высокого давлений; 2 – охладитель воздуха; 4 – основная камера сгорания; 6 – дополнительная камера сгорания; 5 и 7 – газовые турбины высокого и низкого давлений; 8 – газовый нагнетатель; 9 и 10 – регенеративные воздухоподогреватели высокого и низкого давлений; 11 – газоохладитель.

Расчеты по определению КПД ГТД с двухступенчатым сжатием воздуха в компрессорах при разных давлениях газов на входе в турбину показали, что максимальное значение эффективного КПД  $65,043\%$  может быть достигнуто при давлении газов на входе в турбину высокого давления  $1,5\text{МПа}$ , температуре газов перед турбиной высокого давления  $1523,15\text{K}$  и температуре газов перед турбиной низкого давления  $1173,15\text{K}$  (Рис.1). Давление газов перед турбиной низкого давления при этом составило  $P_{41}=0,385\text{МПа}$ , а за ТНД  $P_4=0,103\text{МПа}$ . Мощность ГТД равнялась  $N_{гтд}=58,402\text{МВт}$ , расход топлива  $B=2,457\text{кг/с}$  (Табл.1). Давления газов перед ТВД изменялись в диапазоне от  $1,0\text{МПа}$  до  $1,8\text{МПа}$ . Температура воздуха после РВП1 и РВП2 принята равной  $T_p=623,15\text{K}$ ; коэффициент избытка воздуха после КНД равен  $\alpha=1,7837$ .

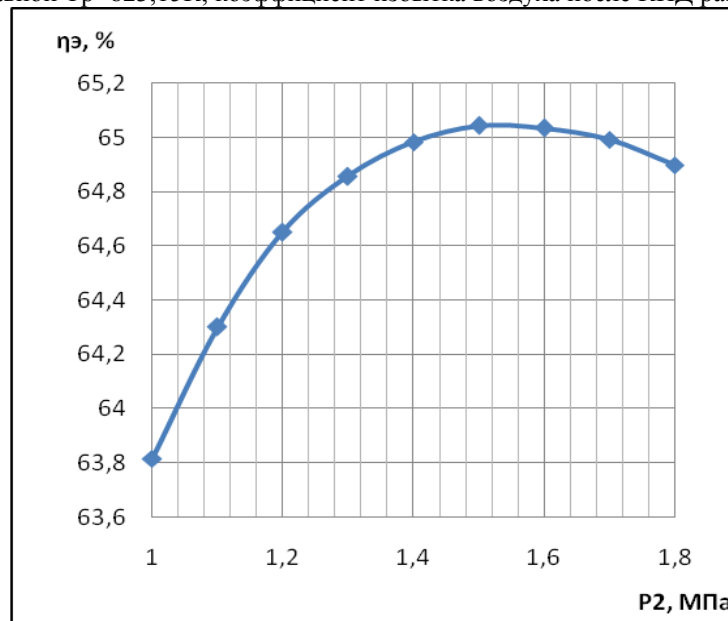


Рисунок 2. Зависимость эффективного КПД ГТД от давления газов на входе в газовую турбину высокого давления.



Таблица 1. Зависимость характеристик ГТД от температуры газов на выходе из камеры сгорания низкого давления.

T43	T44	N <sub>гту</sub>	Q <sub>рвд</sub>	Q <sub>рнд</sub>	В <sub>т</sub>	ηэ
К	К	МВт	МВт	МВт	кг/с	%
1173,15	1161,70	58,402	18,292	14,443	2,457	65,043
1223,15	1184,46	59,771	18,292	14,443	2,533	64,558
1273,15	1207,58	61,169	18,292	14,443	2,610	64,110
1323,15	1231,06	62,599	18,292	14,443	2,689	63,699
1373,15	1254,88	64,057	18,292	14,443	2,768	63,317
1423,15	1279,05	65,543	18,292	14,443	2,848	62,966
1473,15	1303,40	67,058	18,292	14,443	2,929	62,641
1523,15	1328,38	68,602	18,292	14,443	3,011	62,344

Для проведения комплексной оптимизации параметров рабочих тел в исследуемой схеме были созданы граф и математическая модель установки (см. рисунок 2).

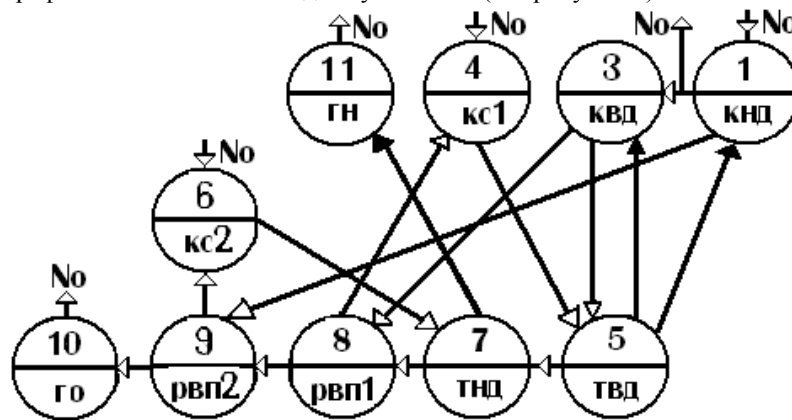


Рисунок 3. Граф математической модели ГТД.

Уравнения математической модели ГТД представлены в виде балансов мощности: для окружающей среды 0

$$N_0 - N_0 \cdot (\eta_{0,1} + \eta_{0,4} + \eta_{0,6}) = 0; \quad (1)$$

для воздушного компрессора низкого давления КНД:

$$N_1 - N_1 \cdot (\eta_{1,0} + \eta_{1,3} + \eta_{1,9}) = 0; \quad (2)$$

для воздушного компрессора высокого давления КВД:

$$N_3 - N_3 \cdot (\eta_{3,5} + \eta_{3,8}) = 0; \quad (3)$$

для камеры сгорания высокого давления КС1:

$$N_4 - N_4 \cdot \eta_{4,5} = 0; \quad (4)$$

для турбины высокого давления ТВД:

$$N_5 - N_5 \cdot (\eta_{5,1} + \eta_{5,3} + \eta_{5,7}) = 0; \quad (5)$$

для камеры сгорания низкого давления КС2:

$$N_6 - N_6 \cdot \eta_{6,7} = 0; \quad (6)$$

для турбины низкого давления ТНД:

$$N_7 - N_7 \cdot (\eta_{7,8} + \eta_{7,11}) = 0; \quad (7)$$

для регенеративного воздухоподогревателя высокого давления РВП1:

$$N_8 - N_8 \cdot (\eta_{8,4} + \eta_{8,9}) = 0; \quad (8)$$

для регенеративного воздухоподогревателя низкого давления РВП2:

$$N_9 - N_9 \cdot (\eta_{9,6} + \eta_{9,10}) = 0; \quad (9)$$

для газоохладителя ГО:

$$N_{10} - N_{10} \cdot \eta_{10,0} = 0; \quad (10)$$

для газового нагнетателя ГН:

$$N_{11} - N_{11} \cdot \eta_{11,0} = 0; \quad (11)$$

В уравнениях (1–11) символами от N<sub>0</sub> до N<sub>11</sub> обозначены потоки мощности элементов графа математической модели ГТД с двухступенчатым сжатием воздуха и подводом теплоты в

основную КС1 и дополнительную камеру сгорания КС2 (см. рис. 2), а символами от  $\eta_{0.1}$  до  $\eta_{11.0}$  – коэффициенты передачи потоков энергии соответствующих элементов графа. Коэффициенты  $\eta$  определяются как отношение передаваемой мощности к мощности элемента графа, принимающего поток энергии.

В результате решения уравнений графа были получены следующие значения коэффициентов передачи потоков энергии:

$\eta_{0.1}=0,2594$ ;  $\eta_{0.4}=0,5069$ ;  $\eta_{0.6}=0,2337$ ;  $\eta_{1.0}=0,1973$ ;  $\eta_{1.3}=0,3617$ ;  $\eta_{1.9}=0,441$ ;  $\eta_{3.5}=0,0864$   
 $\eta_{3.8}=0,9136$ ;  $\eta_{4.5}=1,0$ ;  $\eta_{5.1}=0,208$ ;  $\eta_{5.3}=0,1176$ ;  $\eta_{5.7}=0,6744$ ;  $\eta_{6.7}=1,0$ ;  $\eta_{7.8}=0,4049$ ;  $\eta_{7.11}=0,5951$ ;  
 $\eta_{8.4}=0,2832$ ;  $\eta_{8.9}=0,7168$ ;  $\eta_{9.6}=0,2362$ ;  $\eta_{9.10}=0,7638$ ;  $\eta_{10.0}=1,0$ ;  $\eta_{11.0}=1,0$ ;

и потоков мощности элементов графа:

$N_0=121234$ ;  $N_1=48518$ ;  $N_3=27203$ ;  $N_4=79742$ ;  $N_5=82092$ ;  $N_6=42782$ ;  $N_7=98145$ ;  
 $N_8=64596$ ;  $N_9=61143$ ;  $N_{10}=46304$ ;  $N_{11}=58402$ .

Подставив полученные значения коэффициентов передачи потоков энергии в матрицу, определили новое значение эффективного КПД для парогазовой ТЭС.

Погрешность вычислений для вариантной и комплексной оптимизации параметров рабочих тел газотурбинной ТЭС при оценке КПД составила 0,003%.

Выводы:

1. Применение газотурбинных двигателей с двухступенчатым сжатием воздуха и подводом теплоты в основную и дополнительную камеры сгорания с полезным использованием теплоты уходящих газов для подогрева воздуха в регенеративных подогревателях позволяет перекачивать природный газ при высоком значении КПД=65,046%. Увеличение эффективного КПД ГТД с двухступенчатым сжатием воздуха и подводом теплоты в основную и дополнительную КС по сравнению с базовой ГТУ (36,5%) почти в два раза стало возможным благодаря снижению затрат на сжатие воздуха в компрессоре с промежуточным воздухоохладителем, полезному использованию теплоты уходящих газов для подогрева воздуха в регенеративных подогревателях и увеличению массового расхода рабочего тела в турбину низкого давления из компрессора низкого давления, нагреваемого в дополнительной камере сгорания.

2. Повышение КПД также достигается при снижении температуры газов на выходе из дополнительной камеры сгорания КС2. Это происходит из-за уменьшения потерь с уходящими газами. Оптимум достигается при равенстве температур после ТВД и после КС2.

3. Применение для оптимизации параметров рабочих тел ГТД с двухступенчатым сжатием воздуха и двойным подводом теплоты в основную и дополнительную камеры сгорания математического моделирования с использованием матриц высоко эффективно, на что указывает хорошая сходимость значений критерия оптимизации.

#### Список литературы:

1. Ольховский Г.Г. Газотурбинные и парогазовые установки в России // Теплоэнергетика, 1999 – № 1 – с.2–9.
2. Бирюков Б.В. Об эффективности производства теплоты в отопительных теплоцентралях с паровыми котлами и газовыми турбинами. // Промышленная энергетика, 2009 – № 7 – с.39–42.

#### Возможности повышения энергоэффективности производства на ТЭС

*Борисов Г.М.*

*Филиал «ЮжВТИ» ЭНЕКС (ОАО), Россия, г. Ростов-на-Дону*

*borgm@mail.ru*

В Российской Федерации средний технический уровень эксплуатации оборудования, установленного на ТЭС, ниже современного западного уровня. Показатели экономичности отечественных ТЭС существенно ниже показателей экономичности современных развитых стран [1].

Существенное повышение эффективности использования энергетических ресурсов в тепловой энергетике может быть достигнуто с использованием новых технологий в основном технологическом цикле (парогазовых установок и др.) и во вспомогательных циклах (качественное регулирование собственных нужд, мембранные технологии в водоподготовке и т.д.), а так же с повышением технического уровня эксплуатации оборудования ТЭС.

Показатель энергоэффективности для объектов теплоэнергетики - затраты энергоресурсов на единицу продукции зависит от технологической основы необходимости расходов энергоресурсов (органического топлива) при производстве продукции. Эффективность преобразования энергоресурсов определяется параметрами циклов преобразования энергии и должна соответствовать проектным расчетным коэффициентам преобразования энергии (К.П.Д. котельных установок, термическим К.П.Д. газовых и паровых турбин и др.). Определенное влияние на показатели энергоэффективности оказывают также условия окружающей среды.

На снижение показателей экономичности ТЭС по сравнению с проектными (расчетными) показателями экономичности в значительной степени будут влиять отклонения от оптимальных параметров ведения режимов и технического состояния оборудования.

Для действующих ТЭС резервы повышения эффективности использования энергоресурсов на выработку продукции будут зависеть, прежде всего, от оперативного выявления отклонений показателей процессов от нормативных, расчетных показателей и их устранения при проведении эксплуатации оборудования. Дополнительное повышение эффективности может быть достигнуто в случае применения эффективных средств регулирования и оптимизации технологических вспомогательных процессов. Повышение эффективности работы связано с получением объективной оценки показателей деятельности, включая организацию и проведение эксплуатации ТЭС [2].

Объективная оценка состояния необходима как при анализе показателей работы и прогнозировании их на длительный период эксплуатации, так и при планировании работ по модернизации, реконструкции теплоэнергетического объекта. Разработку мероприятий, направленных на повышение эффективности работы необходимо основывать на результатах обследования состояния (аудита) объекта.

Объективная оценка разных сторон деятельности организации, системы, процесса, проекта или продукта должна осуществляться в соответствии с процедурой проведения аудита. Поисквые запросы дают следующие определения характеристик аудита:

- энергетический аудит - контроль над правильным расходом топливно-энергетических ресурсов;
- технический аудит для промышленных объектов – это проверка рациональности организованного производства, системы качества, а также его управления.

Федеральным законом от 23.11.2009г. №261-ФЗ определены условия и правила проведения энергетического обследования (энергоаудита). «Энергетическое обследование - сбор и обработка информации об использовании энергетических ресурсов в целях получения достоверной информации об объеме используемых энергетических ресурсов, о показателях энергетической эффективности, выявления возможностей энергосбережения и повышения энергетической эффективности с отражением полученных результатов в энергетическом паспорте».

Основными целями энергетического обследования (статья 15, 261-ФЗ) определяются как:

- 1) получение объективных данных об объеме используемых энергетических ресурсов;
- 2) определение показателей энергетической эффективности;
- 3) определение потенциала энергосбережения и повышения энергетической эффективности;
- 4) разработка перечня типовых, общедоступных мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности и проведение их стоимостной оценки.

Исходя из указанных целей энергетических обследований, оценка деятельности производится, главным образом, в разрезе эффективности использования топливно-энергетических ресурсов. Результаты энергетического обследования позволяют выявить отклонения в фактических затратах энергоресурсов от нормируемых (проектных) показателей. Эта оценка проводится для текущего состояния технологических схем и оборудования объекта в течение определенного периода.

Основными нормативными документами, в которых определяются объем и требования при выполнении энергетических обследований для объектов энергетики и теплоэнергетики, в частности, являются РД 153-31.0-09.162-00 и РД 153-34.1-09 163-00.

Для предприятий теплоэнергетики задача проведения энергетического обследования (энергоаудита) сводится к выявлению:

- отклонений от нормативных (проектных, расчетных) показателей экономичности при эксплуатации;

- оценке показателей энергоэффективности основных технологических процессов и выявлению резервов повышения эффективности выработки тепловой и электрической энергии с разработкой перечня типовых, общедоступных мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности.

В целом, материалы в объеме требований энергообследования (энергоаудита) не позволяют получить необходимый объем информации для решения задач по непрерывному повышению эффективности работы оборудования ТЭС. Программа энергоаудита объектов теплоэнергетики позволяет оценить показатели эффективности использования топливно-энергетических ресурсов при текущем состоянии.

Для решения комплексной задачи по повышению эффективности работы объектов теплоэнергетики необходимо проведение энергообследования в объеме технического аудита.

Под техническим аудитом понимают проверку независимыми специалистами системы организации производства, системы контроля и управления качеством, применяемых технических и технологических решений, а также проверку технического состояния машин, оборудования, механизмов, зданий и сооружений, инженерных коммуникаций, систем и сетей. Также проводится проверка технической и проектной документации с выражением мнения относительно обоснованности применяемых технических/технологических решений, способов управления производством и соответствия технического состояния инженерно сложных систем и оборудования требованиям нормативных актов. Исходя из конкретных условий, целей и задач обследования определяются состав и необходимый объем технического аудита.

Следует отметить, что высокий уровень показателей работы оборудования при эксплуатации может быть обеспечен за счет широкого применения современных средств мониторинга (контроля, диагностики) состояния оборудования для оптимизации режимов работы и проведения ремонтно-восстановительных работ. Всё это позволяет минимизировать издержки всего производственного цикла эксплуатации ТЭС.

ТЭС относятся к объектам с относительно высоким уровнем организации производства и эксплуатации. Поэтому, потенциальные возможности увеличения эффективности использования энергоресурсов (без учета реконструкции, модернизации) минимальны.

Для условий планируемого этапа эксплуатации ТЭС возможны следующие пути повышения эффективности использования энергетических ресурсов:

Обеспечение проведения технологических процессов производства тепловой и электрической энергии без допущения отклонений технологических параметров от нормативных, расчетных значений параметров. Оперативное выявление отклонений в показателях процессов должно проводиться с помощью средств мониторинга параметров технического состояния на основе данных средств контроля и оперативной эксплуатационной и прогнозирующей диагностики. Данные мероприятия являются основными и позволяют обеспечить основной резерв снижения энергозатрат на выработку продукции – производимой тепловой и электрической энергии.

Применение качественного регулирования нагрузкой механизмов собственных нужд. Данные мероприятия являются затратными, но позволяют добиться существенного снижения затрат энергоресурсов при работе на пониженных нагрузках в пределах регулируемого диапазона несения нагрузок.

Общезвестные мероприятия по повышению энергоэффективности: замена используемых источников освещения (ламп накаливания) на энергосберегающие светильники, оптимизация и качественное регулирование затрат энергоресурсов на отопление, вентиляцию и кондиционирование в служебных и производственных помещениях.

#### Список литературы:

1. Трухний А.Д., Макаров А.А., Клименко В.В. Современная теплоэнергетика. Часть 1. // Основы современной энергетики: Учебник для вузов. В двух частях, / Под общей редакцией чл.-корр. РАН Е.В. Аметистова. – 2-е перераб. и доп. – М.: Издательство МЭИ, -2003. - 323с.
2. Борисов Г.М. Повышение эффективности работы ТЭС при организации контроля параметров и диагностики эксплуатационного состояния теплоэнергетического оборудования //Энергосбережение и водоподготовка. - 2007. - № 2. - С.34-36.
3. Проведение энергетических обследований тепловых электрических станций. / Рунков В.А., Зайцев В.А., Бахтеев С.Ф., Брызгалов В.А. // Электрические станции. - 2005. -№7.- С.2-8.

### Применение солнечной энергии в теплоснабжении

Валиева А.М., Хакимзянова Г.Ф., Лившиц С.А.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Казанский государственный энергетический университет»,  
Россия, г. Казань  
[ibiza-24@mail.ru](mailto:ibiza-24@mail.ru)

Энергетическая ситуация во всем мире характеризуется ограниченными запасами природного газа и нефти при растущем их потреблении и ощутимом росте цен. Учитывая этот факт необходимо расширение использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ). В настоящее время в энергобалансе Евросоюза ВИЭ составляют 7%, а к 2020 г. их доля должна возрасти до 20%. Из всех ВИЭ в наибольших масштабах используется солнечная энергия.[1]

Солнце является надежным источником энергии. Возможности использования этого источника энергии для повседневного генерирования тепловой энергии достаточно изучены. Однако потенциал использования солнечной энергии еще далеко не исчерпан. Привлекательность солнечной энергетики обусловлена рядом обстоятельств:

1) Солнечная энергия доступна в каждой точке нашей планеты, различаясь по плотности потока излучения не более чем в два раза. Поэтому солнечная энергетика привлекательна для всех стран, отвечая их интересам в плане энергетической независимости.

2) Солнечная радиация - это экологически чистый источник энергии, позволяющий использовать его во все возрастающих масштабах без негативного влияния на окружающую среду.

3) Солнечная энергия – это практически неисчерпаемый источник энергии, который будет доступен и через миллионы лет.[2]

Солнце можно использовать для получения как тепловой, так и электрической энергии. Основным компонентом солнечной системы (гелиосистемы) для преобразования солнечного излучения в тепловую энергию является коллектор.

Основным показателем для преобразования солнечной энергии в тепловую является уровень солнечного излучения, который зависит от времени года, местности, расположения и площади поглощающей поверхности. Для наглядности ниже приведена таблица солнечного излучения в различных городах России.[3]

Таблица №1. Солнечное излучение в различных городах России

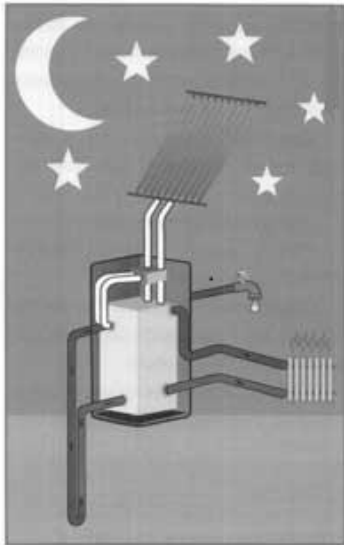
Город	Дневная сумма солнечной радиации, кВтч/м <sup>2</sup> /день												
	Ян-варь	Фев-раль	Март	Ап-рель	Май	Июнь	Июль	Ав-густ	Сен-тябрь	Ок-тябрь	Но-ябрь	Де-кабрь	За год
Санкт-Петербург	0,35	1,08	2,36	3,98	5,46	5,78	5,61	4,31	2,60	1,23	0,50	0,20	2,80
Москва	0,50	0,94	2,63	3,07	4,69	5,44	5,51	4,26	2,34	1,08	0,56	0,36	2,63
Казань	0,68	1,44	2,82	4,29	5,52	5,93	5,72	4,49	2,86	1,51	0,83	0,54	3,06
Ростов-на-Дону	1,27	2,09	2,98	4,09	5,53	5,76	5,86	5,17	3,85	2,38	1,31	1,00	3,45
Нижний Новгород	0,64	1,45	2,75	3,95	5,34	5,60	5,50	4,27	2,69	1,45	0,75	0,45	2,91
Екатеринбург	0,64	1,50	2,94	4,11	5,11	5,72	5,22	4,06	2,56	1,36	0,72	0,44	2,87
Новосибирск	0,69	1,37	3,02	4,08	5,05	5,48	5,01	4,29	2,93	1,44	0,80	0,62	2,91
Хабаровск	1,64	2,72	4,11	4,61	5,39	5,86	5,42	4,53	3,81	2,56	1,72	1,28	3,64
Ереван	2,04	2,91	3,85	4,69	5,68	6,76	6,75	6,04	4,96	3,53	2,31	1,71	4,28

На территориях с высоким уровнем загрязнения атмосферы необходимо учитывать сокращение эффективного излучения на 5 – 10 %, иногда до 15 – 20 %. На территориях, находящихся на высоте от 700 до 2000 м над уровнем моря, напротив, следует учитывать увеличение эффективного излучения на 5 %.[4]

Солнечный коллектор применяется для нагрева воды в системе ГВС, а также для поддержки системы отопления. Гелиоустановки для нагревания бытовой расходной воды обеспечивают экономию энергии и заботливое отношение к окружающей среде. Комбинированные гелиоустановки для горячего водоснабжения и поддержки отопления всё больше находят широкое применение. С помощью гелиоколлекторных установок становится возможным использование существенной части солнечной энергии для производства тепла.[5]

Для расчета солнечной системы и определения параметров компонентов системы очень важна производительность коллектора. Этот параметр определяется как произведение средней ожидаемой мощности (кВт) на соответствующую единицу времени (час). Полученное значение в кВт · ч относят к квадратному метру площади коллектора или площади апертуры и получают значение в кВт·ч/ м<sup>2</sup>. Она является важным оценочным параметром эффективности солнечной системы.

Можно выделить еще один важный критерий оценки – доля замещения тепловой нагрузки. Этот параметр указывает, какая часть необходимой для использования тепловой энергии обеспечивается солнечной системой. Чем больше доля замещения, тем больше экономия энергии. Понятно, что потребители часто хотят приобрести солнечную систему с максимально высокой долей замещения. Однако создание эффективной солнечной системы – это поиск компромисса между производительностью и долей замещения тепловой нагрузки.



Одним из вариантов решения этого вопроса является применение солнечного коллектора совместно с тепловым насосом. При отсутствии солнца такая комбинированная установка работает как обычный тепловой насос типа «грунт-вода». Теплоноситель отбирает тепло с грунта и попадает в испаритель теплового насоса.

Рис.1 Работа солнечного теплового насоса с использованием грунтового источника тепла.

Эффективность работы солнечного теплового насоса значительно выше, чем в аналогичных тепловых насосах, так как он использует теплоноситель, значительно большей температуры, за счет аккумулированной солнечной энергии. Солнечный тепловой насос хорошо работает с использованием вертикальных и спиральных грунтовых теплообменников. Этот режим работы установки характерен для холодного времени года, так как количество солнечной энергии в этот период минимально или отсутствует.[6]

В заключение хотелось отметить, что солнечную систему следует проектировать, исходя из индивидуальных условий и рассматривая различные решения. Перед началом работы нужно убедиться в технической и экономической целесообразности, сроке окупаемости.

#### Список литературы:

1. Бутузов В.А., Шетов В.Х. Солнечное теплоснабжение олимпийских объектов // Новости Теплоснабжения: электронный научный журнал. — 2008. — № 7 (95) [Электронный ресурс]. URL: <http://www.energsovet.ru/stat747.html> (дата обращения: 24.11.2013).
2. Гелиосистемы [Электронный ресурс]. URL: <http://yugsun.ru/dostavka/2012-05-31-09-11-57.html> (дата обращения: 24.11.2013).
3. Солнечная энергия дома. Расчёт мощности автономной станции// [Электронный ресурс]. URL: <http://www.im-builder.ru/> (дата обращения: 24.11.2013).
4. Осадчий Г.Б. Технологии использования солнечной энергии в различных климатических зонах (широтах) мира [Электронный ресурс]. URL: <http://facepla.net> (дата обращения: 24.11.2013).
5. Гелиоустановки BUDERUS [Электронный ресурс]. URL: <http://www.stavropolie.ru> (дата обращения: 24.11.2013).
6. Каталог энергосберегающих технологий [Электронный ресурс]. URL: <http://max-energy-saving.info/index.php?pg=article/51.html> (дата обращения: 24.11.2013).

#### Оптимизация затрат электрической энергии на привод дымососов теплогенерирующего оборудования котельных

*Гаврилова А.А., Новичкова А.В., Бокарева Т.Н.*

*Самарский государственный архитектурно-строительный университет, Россия, г.Самара  
[a.a.gavrilova@mail.ru](mailto:a.a.gavrilova@mail.ru)*

В процессе эксплуатации производственно-отопительных котельных значительное количество электрической энергии расходуется на обеспечение работы вспомогательного

оборудования. Наиболее затратными потребителями электрической энергии на собственные нужды являются тягодутьевые механизмы котлов, питательные и подпиточные насосы.

В 90-е годы экономика нашей страны активно стала переходить от плановой экономики к рыночным отношениям. На начальном этапе перестройки не все производственные предприятия смогли выжить и успешно продолжать функционирование в новых экономических условиях. В борьбе за выживание многие прекратили свое существование. Многие из оставшихся предприятий отдали предпочтение созданию собственных источников тепловой энергии. В связи с этим значительно изменилась нагрузка производственно-отопительных котельных, что существенно сказалось на режимах работы основного и вспомогательного энергетического оборудования.

В течение года в общей нагрузке производственно-отопительных котельных стала преобладать неравномерная отопительная нагрузка. Относительно равномерная производственная нагрузка упала в среднем на 25-40%.

Таким образом, снизились суммарные нагрузки котельных в среднем на 30%, и произошло перераспределение соотношения между постоянной в течение года производственной и сезонной отопительной нагрузками.

На рис.1. приведены графики изменения среднемесячной нагрузки котла в течение года при нагрузке котельной до 1990 года и существующей нагрузке в относительных величинах.

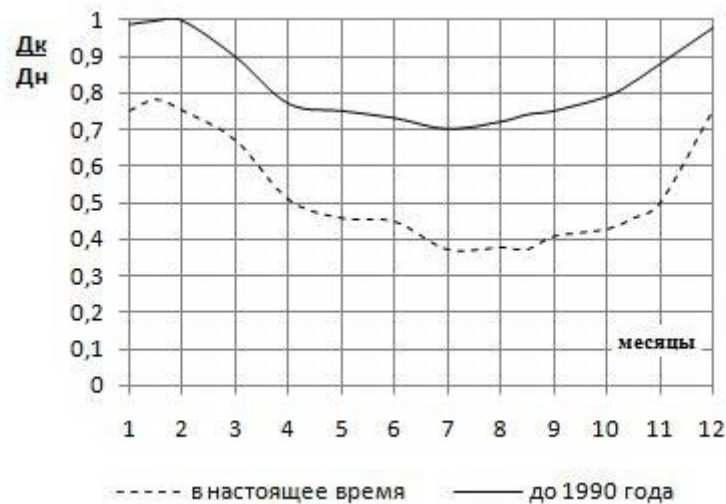


Рис.1. Динамика изменения среднемесячной производительности котельного оборудования в течение календарного года.

Анализ приведённых графиков показывает, что до 1990 года котлы практически весь год работали с нагрузкой выше 75% номинальной. В настоящее время нагрузка котла в течение года колеблется от 80% до 45%.

Эти изменения нагрузки привели к тому, что основное и вспомогательное оборудование котельных в течение года стало работать в нерасчётных режимах, особенно в летний период.

В затратах электрической энергии на привод вспомогательного оборудования тягодутьевой комплекс составляет 26-30%.

В данной работе рассмотрены подходы, позволяющие снизить затраты электрической энергии на привод дымососов котлов за счёт применения регулирования привода при пониженных режимах работы. В качестве регулируемого привода рассматриваются варианты использования гидромолты и частотно-регулируемого привода [1].

Оценка эффективности использования регулируемых приводов производилась по следующему алгоритму:

1. Производится расчёт производительности дымососа по среднемесячной нагрузке котельного агрегата. По элементарному составу сжигаемого топлива, определяется необходимое количество воздуха для горения по соотношению [2]:

$$V^O = 0,0476 \left[ 0,5CO + 0,5H_2 + 1,5H_2S + \sum \left( m + \frac{n}{4} \right) C_m H_n - O_2 \right] \text{ [M}^3/\text{M}^3 \text{]}$$

Затем рассчитываются теоретические объёмы продуктов сгорания:

- теоретический объём азота

$$V_{N_2}^0 = 0,79V^0 + 0,8 \frac{N^p}{100}, [\text{м}^3/\text{кг}]$$

- объём трехатомных газов

$$V_{RO_2}^0 = 1,866 \frac{C^p + 0,375S_{OP+k}^p}{100}, [\text{м}^3/\text{кг}]$$

- теоретический объём водяных паров

$$V_{H_2O}^0 = 0,111 \cdot H^p + 0,0124 \cdot W^p + 0,0161 \cdot V^0, [\text{м}^3/\text{кг}]$$

Для коэффициента избытка воздуха в уходящих газах рассчитываются:

- объём водяных паров

$$V_{H_2O} = V_{H_2O}^0 + 0,0161 \cdot (\alpha - 1) \cdot V^0, [\text{м}^3/\text{кг}]$$

- объём дымовых газов

$$V_{\Gamma} = V_{RO_2} + V_{N_2}^0 + V_{H_2O} + (\alpha - 1) \cdot V^0, [\text{м}^3/\text{кг}]$$

Коэффициент избытка воздуха в топке и в уходящих газах определяется из режимной карты для конкретной нагрузки котла.

Часовой расход дымовых газов определяем по соотношению:

$$V_{\text{д.г.}} = V_{\Gamma} \cdot B_p \cdot \alpha_{yx}, [\text{м}^3/\text{ч}]$$

где:  $V_{\Gamma}$  – объём дымовых газов [м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>];  $B_p$  – часовой расход топлива [м<sup>3</sup>/ч] принимаем из режимных карт для соответствующей нагрузки;  $\alpha_{yx}$  – коэффициент избытка воздуха в уходящих газах, определяется из режимных карт.

По часовым производительностям дымососа для среднемесячных нагрузок котла по соответствующей рабочей характеристике определяются его напор и К.П.Д.

Потребляемая электрическая мощность электродвигателя дымососа при дросселировании его производительности шибером рассчитывается по следующей формуле:

$$P_{\text{э}} = \frac{V_{\text{д.г.}} \cdot H_{\text{д}}}{3600 \cdot 102 \eta}, \text{ кВт} \quad (1)$$

3. Потребляемая мощность дымососов при применении гидромуфты для регулирования производительности находится из соотношения

$$P_{\text{эм}} = P_{\text{max}} \left( \frac{Q_{\text{max}}}{Q} \right)^{1/3}, [\text{кВт}] \quad (2)$$

где  $P_{\text{эм}}$  – мощность при регулировании с помощью гидромуфты;  $P_{\text{max}}$  – максимальная мощность электродвигателя;  $Q_{\text{max}}$  – максимальная производительность питательного насоса.

4. Рассчитываются мощности преобразователя частоты при регулировании производительности дымососов с помощью частотно-регулируемого привода:

$$P_{\text{чрп}} = P_{\text{max}} \left( \frac{Q}{Q_{\text{max}}} \right)^3, [\text{кВт}] \quad (3)$$

где  $P_{\text{чрп}}$  – мощность при частотном регулировании скорости;

На основании рассчитанных данных строится график потребляемой электрической энергии электродвигателем дымососа при применении различных систем регулирования его производительности. На рисунке 2 приведены рассчитанные зависимости дросселя (1), гидромуфты (2) и ЧРП (3).



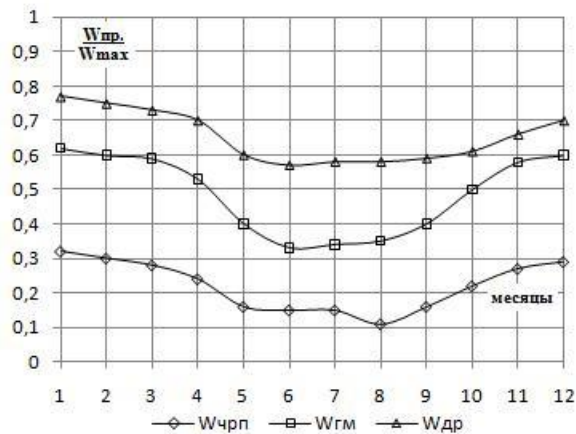


Рис.2. Динамика изменения относительных величин потребляемой энергии дымососом при различных способах регулирования его производительности.

Из анализа рисунка 2 следует, что регулирование производительности при помощи шибера затраты электрической энергии увеличиваются в среднем на 5%. При регулировании производительности с помощью гидромфты расход электрической энергии уменьшается на 10-15%, а с помощью ЧРП на 27%.

Применение регулируемого привода дает наибольшую экономию электрической энергии при работе дымососа при нагрузках ниже 80-75% номинальной.

#### Список литературы:

1. Гаврилова А.А., Салов А.Г. Направления повышения энергоэффективности теплоэлектроцентралей – Труды пятой международной школы-семинара молодых ученых и специалистов «Энергосбережение Теория и практика. – М.: Издательский дом МЭИ, 2010. – 163-169 с.
2. Тепловой расчет котельных агрегатов (Нормативный метод) – Издательство НПО ЦКТИ, СПб, 1998. – 257 с.

#### Применение торцевых диафрагм для учета расхода жидкостей и газов

Гареев Р. С., Фафурин В. А. \*, Фефелов В.В, Явкин В. Б. \*\*

Метрологический центр ООО «СТП», \*ФГУП ВНИИР, \*КНИТУ, \*\*КНИТУ-КАИ, Россия, г.

Казань

[gareev\\_rs@mail.ru](mailto:gareev_rs@mail.ru)

В практике измерения расходов часто приходится иметь дело с нестандартными применениями приборов переменного перепада давления. К такому случаю относится использование торцевых диафрагм, отличающихся от стандартной диафрагмы отсутствием входного, выходного или входного и выходного трубопроводов. Торцевые диафрагмы могут применяться в условиях ограничений на длины трубопроводов. Их применение имеет определенные преимущества при измерении расхода воздуха в компрессоростроении [1] и других приложениях.

Для возможности практического применения этих средств измерений необходимо знать их метрологические характеристики в широком диапазоне режимных и конструктивных параметров. В данной работе представлены результаты экспериментального и численного исследования коэффициента истечения торцевых диафрагм без входного участка в диапазоне изменения числа Рейнольдса  $Re=2,5 \times 10^4 \div 4 \times 10^5$  и относительного диаметра диафрагмы  $\beta=0,4 - 0,75$ . Экспериментальное определение коэффициента истечения проводилось на государственной эталонной установке Эу-2 Государственного первичного эталона массового и объемного расходов газа ГЭТ-118, с расширенной стандартной неопределенностью определения массового и объемного расходов 0,093% [2].

Результаты экспериментов представлены на рис.1 в виде зависимости коэффициента истечения от числа Рейнольдса. На этом же рисунке нанесены зависимости коэффициента истечения стандартной диафрагмы, полученные расчетом уравнению [3] при  $\beta=0,1$  и  $0,75$ , а также

зависимости для коэффициента истечения торцевой диафрагмы без входного участка, рассчитанные по эмпирическому уравнению, полученному в [4]

$$C = 0,5961 + 0,000521 \left( \frac{Re}{10^6} \right)^{0,7} \quad (1)$$

С ростом числа Рейнольдса у всех испытанных диафрагм коэффициент истечения монотонно уменьшается. По характеру зависимости от числа Рейнольдса полученные результаты качественно соответствуют зависимостям коэффициента истечения стандартных диафрагм, однако количественное расхождение достаточно велико и в некоторых случаях превышает 1,5%. Имеется небольшое расслоение экспериментальных данных по относительному диаметру диафрагмы  $\beta = d/D$ . Расчетная зависимость коэффициента истечения стандартной диафрагмы, полученная при  $\beta = 0,1$ , дает заниженные на 1 – 1,5% по сравнению с экспериментом значения  $C$  при  $Re < 2 \times 10^5$  и на 0,9 – 1% при  $Re \geq 2 \times 10^5$ ; расчет, выполненный для  $\beta = 0,75$ , наоборот, дает завышенные значения  $C$  при малых числах  $Re$  и неплохо согласуется с экспериментальными для диафрагм с  $\beta = 0,6$  и  $0,75$  при  $Re > 1 \times 10^5$ . Уравнение (1) хорошо согласуется (в пределах 0,5%) с результатами экспериментов для  $\beta = 0,4$ , а также для  $\beta = 0,6$  при  $Re < 2 \times 10^5$ . С ростом числа Рейнольдса расхождение формулы (1) и данных для  $\beta = 0,6$  возрастает, а при  $\beta = 0,75$  расхождение формулы (1) с данными эксперимента достигает 1% и более.

Из представленных результатов можно сделать вывод, что эмпирическое уравнения для коэффициента истечения стандартной диафрагмы [3] не пригодно для определения коэффициента истечения торцевой диафрагмы, а уравнение (1) хорошо согласуется с экспериментальными данными при малых  $\beta$  и числах Рейнольдса  $Re < 2 \times 10^5$ .

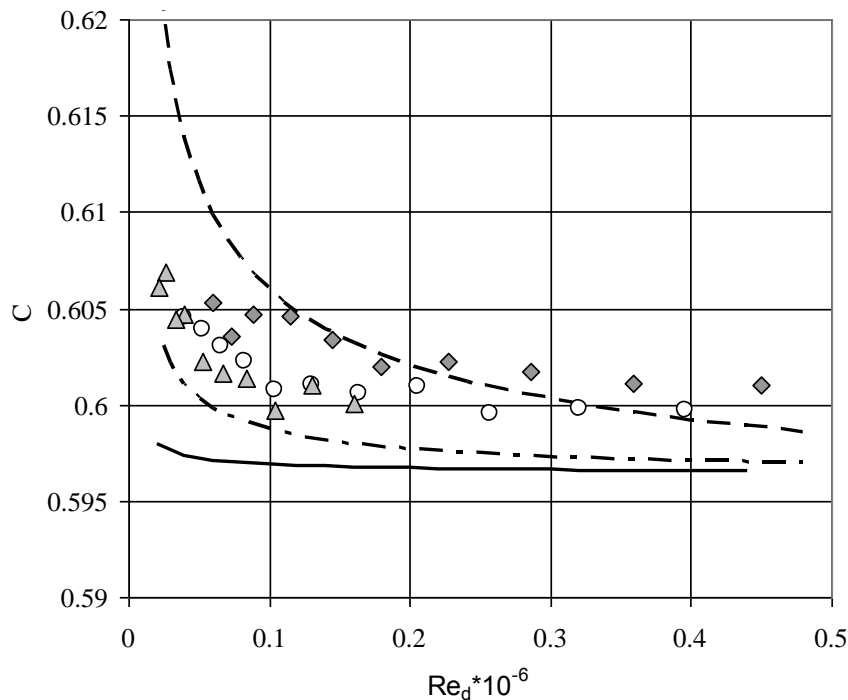


Рис. 1. Зависимость коэффициента истечения торцевой диафрагмы от числа Рейнольдса.  
 Эксперимент:  $\diamond \beta=0,75$ ,  $\circ \beta=0,6$ ,  $\triangle \beta=0,4$ ; расчеты: стандартная диафрагма  $\beta=0,1$ ,  
 стандартная диафрагма  $\beta=0,1$ , уравнение (1)

Ограничение эталонной установки Эу-2 по расходу газа не позволяет провести исследование коэффициента истечения в более широком диапазоне изменения числа Рейнольдса. Кроме того, для проведения экспериментов с торцевыми диафрагмами без входного и без выходного и выходного участков требуются дорогостоящие конструктивные изменения. В этих условиях имеет смысл прибегнуть к численному исследованию.

Для выяснения возможности применения численных методов к расчету коэффициента истечения торцевой диафрагмы были проведены расчеты, выполненные в осесимметричной постановке. Геометрия расчетной области была выбрана такой, чтобы передать все конструктивные особенности монтажа диафрагмы (фланцы, крепление, отбор давления). Расчетная сетка содержала 250 000 прямоугольных ячеек, ориентированных вдоль стенок, с выделением пограничных слоев и плавным увеличением размера ячейки к ядру потока. Сгущения сетки в пристеночных областях были такими, что величина  $y^+ = u^* y / \nu \leq 1,5$  для 99% пристеночных ячеек, где  $u^* = \sqrt{\tau_w / \rho}$ ,  $\tau_w$  – напряжения трения на стенке,  $y$  – расстояние от центра граничной ячейки до стенки. Это обеспечивало возможность сеточного разрешения ламинарного подслоя. В окрестности угловой точки диафрагмы величина  $y^+$  превышала указанное выше значение и могла достигать 5.

Расчеты, проведенные со стандартным набором констант в модели турбулентности  $k-\epsilon$  SST, показали, что полученная зависимость коэффициента истечения от числа Рейнольдса качественно согласуется с экспериментальными данными, однако имеется значительное постоянное смещение расчетных данных, около 1%, практически одинаковое для всех  $\epsilon$  (рис.2). Такой же результат был получен и для модели турбулентности  $k-\epsilon$  RNG со стандартным набором констант. Эта модель также дает значительное смещение относительно экспериментальных точек. Устранение смещения было достигнуто корректировкой констант модели турбулентности, как для модели  $k-\epsilon$  RNG, так и для модели  $k-\epsilon$  SST.

Так как смещение, полученное при расчетах приводит к заниженным значениям  $C$ , вызванным, в том числе, большей неравномерностью профиля скорости перед диафрагмой, то корректировка была выполнена таким образом, чтобы обеспечить большие значения интенсивности турбулентности вблизи входа в диафрагму, что должно привести к выравниванию профиля скорости. После соответствующего изменения констант в моделях турбулентности постоянное смещение экспериментальных и расчетных данных было сокращено до 0,5%. Из представленных на рис.2 графиков видно, что после модификации констант расчетные и экспериментальные данные согласуются между собой значительно лучше, чем при стандартном наборе констант. Отметим также, что результаты расчетов по модели  $k-\epsilon$  SST с модифицированными константами хорошо согласуются с расчетами по формуле (1).

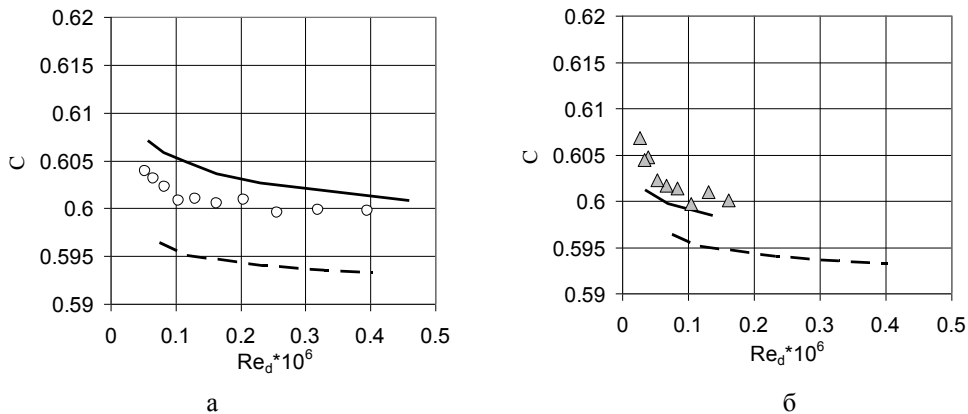


Рис.2. Результаты расчетов  $C$  численным методом с использованием различных моделей турбулентности: а – модель  $k-\epsilon$  RNG, точки – эксперимент при  $\beta=0,6$ ; б – модель  $k-\epsilon$  SST, точки – эксперимент при  $\beta=0,4$ ; пунктирные линии – расчет со стандартными значениями констант, сплошные – с модифицированными.

В результате проведенных исследований получены экспериментальные зависимости коэффициента истечения от числа Рейнольдса. Проведена коррекция констант моделей турбулентности, обеспечившая хорошее согласование результатов расчетов с экспериментальными данными.

#### Список литературы:

1. Рис В. Ф., Широков Н. А. Коэффициенты расхода торцевых диафрагм при нестесненном входе воздуха. // Энергомашиностроение № 10, 1984 г., С. 13–14.

2. Гареев Р. С., Красавин А. В., Фафурин В. А., Явкин В. Б., Яценко И. А. Экспериментальное и расчетное определение коэффициента истечения торцевой диафрагмы. // Законодательная и прикладная метрология, 2012, №6, С. 13-17.
3. ГОСТ 8.586.2-2005 (ИСО 5167-2:2003). Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. Часть 2. Диафрагмы Технические требования.
4. ISO Technical Report. ISO/TR 15377:2007 (E). Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices – Guidelines for the specification of orifice plates, nozzles and Venturi tubes beyond the scope of ISO 5167.

### Тепловой баланс экодому с учетом рекуперации вентиляционного воздуха

*Удалов С.Н., Грибов М.А.*

*Новосибирский Государственный Технический Университет, г. Новосибирск  
Mushrumov@211.ru*

В статье представлены результаты расчета теплового баланса экодому с учетом рекуперации вентиляционного воздуха, теплотери через ограждающие конструкции, класс энергетической эффективности.

#### Введение

В обычных домах более 90% потребляемой энергии тратится в виде тепла на отопление и горячее водоснабжение (ГВС). Поэтому проектирование энергоэффективного дома необходимо начинать со снижения теплотребления. Потребление тепла на нужды отопления можно снизить по трем основным направлениям:

- усиление теплоизоляции внешней оболочки здания;
- снижение тепловых потерь с вентилируемым воздухом;

#### Дисковый рекуператор

Дисковый рекуператор (рис. 1) не подвержен обмерзанию, так как кристаллы инея, образующиеся на вращающихся дисках, непрерывно удаляются при прохождении дисков через щели и уносятся потоком воздуха.

Предлагается устройство для рекуперации тепла вентиляции, в котором теплообмен происходит на быстро вращающихся дисках, половина каждого из которых находится в выбрасываемом воздухе, другая - в воздухе, забираемом снаружи. Диски, закреплённые на валу на расстоянии друг от друга, установлены в канале, разделённом перегородкой, вращаются от внешнего привода. В перегородке имеются щели, в которых вращаются диски. Частота вращения 1500 - 3000 об/мин. Для повышения эффективности устройства в канале устанавливают несколько валов (ступеней). Так эффективность (доля возвращённого тепла) одноступенчатого (однороторного) аппарата не более 50 %, эффективность пятиступенчатого - более 80 %. В таблице 1 приведены основные технические параметры, используемых рекуператоров.

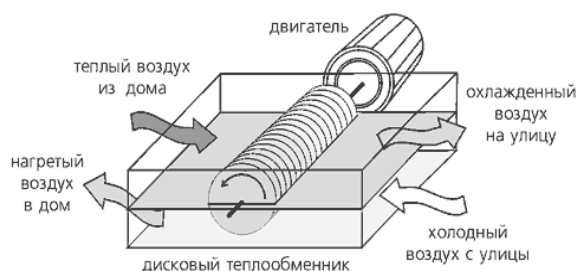


Рис.1. Дисковый рекуператор

Таблица 1. Характеристики воздушных дисковых рекуператоров

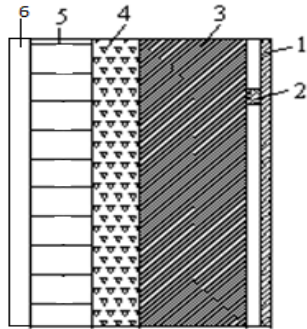
№	Производительность (м3/ч)	Количество дисков	Общая поверхность дисков	Габариты (м*м*м)
1	250	25	5	0.8*0.5*0.12

2	500	50	10	0.8*0.5*0.25
3	1000	100	20	0.8*0.5*0.5
4	2000	200	40	0.8*0.5*1
5	5000	500	100	0.8*0.5*2.5
6	10000	250	200	1.3*1*1.3
7	50000	1250	1000	1.3*1*6

Алгоритм управления для дискового рекуператора

Вентиляция помещений обеспечивает своевременное удаление избытка углекислого газа, тепла, влаги, пыли, вредных веществ, образующихся в результате различных бытовых процессов и пребывания в помещении людей. Что бы выполнить эти требования, нужно рекуперировать не менее 1/3 объема воздуха здания. Например, если объем воздуха здания 1250 м<sup>3</sup>, а производительность рекуператора 250 м<sup>3</sup>/ч, следовательно рекуператор должен работать не менее 2 часов в сутки.

Результаты расчета



Расчёт сопротивления теплопередаче показан на примере стены (рис.2). Результат расчёта – 9,7 м<sup>2</sup> оС/Вт . Для кровли и пола первого этажа соответственно 9,2 м<sup>2</sup> оС/Вт и 4,8 м<sup>2</sup> оС/Вт .

Рис.2. Разрез наружной стены жилого дома: 1 - гипсоволокнистая плита толщиной  $\delta_1=10$  мм; 2 - замкнутая воздушная прослойка  $\delta_2=20$  мм; 3 - арболитовые блоки  $\delta_3=400$  мм; 4 - утеплитель (минвата с пароизоляцией)  $\delta_4=270$  мм; 5 - облицовочный кирпич  $\delta_5=120$  мм; 6 - штукатурка  $\delta_6=20$  мм.

В расчёте учтено влияние углов и перекрытий на сопротивление теплопередаче. С помощью программы THERM были рассчитаны сопротивление теплопередаче в углах стен, откосах окон, кровли. Сопротивление теплопередаче на гладе стены составляет 9,7 м<sup>2</sup> оС/Вт, в углу стены 8 м<sup>2</sup> оС/Вт.

Сопротивление теплопередаче на гладе кровли составляет 9,2 м<sup>2</sup> оС/Вт, после расчета 8 м<sup>2</sup> оС/Вт. Сопротивление теплопередаче пола составляет 4,8 м<sup>2</sup> оС/Вт, после расчета 8 м<sup>2</sup> оС/Вт [3]. Результаты расчёта представлены на рисунках 3 и 4.

Ниже приведены диаграммы тепловой энергии поступающей от системы отопления, солнечного излучения и бытовых тепlopоступлений. На рисунке 3 представлено процентное соотношение между тепlopоступлениями за отопительный период без рекуперации вентиляционного воздуха, на рисунке 4 – с тепловой эффективностью рекуперации тепла вентиляционного воздуха 80%.

Из рисунка 3 следует, что наличие рекуператора способно сократить расход на отопление более чем вдвое, что в свою очередь снизит расход топлива в отопительный период.

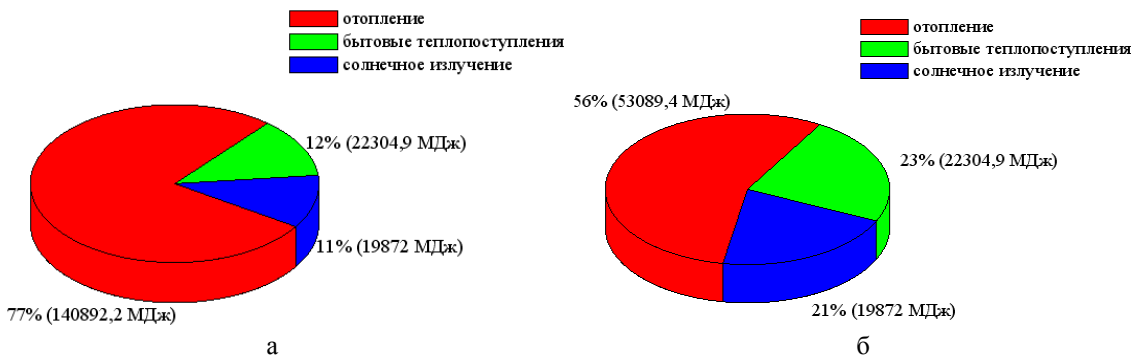


Рис. 3. Тепlopоступления за отопительный период.  
а – без рекуперации; б – с рекуперацией тепла вентилируемого воздуха 80%

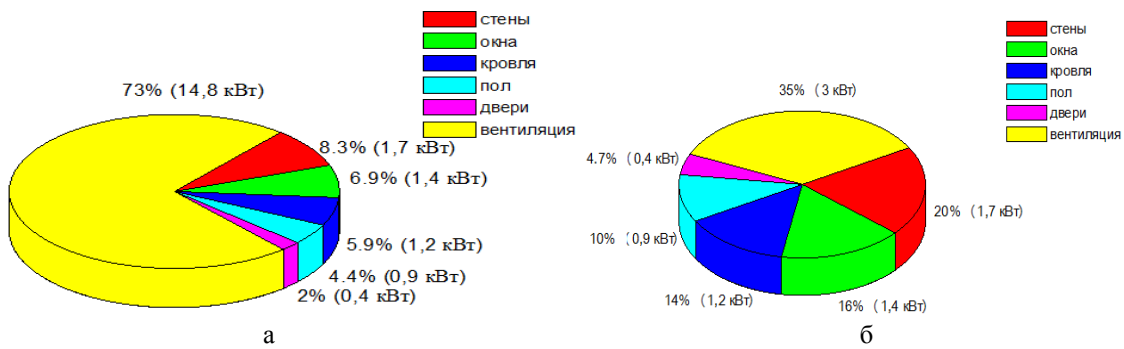


Рис. 4 теплотери через ограждающие конструкции и вентиляцию за холодную пятидневку при однократном воздухообмене:

а- без рекуперации; б- с рекуперацией тепла 80%

#### Заключение

По результатам расчета на нагрев вентиляционного воздуха при однократном воздухообмене тратилось 73% тепла от общих теплотерь в доме. Использование рекуператора тепла вентиляционного воздуха с тепловой эффективностью 80% снизило эту величину до 35%.

#### Список литературы:

1. СНиП 23 – 02 - 2003. Тепловая защита зданий.
2. ТСН 23-317-2000 НСО. Энергосбережение в жилых и общественных зданиях
3. Б.В. Абрамов. Строительная теплофизика. Учебное пособие. - Бишкек, 1999.

УДК 621.643

#### Анализ масштабов тепловых потерь теплопроводов в условиях увлажнения изоляции с учетом испарении влаги

*Губина Е.В., Половников В.Ю.*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск  
polov@tpu.ru*

Уровень тепловых потерь в тепловых сетях РФ оценивается в 30 % полезного теплопотребления абонентов [1]. Отдельный интерес представляет анализ тепловых потерь теплопроводов в условиях увлажнения изоляции [2]. При этом в [2] не учитывается влияние фазовых переходов в структуре слоя теплоизоляции на интенсификацию тепловых потерь.

Целью данной работы является численный анализ тепловых потерь теплопроводов в условиях увлажнения тепловой изоляции с учетом испарения влаги на границе раздела «стенка трубы – слой изоляции».

Рассматривается задача теплопроводности в системе «стенка трубы – слой увлажненной теплоизоляции». На границе раздела «стенка трубы – слой увлажненной изоляции» учтен процесс испарения. На рис. 1 показана область решения рассматриваемой задачи.



Рис. 1. Схематическое изображение области решения: 1 – теплоноситель; 2 – стенка трубы; 2 – слой увлажненной изоляции; 4 – окружающая среда.

Математическая модель

Математическая постановка задачи имеет вид:

$$\frac{\partial T_{\text{од}}}{\partial \tau} = a_{\text{од}} \left( \frac{\partial^2 T_{\text{од}}}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T_{\text{од}}}{\partial r} \right), \quad R_1 \leq r < R_2; \quad (1)$$

$$\frac{\partial T_{\text{е}}}{\partial \tau} = a_{\text{е}} \left( \frac{\partial^2 T_{\text{е}}}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T_{\text{е}}}{\partial r} \right), \quad R_2 < r \leq R_3. \quad (2)$$

$$\tau = 0, R_1 \leq r \leq R_3, T_{\text{од}} = T_{\text{е}} = T_0 = \text{const}. \quad (3)$$

$$\tau > 0, r = R_1, T_{\text{од}} = T_1 = \text{const}; \quad (4)$$

$$\tau > 0, r = R_2, -\lambda_{\text{од}} \frac{\partial T_{\text{од}}}{\partial r} = -\lambda_{\text{е}} \frac{\partial T_{\text{е}}}{\partial r} - QW; \quad (5)$$

$$\tau > 0, r = R_3, -\lambda_{\text{е}} \frac{\partial T_{\text{е}}}{\partial r} = \alpha(T_{\text{е}} - T_{\text{ос}}). \quad (6)$$

Обозначения:  $T$  – температура, К;  $\tau$  – время, с;  $a$  – коэффициент температуропроводности, м<sup>2</sup>/с;  $r$  – координата, м;  $R$  – граница области расчета, м;  $\lambda$  – теплопроводность, Вт/(м·К);  $Q$  – теплота фазового перехода, Дж/кг;  $W$  – массовая скорость испарения, кг/с;  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м<sup>2</sup>·К).

Индексы: тр – труба; 1, 2, 3 – номера границ; тр – труба; и – изоляция; 0 – начальный момент; эф – эффективный; ос – окружающая среда.

Массовая скорость испарения определялась из соотношения [3]:

$$W = \frac{A(P_1^{\text{эф}} - P_1^{\text{од}})}{\sqrt{\frac{2 \pi R_g}{M} T(\tau R_2)}},$$

где:  $A$  – коэффициент аккомодации;  $P_{\text{нас}}$  – давление насыщения, Па;  $P_{\text{парц}}$  – парциальное давление испаряющейся компоненты, Па;  $R_g$  – газовая постоянная, Дж/(кмоль·К);  $M$  – молекулярная масса паров, кг/моль.

Коэффициент аккомодации вычислялся по формуле [4]:

$$A = \frac{0,059}{P_1^{\text{эф}}{}^{0,5}}.$$

Парциальное давление испаряющейся компоненты определялось по аналогии с процессом поверхностного испарения [5]:

$$\psi = \frac{P_1^{\text{од}}}{P_1^{\text{эф}}} = \frac{m_{\text{а}}}{m_{\text{а}} + m_{\text{п}}},$$

где:  $m$  – массовая доля; в – вода; п – пар.

Исходя из физических соображений, ясно, что  $m_{\text{в}}$  значительно больше  $m_{\text{п}}$ . Следовательно, для рассматриваемой задачи можно принять  $\psi$  как параметр:  $\psi \approx 0,999 \dots 0,995$ .

Теплофизические свойства слоя увлажненной изоляции определялись с учетом объемных долей каждой компоненты [6]. Например, эффективная теплопроводность вычислялась из соотношения:

$$\lambda_{\text{е}} = \lambda_{\text{е}} \phi_{\text{е}} + \lambda_{\text{а}} \phi_{\text{а}}; \quad \phi_{\text{а}} + \phi_{\text{е}} = 1,$$

где:  $\phi$  – объемная доля.

Задача (1)–(6) решена методом конечных разностей с использованием неявной четырехточечной разностной схемы. Разностные аналоги исходной системы уравнений решены методом «прогонки».

Численный анализ проводился для трубы с диаметром условного прохода 600 мм, изготовленной из стали 10 (толщина 9 мм) и тепловой изоляцией из стеклянной ваты (толщина 70 мм). Значение температуры в рассматриваемой области решения в начальный момент времени принималось равным  $T_0=298$  К. Температура внутренней поверхности трубы принималась равной  $T_1=363$  К, а температура окружающей трубопровод среды составляла  $T_{ос}=298$  К. Коэффициент теплоотдачи от поверхности изоляции к наружному воздуху принимался равным  $\alpha = 11$  Вт/(м<sup>2</sup>·К). Максимальное значение объемной доли воды  $\varphi_v = 0,73$ .

В таблице 1 приведены значения теплопроводности ( $\lambda$ ), теплоёмкости ( $C$ ), и плотности ( $\rho$ ) трубопровода, изоляции и воды, использованные при расчетах.

Таблица 1. Теплофизические свойства материалов

Материал	$\lambda$ , Вт/(м·К)	$C$ , кДж/(кг·К)	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>
Сталь 10	57,7	0,466	7860
Стекловата	0,059	0,67	206
Вода	0,571	4,2	1000

Результаты численного моделирования, приведенные в таблице 2, свидетельствуют об ожидаемом росте тепловых потерь теплопровода  $q_1$  с увеличением объемной доли влаги  $\varphi_v$  в пористой структуре слоя тепловой изоляции.

Таблица 2. Результаты численного анализа тепловых потерь по величине объемной доли влаги в слое тепловой изоляции

$\varphi_v$	$q_1$ , Вт/м	$\delta_1 = \frac{q_1^{\varphi \neq 0} - q_1^{\varphi = 0}}{q_1^{\varphi \neq 0}}, 100\%$
0	110,19	-
0,2	271,53	59,4
0,4	404,09	72,7
0,6	515,26	78,6
0,73	578,61	81,0

Величиной  $\delta_2$  обозначен рост тепловых потерь теплопровода  $q_2$  по сравнению с потерями без учета испарения при  $\varphi_v = 0$  (таблица 2), а значения  $\delta_3$  характеризуют отклонения в расчетах тепловых потерь с учетом и без учета испарения при  $\varphi_v \neq 0$ .

Таблица 3. Результаты численного моделирования по параметру  $\psi$ 

$\varphi_v$	$\psi$	$q_2$ , Вт/м	$\delta_2 = \frac{q_2 - q_1^{\varphi = 0}}{q_2}, 100\%$	$\delta_3 = \frac{q_2 - q_1^{\varphi \neq 0}}{q_2}, 100\%$
0,2	0,999	329,63	66,6	17,6
	0,997	445,84	75,3	39,1
	0,995	562,05	80,4	51,7
0,4	0,999	462,17	76,2	12,6
	0,997	578,33	80,9	30,1
	0,995	694,50	84,1	41,8
0,6	0,999	573,33	80,8	10,1
	0,997	689,46	84,0	25,3
	0,995	805,60	86,3	36,0
0,73	0,999	636,61	82,7	9,1
	0,997	752,72	85,4	23,1
	0,995	868,84	87,3	33,4

Отклонение в результатах расчета тепловых потерь с учетом и без учета испарения влаги составляет  $\delta_3=9,1-51,7\%$ , что свидетельствует о необходимости учета наличия испарения при проведении анализа тепловых режимов теплопроводов, работающих с увлажненной изоляцией.

Вклад эффекта испарения в суммарные тепловые потери составляет от 1,7 до 21% (табл. 2, 3) в зависимости от значений  $\varphi_v$  и  $\psi$ . Анализ нестационарности процессов теплопереноса



для рассматриваемой задачи свидетельствует о том, что время выхода процессов на стационарный режим не превышает 20 000 секунд, что хорошо согласуется с результатами проведенных ранее исследований [2].

Исследование выполнено при поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 12-08-00201-а и гранта Президента РФ № МК-1652.2013.8.

#### Список литературы:

1. Ватин Н.И., Дубов В.В., Петраков Г.П. Внедрение РМД 41-11-2012 Санкт-Петербург «Устройство тепловых сетей в Санкт-Петербурге». – 2013. – № 1(6). – С. 48–54.
2. Кузнецов Г.В., Половников В.Ю. Численное моделирование теплового состояния трубопровода в условиях затопления с учетом нестационарности процесса насыщения теплоизоляции влагой // Теплоэнергетика. – 2008. – № 5. – С. 60–64.
3. Полежаев Ю. В., Юревич Ф. Б. Тепловая защита. – М.: Энергия, 1976. – 392 с.
4. Санду С.Ф. Математическое моделирование процессов переноса тепла и массы в испарительно-конденсационных системах теплопередачи энергетических установок // Известия Томского политехнического университета. – 2003. – Т. 306. – № 4. – С. 60–63.
5. Берман Л.Д. Испарительное охлаждение циркуляционной воды. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1949. – 440 с.
6. Чудновский А.Ф. Теплофизические характеристики дисперсных материалов. – М.-Л.: Физматгиз, 1962. – 456 с.

#### Влияние регенерации на экономичность энергоблока с пароохлаждаемым быстрым реактором

*Гуков Е.В., Антонова А.М.*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск  
anton@tpu.ru*

#### Введение

Выбор вида теплоносителя и его параметров является определяющим при определении типа ядерного реактора и разработке тепловой схемы атомной электростанции. Вода (обычная) является наиболее распространенным теплоносителем, а также замедлителем в ядерных энергетических реакторах на тепловых нейтронах. Одним из недостатков воды как теплоносителя является заметная способность поглощать нейтроны, в силу чего приходится использовать обогащенное топливо (не менее 1 % обогащения урана изотопом  $^{235}\text{U}$ ). Избежать этого недостатка позволяет использование в качестве теплоносителя ядерного реактора перегретого водяного пара. В таком случае в ядерном реакторе может быть реализована реакция деления на быстрых нейтронах. В силу низкой активации пара с таким реактором на быстрых нейтронах можно применить двух – или даже одноконтурную тепловую схему блока [1]. Расчетные исследования влияния параметров пара на экономичность энергоблока простой схемы с пароохлаждаемым быстрым реактором произведены в работе [2].

#### 1. Постановка задачи исследования

Целью данного исследования является установление влияния регенеративного подогрева питательной воды (РППВ) на эффективность энергоблока с пароохлаждаемым реактором (рис. 1). Парогенератор смешивающего типа (бойлер Леффлера) производит сухой насыщенный пар из питательной воды за счет теплоты конденсации части перегретого пара, поступающего из ядерного реактора. Сухой пар в процессе сжатия в компрессоре становится перегретым и подается в активную зону реактора, где происходит его дальнейший перегрев за счет теплоты, выделяющейся в реакции деления ядерного горючего. Перегретый пар на выходе из реактора разделяется на два потока: один направляется на турбину, второй – в бойлер, куда поступает также питательная вода после подогрева в регенеративных подогревателях.

Абсолютный внутренний КПД установки определяется по формуле:

$$\eta_i = \frac{H_i^r \cdot \left(1 - \sum \alpha_j \cdot y_j\right) - H_i^k}{q_i},$$

где  $H_i^T$  – действительный теплоперепад турбины, кДж/кг;  $\alpha_j$  – относительный расход пара в  $j$ -й отбор;  $y_j$  – коэффициент недовыработки мощности, действительный теплоперепад компрессора

$$y_j = \frac{h_i - h_k}{H_i^T}; \quad H_i^k - \text{приведенный}$$

$$H_i^k = \frac{(1 + \alpha_{\text{бл}})(h_0 - h_a)}{\eta_{oi}^k}, \quad \text{кДж/кг};$$

$Q_1$  – расход теплоты, подводимой к рабочему телу в активной зоне реактора

$$Q_1 = (1 + \alpha_{\text{бл}})(h_0 - h_0), \quad \text{кДж/кг};$$

$\alpha_{\text{бл}}$  – относительный расход перегретого пара, поступающего из реактора в бойлер,

$$\alpha_{\text{бл}} \cdot h_0 + 1 \cdot h_{\text{нб1}} = (1 + \alpha_{\text{бл}}) \cdot h_a$$

Относительные расходы пара в отборы определяются по уравнению теплового баланса подогревателей

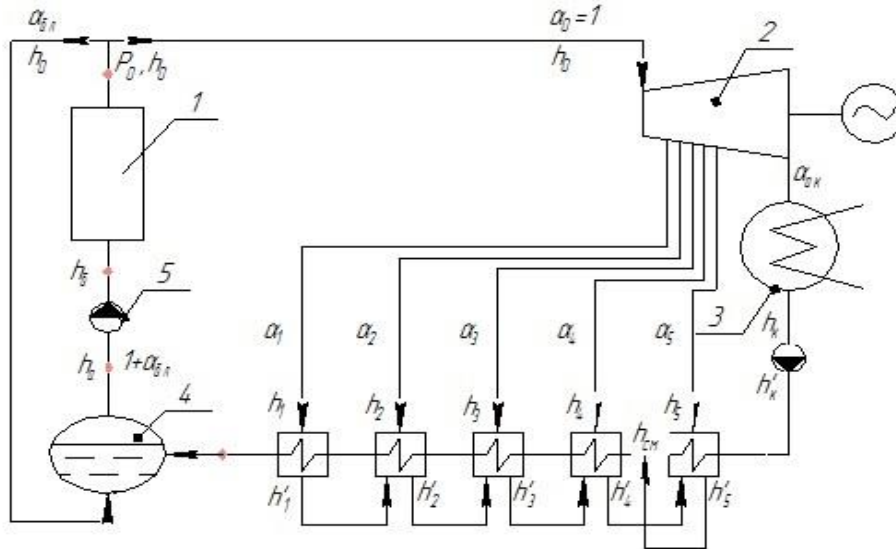
$$\alpha_j \cdot (h_j - h_j') + \alpha_{j-1} \cdot (h_{j-1}' - h_j') = \alpha_{\text{не}} (h_{\text{не}j} - h_{\text{не}j+1}) / \eta_{\text{П}}$$


Рис. 1. Схема одноконтурной установки с пароохлаждаемым РБН с регенеративным подогревом питательной воды:

1 – реактор; 2 – турбина; 3 – конденсатор; 4 – бойлер Леффлера; 5 – компрессор

Во всех приведенных формулах энтальпии определяются в соответствии с обозначениями на рис. 1. Потерями давления в тракте питательной воды и затратой работы на сжатие воды пренебрегаем, вносимая при этом погрешность незначительна.

2. Влияние начального давления пара на КПД установки

Для определения влияния на показатели экономичности установки начального давления пара  $P_0$  на входе в турбину, проведены расчеты установки с одной ступенью РППВ при постоянной температуре пара на входе в турбину  $t_0 = 550^\circ\text{C}$  при значениях начального давления в диапазоне 1 – 20 МПа. В расчетах варьировалась величина потери давления в тракте перегретого пара от реактора до входа в компрессор:  $\Delta p_{\text{от}} = 0; 1 \text{ МПа и } 2 \text{ МПа}$ . Графические зависимости, построенные по результатам проведенных расчетов, приведены на рис. 2.

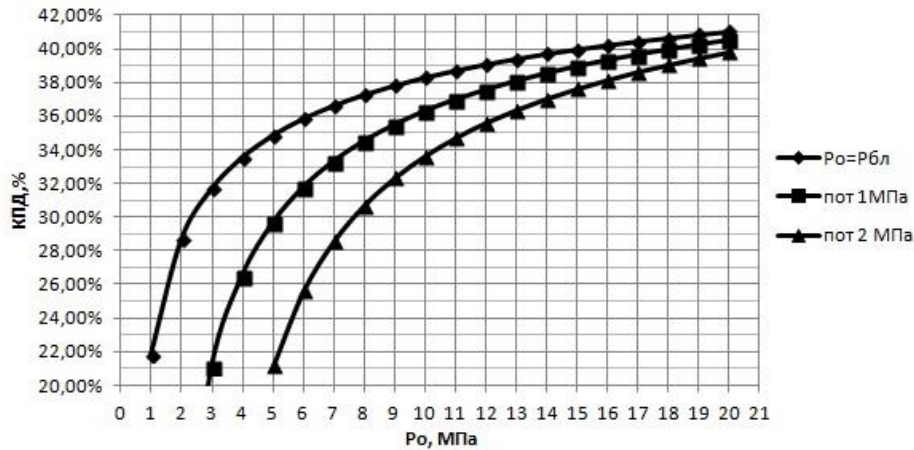


Рис. 2. Зависимость абсолютного внутреннего КПД установки от давления перед турбиной  $P_0$  в схеме с одним подогревателем

Как показывает анализ графика на рис. 2, значение абсолютного внутреннего КПД установки в исследуемом диапазоне растет с увеличением давления  $P_0$ , наибольший рост КПД наблюдается в диапазоне до 9 МПа. При этом влияние потери давления в тракте перегретого пара от реактора до входа в компрессор наиболее сказывается при низких значениях  $P_0$ . Максимальное значение абсолютно внутреннего КПД 41,0 % имеет место при  $P_0 = 20$  МПа и  $\Delta P_{бл} = 0,1$  МПа. Однако граница допустимых по критерию конечной влажности значений  $P_0$  лежит ниже – около 10 МПа.

Очевидно, что полученные для схемы с одной ступенью РППВ зависимости качественно не изменятся при переходе к большему числу ступеней РППВ.

### 3. Влияние температуры питательной воды

Для выявления зависимости КПД установки от температуры питательной воды проведены расчеты тепловой схемы установки при  $P_0 = 10$  МПа и  $t_0 = 550$  оС для различного числа ступеней РППВ  $z$ . Зависимости построенные по результатам расчета, приведены на рис.3.

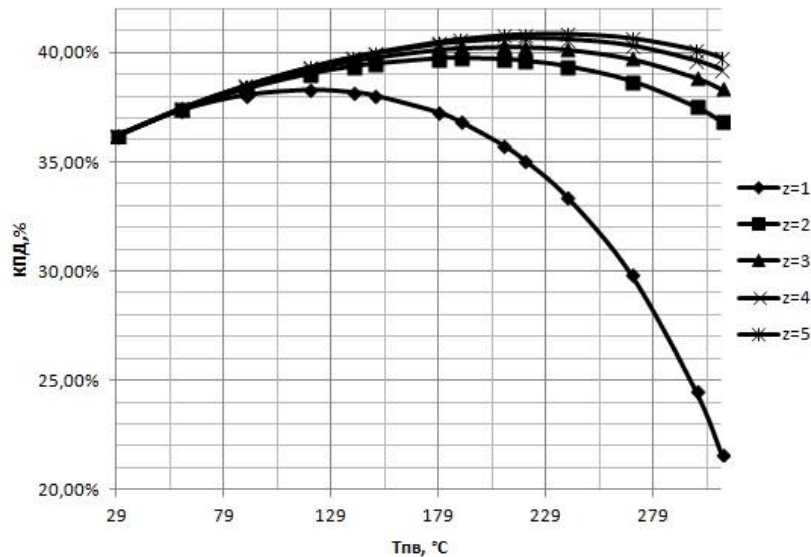


Рис. 3. Зависимость абсолютного внутреннего КПД установки от температуры питательной воды (при  $P_0 = 10$  МПа),  $z$  – число отборов (ступеней РППВ)

Как показывает анализ графиков, переход от схемы с одним подогревателем (КПД 38,3 %) к схеме с двумя подогревателями (КПД 39,8 %), дает относительный прирост КПД 3,9 % (абсолютный прирост – 1,5 %), что является достаточно существенной величиной. При дальнейшем увеличении числа подогревателей, относительный прирост КПД уменьшается. С увеличением числа подогревателей максимум КПД смещается вправо, т.е. оптимальное значение температуры питательной воды с ростом числа ступеней РППВ растет от 119 оС при  $z=1$  до 240 оС при  $z=5$ .

#### 4. Влияние числа ступеней РППВ на относительный расход перегретого пара

Величина относительного расхода перегретого пара, поступающего в бойлер Леффлера  $\alpha_{\text{бл}}$ , определяет размеры бойлера, производительность компрессора, паропроизводительность реактора и его размеры. Поэтому необходимо установить, как влияет число ступеней РППВ на  $\alpha_{\text{бл}}$  и при каком числе  $z$  относительный расход перегретого пара  $\alpha_{\text{бл}}$  будет иметь минимальную величину. На эти вопросы помогает ответить график, построенный на рис.5 по результатам расчетов при  $P_0=10$  МПа.

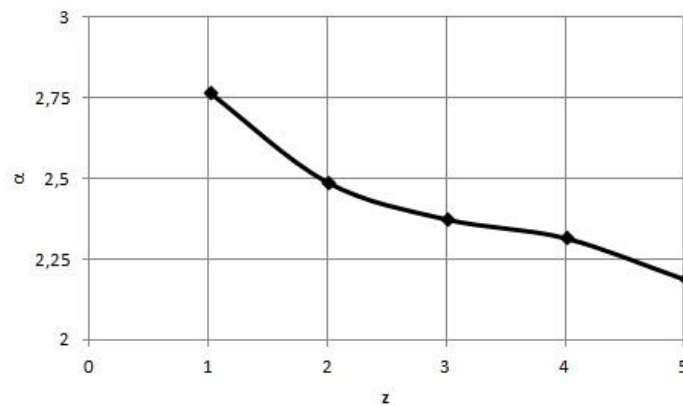


Рис. 4. Зависимость относительного расхода перегретого пара, поступающего в бойлер Леффлера, от числа отборов

С увеличением числа регенеративных подогревателей относительный расход перегретого пара, поступающего в бойлер Леффлера для генерации сухого насыщенного пара, уменьшается. Сокращаются размеры бойлера, снижается производительность компрессора и его размеры, уменьшается паропроизводительность реакторной установки, размеры активной зоны реактора и его габариты, что в целом приведет к снижению затрат на установку.

Таким образом, увеличение числа регенеративных подогревателей ведет к росту затрат на систему РППВ, с другой стороны – к снижению затрат на бойлер Леффлера, компрессорную установку и реактор.

#### Заключение

Анализ результатов проведенных расчетных исследований показывает, что вариант одноконтурной установки с пароохлаждаемым реактором на быстрых нейтронах с регенерацией может быть реализован на практике. Результаты расчетов показывают, что абсолютный внутренний КПД установки превышает 40 % даже при сравнительно небольшом числе регенеративных ступеней (пять отборов).

Увеличение числа ступеней регенеративного подогрева (отборов и подогревателей) ведет к повышению тепловой экономичности и снижению относительного расхода перегретого пара, поступающего в бойлер Леффлера, что положительно сказывается на размерах оборудования, что в целом приведет к снижению затрат на установку.

Таким образом, капитальные затраты имеют противоположно изменяющиеся составляющие: увеличение числа регенеративных подогревателей ведет к росту затрат на систему РППВ и к снижению затрат на бойлер Леффлера, компрессорную установку и реактор.

С точки зрения возможного диапазона электрической мощности турбоустановки регенеративный подогрев питательной воды при постоянном расходе пара на турбину позволяет увеличить предельную мощность паровой турбины, т.к. расход пара в конденсатор сокращается.

## Список литературы:

1. Усынин Г.Б., Кусмарцев Е.В. Реакторы на быстрых нейтронах. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 288 с.
2. Швецов А.С. Исследования экономичности энергоблока с пароохлаждаемым быстрым реактором. – Томск: ТПУ, 2011. – 18 с.

**Оценка распространения газообразных выбросов от вертикальных тепловых источников**  
**Добросельский К.Г.**

*Институт теплофизики СО РАН, Новосибирский государственный университет, Россия, г. Новосибирск*

Исследования дымовых уходящих газов топливосжигающих установок показывают, что в их составе основными загрязнителями атмосферного воздуха являются оксиды углерода (до 50%), оксиды серы (до 20%), оксиды азота (до 6-8%), углеводороды (до 5-20%).

Существующие модели и методики рассеяния газообразных примесей содержат большое количество параметров, зависимость которых от метеоусловий сложна и плохо изучена. Расчеты по ним сильно разнятся [1, 2]. Наибольшее число результатов получено для высоких источников вредных выбросов и далеко от них [3,4].

Большое воздействие на окружающую среду оказывают низкие и средние источники, в частности котельные, располагающиеся вблизи жилых и промышленных зон. Действие таких источников исследовано недостаточно. Данная работа частично восполняет этот пробел.

Предпосылки оценочной модели распространения газовых примесей.

1. Основными параметрами, влияющими на распространение газообразных примесей в атмосферном воздухе, являются направление и скорость ветрового потока, скорость выбросов [5].

2. Выбросы газообразных примесей, скорость упорядоченного оседания которых практически равна нулю, – турбулентные струи, распространяющиеся в поперечном ветровом потоке.

3. Газовоздушную струю выбросов можно считать практически воздушной уже вблизи источника. Рассеяние примесей в атмосферном приземном слое осуществляется в конечном итоге под действием диффузии переносящей среды (ветрового, воздушного потока).

4. Подъем струи выбросов за счет избыточной температуры (плавучести) не учитывается [5].

5. Профиль концентраций газообразной примеси в факеле выбросов подобен профилю избыточных температур в поперечном сечении струи [6].

Физическая модель изучаемого нами течения представляет собой воздушную осесимметричную струю, которая выбрасывается из трубы высотой  $H = 0,22 \dots 0,3$  м и диаметром  $d = 0,022$  м под прямым углом к направлению движения воздушного потока (рис.1). Для исследования струи в сносящем потоке применялся аэродинамический канал длиной 5,5 м и поперечным сечением  $0,8 \cdot 0,5$  м.

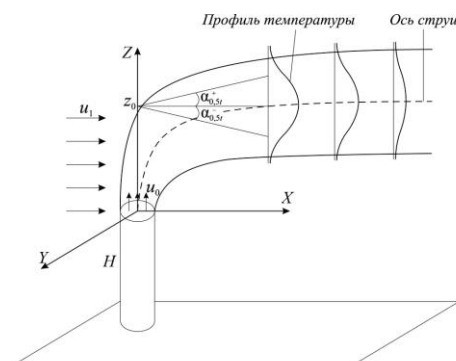


Рис.1. Геометрические и кинематические характеристики струи.

Исследования проводились для относительных скоростных напоров  $q = 0,85 \dots 6,12$  ( $q = u_{02}/u_{12}$ , где  $u_{0}$  – максимальная скорость струи на срезе трубы;  $u_{1}$  – скорость сносящего потока) с изотермическими и слабонеизотермическими (критерий Архимеда  $Ar = (gd\Delta T_0) / (2u_{02} \cdot T_1) =$

$2,8 \cdot 10^{-4} \dots 1,0 \cdot 10^{-3}$ , где  $g$  – ускорение свободного падения;  $\Delta T_0$  – разность абсолютных температур в струе и сносящем потоке;  $T_1$  – абсолютная температура потока струями. Значения чисел Рейнольдса для воздушных струй, формирующихся в вертикальных трубах, составляли  $Re_0 = 2,7 \cdot 10^3 \dots 6,9 \cdot 10^3$ , где  $Re_0 = u_0 d / \nu$  ( $\nu$  – кинематическая вязкость воздуха). В центральной части канала был сформирован равномерный поток с числом  $Re_1 \approx 8,5 \cdot 10^4$ , где  $Re_1 = u_1 D / \nu$  ( $D$  – условный диаметр канала, который определялся из равенства площадей поперечного сечения

канала и круглой трубы:  $a \cdot b = \pi D^2 / 4$ . Откуда  $D = \sqrt{(4ab) / \pi} \approx 0,71$  м).

Плотность, кинематическая вязкость струй и сносящего потока принимались одинаковыми (относительная погрешность этих величин для рассматриваемых разностей температур струи и потока не превышала 5%).

Была получена формула для расчета концентрации с газообразных примесей (принимая профили температуры и концентрации подобными), выбрасываемых в атмосферу через трубы. Считаем фоновую концентрацию незначительной.

$$c = A(\bar{x}) \cdot c_0 \cdot \exp \left\{ \frac{-0,7}{\operatorname{tg}^2 \alpha_{0,5}} \left( \frac{\bar{z} - (\bar{z}_0 + \bar{H})}{\bar{x}} \right)^2 \right\} \cdot \exp \left\{ \frac{-0,7}{\operatorname{tg}^2 \beta_{0,5}} \left( \frac{\bar{y}}{\bar{x}} \right)^2 \right\}, \quad (1)$$

где  $A(\bar{x})$  определяется  $\frac{c_m}{c_0} = \frac{1}{\bar{x}^{0,75}}$  при  $\bar{x} < 20$  и  $A(\bar{x}) = 2,1q^{0,3} / \bar{x}$  при  $\bar{x} > 20$  [7];  $c_m$  – концентрация примеси на оси факела;  $c_0$  – концентрация примеси в устье источника;

$\bar{z}_0 = z_0 / d$  – положение осевой линии струи (точки максимальной температуры, концентрации в поперечных сечениях неизотермических струй) выбросов относительно устья источника (см. рис. 1);

$\bar{H} = H / d$  – относительная высота источника выбросов;  $\bar{z} = z / d$  – вертикальная относительная координата, отсчитываемая от поверхности Земли;  $\bar{x} = x / d$ ,  $\bar{y} = y / d$  – продольная и поперечная относительная координата соответственно (см. рис. 1);  $\operatorname{tg} \alpha_{0,5}$ ,  $\operatorname{tg} \beta_{0,5}$  – тангенсы углов, образованных точкой половинной избыточной максимальной температуры (концентрации) и продольной осью  $X$ , в рассматриваемом поперечном сечении струи соответственно в вертикальной  $XZ$  и горизонтальной  $XY$  плоскостях.

$$\bar{z}_0 = q^{0,51} \bar{x}^{0,33}, \quad (2)$$

Далеко от источника ( $\bar{x} > 20$ )  $\operatorname{tg} \alpha_{0,5} \approx 0,10$ ,  $\operatorname{tg} \beta_{0,5} \approx 0,12$  [7].

Вблизи источника ( $0 < \bar{x} < 20$ )  $\operatorname{tg} \alpha_{0,5}$  и  $\operatorname{tg} \beta_{0,5}$  определяются соответственно

$$\operatorname{tg} \alpha_{0,5}^+ = \frac{0,39q^{0,43}}{\bar{x}^{0,75}} \quad \text{и} \quad \operatorname{tg} \alpha_{0,5}^- = \frac{0,54q^{0,28}}{\bar{x}^{0,75}}, \quad (3)$$

где  $\operatorname{tg} \alpha_{0,5}^+$  – выше, и  $\operatorname{tg} \alpha_{0,5}^-$  – ниже оси в поперечных сечениях струи;

$$\operatorname{tg} \beta_{0,5} = \frac{0,29q^{0,86}}{\bar{x}^{0,75}}.$$

Используя математические преобразования можно получить оценочные значения концентраций газообразных примесей и на поверхности Земли ( $\bar{z} = 0$ ), определив предварительно место касания струи. Это будет происходить достаточно далеко от источника, где  $\operatorname{tg} \alpha_{0,5} \approx 0,10$ ,  $\operatorname{tg} \beta_{0,5} \approx 0,12$ . Для конкретного значения  $q$  и относительной высоты трубы  $\bar{H}$  можно найти подъем

(шлейфа) струи ( $\bar{z}_0 + \bar{H}$ ) над поверхностью Земли, определив сначала расстояние  $\bar{x}_0$ , когда

подъем струи над источником будет максимальным, используя (3) для  $\operatorname{tg} \alpha_{0,5}^-$  и приравняв его к 0,1 и далее, подставив в (2).

$$\bar{x}_0 = \left( \frac{0,54q^{0,28}}{0,1} \right)^{4/3}, \quad \text{и} \quad \bar{z}_{\max} = q^{0,51} \bar{x}_0^{0,33}.$$

$$\text{Продифференцировав (1) при } \bar{y} = 0 \text{ и } \bar{z} = 0, \\ \frac{c}{c_0} = \frac{2,1q^{0,3}}{x} \cdot \exp \left\{ \frac{-0,7}{\text{tg}^2 \alpha_{0,5}} \left( \frac{z_{\text{max}} + H}{x} \right)^2 \right\},$$

и, приравняв полученное выражение к нулю, можно определить место касания струи с поверхностью Земли ( $\bar{x}_k$ ) и относительную концентрацию примеси  $\bar{c}_k = c_k / c_0$  в этом месте.

В таблице приведены данные [8] для координаты касания струи  $\bar{x}_k$  и относительной концентрации примеси  $\bar{c}_k$  (после косой черты) в зависимости от относительного динамического напора  $q$  и высоты источника выбросов  $\bar{H}$ .

Таблица

$\bar{H}$ q	5	10	12,5	15	17,5	20
2,0	98/0,016	157/0,01	186/0,0084	216/0,0072	246/0,0064	275/0,0057
3,1	110/0,016	169/0,01	199/0,009	228/0,008	258/0,0069	288/0,006
5,55	133/0,016	192/0,011	221/0,0096	251/0,0085	281/0,0076	310/0,0069

Для сравнения были проведены расчеты по методикам ОНД-86 (пример 1 из приложения 3) [2]. Были взяты следующие условия: высота трубы источника выбросов  $H = 15$  м, диаметр трубы  $D = 1$  м, скорость выхода газовой смеси  $u_0 = 7$  м/с, перегрев газовой смеси  $\Delta T = 100$  К, скорость сносящего воздушного потока  $u_1 = 4$  м/с. Коэффициент, зависящий от температурной стратификации  $A = 200$ . Были получены следующие результаты: расстояние  $x_m = 210$  м от источника выбросов, на котором относительная приземная концентрация при неблагоприятных метеорологических условиях и опасной скорости ветра достигает максимального значения  $cm/c_0 = 4,7 \cdot 10^{-4}$ ; расстояние  $x_{m1} = 249$  м от источника выбросов, на котором при скорости ветра  $u_1$ , отличающейся от опасной скорости ветра и неблагоприятных метеорологических условиях относительная приземная концентрация достигает максимального значения  $cm/c_0 = 4,15 \cdot 10^{-4}$ . Для холодных выбросов ( $\Delta T \approx 0$ ) по ОНД-86  $cm/c_0 = 1,35 \cdot 10^{-3}$ , а  $sm/c_0 = 1,18 \cdot 10^{-3}$ . Это соответствует нашим расчетам при  $\bar{H} = 15$ ,  $q \approx 3,1$ ,  $\bar{c}_k = 0,008$  и  $\bar{x}_k = 228$ , что несколько отличается от полученных результатов по ОНД-86. Однако расчеты по нашим формулам достаточно просты и дают оценку верхней границы с некоторым запасом.

В [9] проведен анализ применимости ряда наиболее известных методик расчета рассеивания вредных примесей в атмосфере в районе КАТЭК. Разброс получился большой как между отдельными методиками, так и с натурными измерениями, в десятки раз.

Разработанная модель позволяет быстро оценить рассеяние газообразных примесей, распространяющихся от низких и средних источников высотой 5...20 м в воздухе и на поверхности Земли для скоростей ветровых потоков 3...10 м/с и скорости выбросов 4...20 м/с.

#### Список литературы:

1. Защита атмосферы от промышленных загрязнений: Справ. изд.: В 2-х ч. Ч.2. Пер. с англ. / Под ред. С. Калверта, Г.М. Инглунда. – М.: Металлургия, 1988. – 712 с.
2. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий (ОНД-86). – Л.: Гидрометеоздат, 1987. – 93 с.
3. Фадеев С.А., Волков Э.П., Гаврилов Е.И., Прохоров В.Б. Исследование подъема дымового факела над устьем газоотводящих труб ТЭС // Теплоэнергетика. – 1984. – №1. – С. 57-59.
4. Егоров С.С., Гаврилов Е.И. Инженерная методика расчета приземных осредненных долгопериодных концентраций выбросов тепловых электростанций // Теплоэнергетика. – 1991. – №4. – С. 66-69.
5. Лейкин И.Н. Проектирование вентиляционных и промышленных выбросов в атмосферу. – М.: Химия, 1970. – 132 с.
6. Рейнольдс А.Дж. Турбулентные течения в инженерных приложениях / Пер. с англ. – М.: Энергия, 1979. – 408 с.
7. Добросельский К.Г. Исследование действия поперечного потока на вдуваемые нормально приподнятые низконапорные струи // Инженерно-физический журнал. – 2012. – Т. 85. – № 6. –

- С. 1285-1291.
8. Добросельский К.Г. Оценка распространения вертикальных газообразных выбросов // Теплоэнергетика. – 2013. – № 10. – С. 75-80.
  9. Волков Э.П., Гаврилов Е.И., Фаткуллин Р.М. Экспериментальная проверка методик расчета рассеивания в атмосфере вредных примесей от высотных источников в районе КАТЭК // Теплоэнергетика. – 1984. – №6. – С.45-48.

### Кинетические параметры низкотемпературной конверсии органических топлив

*А.В. Казаков, К.В. Загидулина*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск  
8virusss2@mail.ru*

Значительная часть используемых в наши дни процессов термической переработки топлив имеет ряд недостатков, связанных с большими затратами энергии для получения горючих газов. Всё это создало необходимость в исследовании и внедрении новых способов проведения этих процессов с использованием катализаторов, различных присадок, которые сдвигают сжигание топлив в область низких температур, где концентрация выхода летучих максимальна. Такие технологии позволят снизить капитальные затраты по созданию энергетических установок, улучшить экологическую обстановку, эффективно использовать низкосортные виды топлив.

Одной из проблем разработки новых технологий по термической переработке топлив является отсутствие теоретической модели оценки формирования выхода летучих веществ при низкотемпературной переработке топлив.

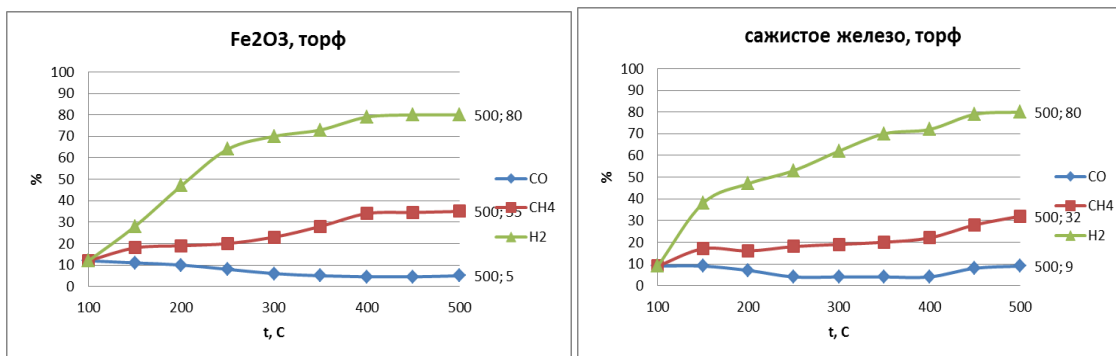
Для ее решения проведены масштабные экспериментальные исследования кафедры парогенераторостроения и парогенераторных установок (ПГС и ПГУ) в НИ ТПУ, где в качестве сырья использовались торф, опилки, бурый уголь Таловского месторождения.

Эксперименты заключались в проведении конверсии топлива при температурах 100-500 °С и определении состава генерируемого газа во всем диапазоне этих температур. Сущность исследований заключалась в составлении шихты и её дальнейшей термической обработке с качественным и количественным анализом получающихся горючих газовых продуктов. Шихта приготавливалась последовательным смешением компонентов с целью определения их влияния на состав образующегося газа [3].

Целью научной работы является создание теоретической модели для оценки формирования выхода летучих веществ при низкотемпературной переработке топлив на базе исходных экспериментальных данных для дальнейшего её использования без необходимости проведения специальных экспериментов.

Критерием эффективности использования катализатора является минимальная температура, при которой концентрация горючих компонентов в генерируемом газе максимальна.

На рисунке 1 представлены графические представления экспериментальных результатов состава газа полукоксования топлива в присутствии цеолита и таких присадок как окислы железа: Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и сажистое железо [1].





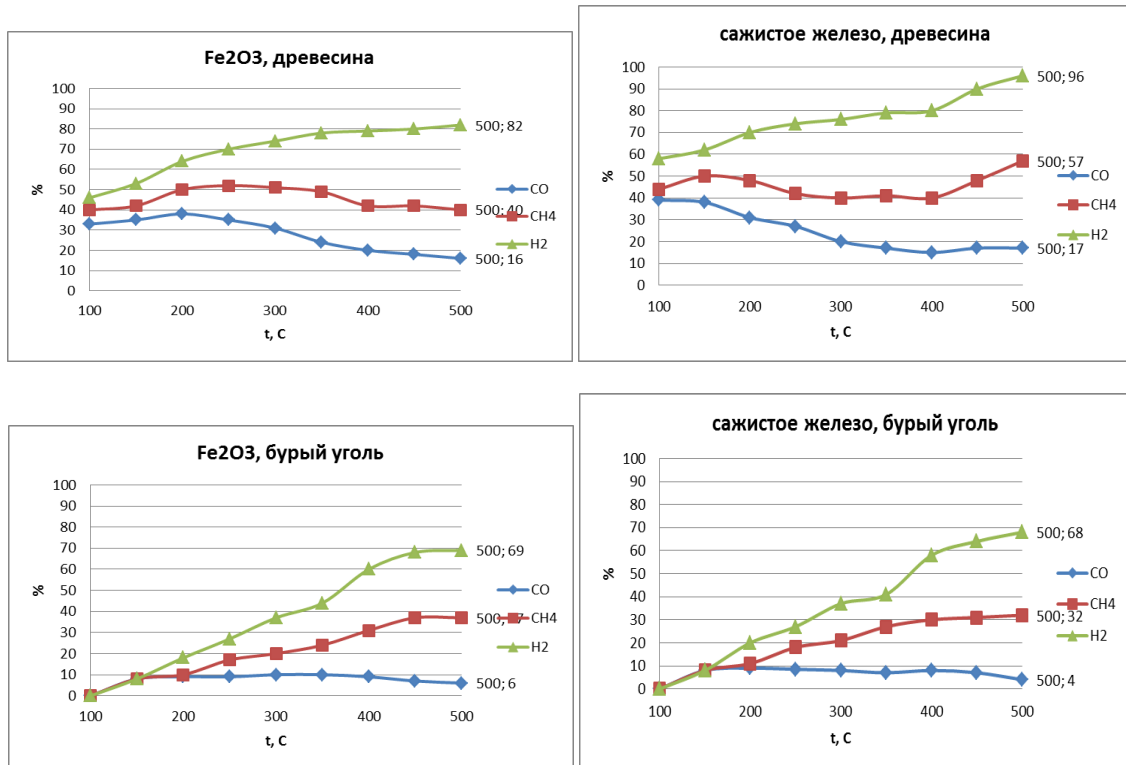
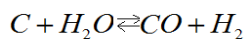
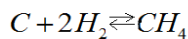
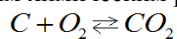


Рис.1 – Состав газа полукоксования топлив в присутствии цеолита и различных присадок в зависимости от температуры переработки [1]

Данные результаты (рис.1) по сравнению с результатами полукоксования топлив без катализатора и присадок [1] позволили сделать вывод о том, что в первом случае концентрация водорода увеличена на 10-50% во всём температурном интервале, а максимум концентрации метана смещён в область низких температур, выход балласта значительно уменьшается.

Образование летучих продуктов в результате пиролиза топлива происходит по следующим основным химическим реакциям:



Исходя из всего выше сказанного, на основе экспериментальных исследований [2], сформирована база исходных данных для расчёта (рис 2.), и рассчитаны константы равновесия основных химических реакций (рис.3), необходимые для расчёта процесса формирования летучих по результатам исследования.

Характеристика на рабочее состояние	Исходное сырье и твердые продукты его переработки		
	Торф	Опилки	Бурый уголь
$W_f, \%$	69,9	28,4	50,7
$A_f, \%$	4,49	0,17	18,2
$V^{daf}, \%$	75,4	61,0	63,1
$Q_i^r, \text{МДж/кг}$	8,1	9,2	8,4
$C_f, \%$	12,5	34,7	20,08
$H_f, \%$	4,11	8,39	2,10
$O_f, \%$	8,5	27,8	8,50
$S_f, \%$	0,1	0,04	0,06
$N_f, \%$	0,40	0,50	0,36

Рис.2 - Характеристики исходного сырья и продуктов его переработки

Также создана теоретическая модель для оценки формирования выхода летучих веществ при низкотемпературной переработки топлив без катализаторов, с целью сравнения полученных результатов с экспериментальными. Полученные все результаты используется для создания теоретической модели состава горючего газа при низкотемпературной конверсии с использованием катализаторов и присадок, согласно экспериментальным данным.

Реакция	Вид топлива	Константа Равновесия $K_y^r$	Уравнения константы равновесия в зависимости от температуры
$C + O_2 \leftrightarrow CO_2$	Древесина	$K_y = \frac{[CO_2]}{[O_2]}$	От 100–150 гр. $K_y = -2 \cdot 10^{-6} \cdot T^3 + 0,0016 \cdot T^2 - 0,4337 \cdot T + 37,904$
			От 200-300 гр. $K_y = -2 \cdot 10^{-6} \cdot T^3 + 0,0016 \cdot T^2 - 0,4337 \cdot T + 40,504$
			От 350 - 450 гр. $K_y = 976271 \cdot e^{-0,043T}$
$C + 2H_2 \leftrightarrow CH_4$		$K_y = \frac{[CH_4]}{[H_2]^2}$	От 100-450 гр. $K_y = -3 \cdot 10^{-9} \cdot T^3 + 3 \cdot 10^{-6} \cdot T^2 - 0,00018 \cdot T + 0,7943$
$C + H_2O = CO + H_2$		$K_y = \frac{[CO] \cdot [H_2]}{[H_2O]}$	От 100-250 гр. $K_y = -0,0038 \cdot T^3 + 2,2224 \cdot T^2 - 432,2 \cdot T + 31846$ От 300-450 гр. $K_y = 15160 \cdot e^{-0,007T}$

Рис.3 - рассчитанные константы равновесия основных химических реакций на примере древесины

#### Список литературы:

1. Казаков А.В., Загорин А.С. Конверсия некондиционных топлив в низкотемпературном режиме : монография. – Томск : СТУ, 2011. – 258 с.
2. Русьянова Н.Д., Максимова Н.Е., Жданов В.С. Химия твёрдого топлива. 1991г.
3. Казаков А.В. Термическая конверсия низкосортных топлив применительно к газогенерирующим установкам/ диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, 2002.

#### Вариант использования кавитационного водоугольного топлива на действующих ТЭС

*И.П. Каменев, Е.Г. Карпов\**

*Новосибирский Государственный Технический Университет, Россия, г.Новосибирск*

*\*ЗАО «КОТЭС», Россия, г.Новосибирск*

*kipice63@gmail.com*

Все отечественные угольные ТЭС сталкиваются и борются с пылением угольного топлива на всех этапах его использования. Наиболее распространённым способом снижения запылённости помещений является аспирация, однако эффективность её далека от предельно возможной из-за низкого качества очистки запылённого воздуха, который с большим содержанием угольной пыли выбрасывается в атмосферу.

При возобновлении строительства Экибастузской ГРЭС-2 с установкой оборудования энергоблока ст. №3 мощностью от 500 до 630 МВт, в корректируемом проекте рассматривается возможность и целесообразность сжигания в котле уловленной системами аспирации угольной пыли, переработанной в кавитационное водоугольное топливо (КавУТ).

Обычная схема аспирации – возврат уловленного на ленту конвейера - увеличивает проблемы эксплуатации топливоподачи, а вариант сбора угольной пыли с организацией пневмотранспорта со всех узлов топливоподачи до топки котла громоздок и опасен.

Но если у каждой группы аспирационных установок организовать узел приготовления водоугольного топлива по кавитационной технологии, состоящий из 3-х небольших ёмкостей, питателя, кавитатора и перекачивающего насоса (Рис. 1), то проблемы хранения этого топлива и способа его доставки к месту потребления просто нет.

Проблема же сжигания КаВУТ решена путём сжигания его в кипящем слое инертного материала. Этот способ известен, в наших разработках применена его двухступенчатая модификация, позволяющая:

- регулировать температуру кипящего слоя;
- увеличить более чем в два раза удельную теплопроизводительность площади кипящего слоя (до 5 Гкал/м<sup>2</sup>).

На огневом стенде ФГУП «Гидротрубопровод» в г. Раменское были проведены эксперименты по совместному сжиганию КаВУТ из угольной пыли и отходов углеобогащения.

Эксперимент позволил конкретизировать технические параметры системы сжигания КаВУТ в угольном котле большой мощности. Котёл для этого предполагается дооснастить выносными предтопками кипящего слоя (Рис.2).

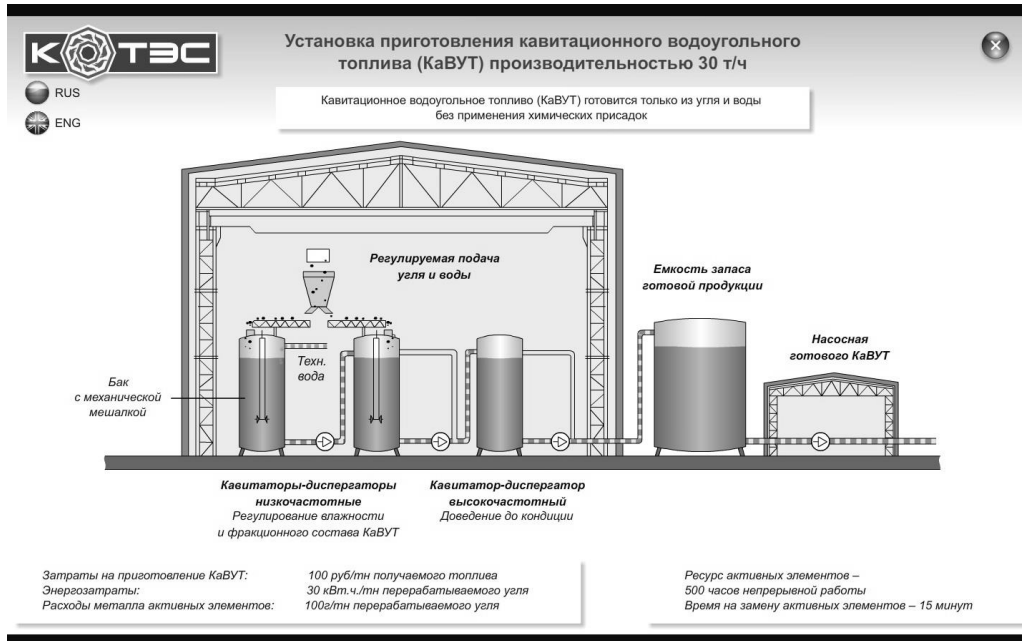


Рис. 1. Схема узла приготовления КаВУТ

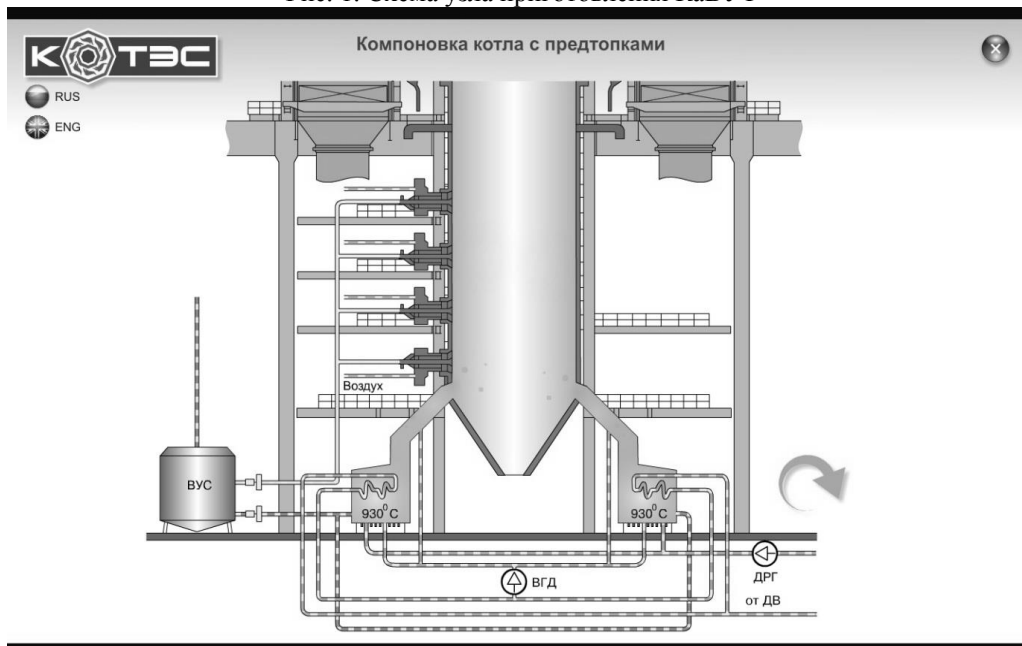


Рис. 2. Компоновка котла с предтопками

Мощность таких горелочных устройств определяется количествами сжигаемого топлива. Отработаны конструкции предтопок в диапазоне производительности от 0,5 до 30 Гкал/час. Предварительные расчёты экономической эффективности показали, что предлагаемая технология сжигания уловленной угольной пыли окупается за 2-3 года. К.П.Д. электростанции (4 энергоблока по 500 МВт) увеличится почти на 0,1%.

Но проведенная серия огневых экспериментов выявила ещё ряд положительных сторон использования КаВУТ, об одной из которых можно говорить уже сейчас:

Оптимальная температура в топках котлов выбирается с учётом теплофизических характеристик конкретного угля с целью обеспечения стабильного горения в широком диапазоне производительности котла при минимальном удельном объёме топки и предельной полноты выгорания топлива. В камерных топках при факельном сжигании угольной пыли эта температура находится в диапазоне:

- при сжигании бурых углей: 900 – 1100 оС;
- при сжигании каменных углей: 1150 – 1300 оС.

Указанные температуры находятся очень близко к температурам размягчения минеральной части соответствующих углей и эта близость проявляется в шлаковании трубных поверхностей топок котлов.

Предлагаемый комбинированный способ сжигания угля с использованием водоугольного топлива на первом этапе и угольной пыли на втором позволяет обеспечить стабильную работу топки в широком диапазоне нагрузок при поддержании температур в зоне воспламенения и дожигания топлива существенно ниже температур размягчения минеральной части топлива. Для каменных углей, в том числе марок «Д», «СС» и антрацита эта температура находится в пределах 950 – 1150 оС при температурах размягчения золы - 1250 – 1350 оС.

Водоугольное топливо при этом подаётся в кипящий слой предтопка, где воспламеняется и частично сгорает при недостатке кислорода, что обеспечивается регулированием соотношения количеств воздуха и дымовых газов, подаваемых под слой с поддержанием температуры в слое в диапазоне 920 – 970 оС.

На втором этапе, за счёт подачи вторичного воздуха и дожигания топлива, поступающего из предтопка в топочное пространство, температура факела возрастает до 1050 – 1100 оС. Горящими продуктами факела из предтопка легко поджигается угольная пыль, поступающая в топку котла через основные горелки. «Легко» - имеется в виду при достаточно низкой температуре – 1100 оС и дальнейшее течение процесса регулируется при температуре не выше 1150оС.

При незначительных объемах реконструкции действующих котлов, что очень важно для их владельцев, обеспечивается возможность:

1. Использования отходов углеобогащения (шламов, кеков, отсевов), перерабатывая их перед сжиганием в КаВУТ;
2. Совместного сжигания в топках котлов каменных и бурых углей;
3. Эффективного сжигания в котлах уловленной системами аспирации угольной пыли, осадка гидросмыва, а также, при желании бороться с пылением и ветроуносом на угольных складах, отсортированной угольной мелочи также переработанных в КаВУТ;
4. Исключения подсветки факела пылеугольных горелок мазутом или газом, при расширении диапазона устойчивого горения;
5. Проработать вариант безмазутной растопки угольных котлов;
6. Доведения уровня образования и выбросов оксидов азота до нормативного без каких-либо дополнительных специальных мер;
7. Существенного снижения шлакования трубных поверхностей топок котлов.

#### Список литературы:

1. Карпов Е.Г., Парубец А.А. // Отчетные материалы по проведению стендовых огневых испытаний двухступенчатого сжигания водоугольного топлива с газификацией в низкотемпературном кипящем слое в комбинации с факельным сжиганием с целью последующего использования технологии на энергетических и водогрейных котлах. – Новосибирск, 2012. – 54 с.

**Возможность повышения эффективности теплоэнергетических установок с  
конденсационными котлами**

*Цынаева А. А., Каменева В. Ю., Ратникова Л. Ф.*

*Самарский государственный архитектурно – строительный университет, Россия, г. Самара  
lida081093@yandex.ru*

Постоянный рост цен на энергоресурсы на мировом рынке влечет за собой необходимость более эффективного использования топлива. В настоящее время величина выработанной энергии определяет благосостояние не только отдельных предприятий, отраслей промышленности, но и величину валового национального продукта страны. Именно поэтому энергетика является одной из определяющих отраслей. Так как большинство энергетических установок, вырабатывающих тепловую энергию, работают за счет химической энергии окисления топлива, то повышение коэффициента использования топлива является актуальной, практически значимой задачей [1,2].

Величина коэффициента использования топлива во многом определяется теплотехническим совершенством котельных установок, определяемым величиной соотношения полезно используемой энергии и тепловых потерь. Тепловой баланс котельной установки, отнесенный к 1 кг сжигаемого топлива, выражается следующим образом:

$$Q_c^n = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 \quad (1)$$

где  $Q_c^n$  - низшая теплота сгорания топлива (тепло, внесенное в котельный агрегат 1 кг сжигаемого топлива);  $Q_1$  – полезная использованная теплота, расходуемая на нагрев воды, кДж/кг;  $Q_2$  – потери тепла с уходящими из котла газами, кДж/кг;  $Q_3$  – потери тепла от химической неполноты сгорания топлива, т.е. несгоревших горючих газов, кДж/кг;  $Q_4$  – потери тепла от механической неполноты сгорания топлива, т.е. несгоревших горючих газов, кДж/кг;  $Q_5$  – потери тепла всеми элементами котельного агрегата в окружающую среду, кДж/кг;  $Q_6$  – потери теплоты с физическим теплом шлаков, кДж/кг.

При рассмотрении структуры теплового баланса котельной установки (1), можно сделать вывод, что наибольшая величина тепловых потерь приходится на потери тепла с уходящими газами. Это связано с тем, что для современных котельных установок температура уходящих дымовых газов составляет 120...130оС (при сжигании природного газа). На большинстве тепловых станций более 40% тепла сжигаемого топлива выбрасывается в окружающую среду [1,2].

При сгорании углеводородного топлива часть тепла сжигаемого топлива теряется за счет удаления с дымовыми газами водяных паров, образованных в процессе окисления водорода. При этом не сконденсировавшийся пар, удаляемый с дымовыми газами, уносит скрытую энергию парообразования, которая может быть полезно использована. Скрытая теплота парообразования (конденсации) переводится в полезное тепло при реализации глубокого охлаждения дымовых газов до температуры точки росы, например, в конденсационных котлах [7]. Особенность конденсационных котлов заключается в том, что они работают на природном и сжиженном газе (резервное топливо). Отказ от твердого и жидкого топлива обусловлен тем, что в продуктах сгорания данных топлив содержатся окислы и оксиды серы. Наличие этих соединений при глубоком охлаждении дымовых газов приведет к образованию сернистой и серной кислот и, следовательно, к разрушению поверхностей конденсационных котлов. Принципиальная схема конденсационного котла показана на рис. 1. В состав конденсационных котлов входят следующие основные элементы: горелка, камера сгорания, вентилятор подачи воздуха, система подачи топлива, первичный теплообменник, конденсационный теплообменник, дымоход. При использовании резервного топлива для работы конденсационного котла в расчетном режиме [3] требуется установка вентилятора с регулятором числа оборотов для поддержания оптимального значения коэффициента избытка воздуха в камере сгорания. Для работы конденсационного котла в режиме конденсации влаги из дымовых газов требуется поддерживать температуру дымовых газов на выходе ниже точки росы (порядка 50...60оС) [4]. Если в процессе эксплуатации это условие не выполняется, то КПД конденсационного котла уменьшается. Однако будет несколько выше (на 4-5%), чем для традиционного котла, работающего без конденсации водяных паров, что связано с возможностью постоянного регулирования коэффициента избытка воздуха при использовании

вентилятора с регулируемым приводом [5] и наличием хвостовых поверхностей теплообмена [3]. КПД конденсационного котла тем выше, чем ниже температурный режим системы отопления. В этой связи, наибольшая эффективность конденсационного котла достигается в переходные периоды (осенний, весенний период) или при работе на отопительную систему с водяным теплым полом (с температурой воды в подающей магистрали порядка  $+40\dots 50^{\circ}\text{C}$ ). Однако основным условием эффективной работы с системой отопления здания является достаточно большая инерционность системы [6].

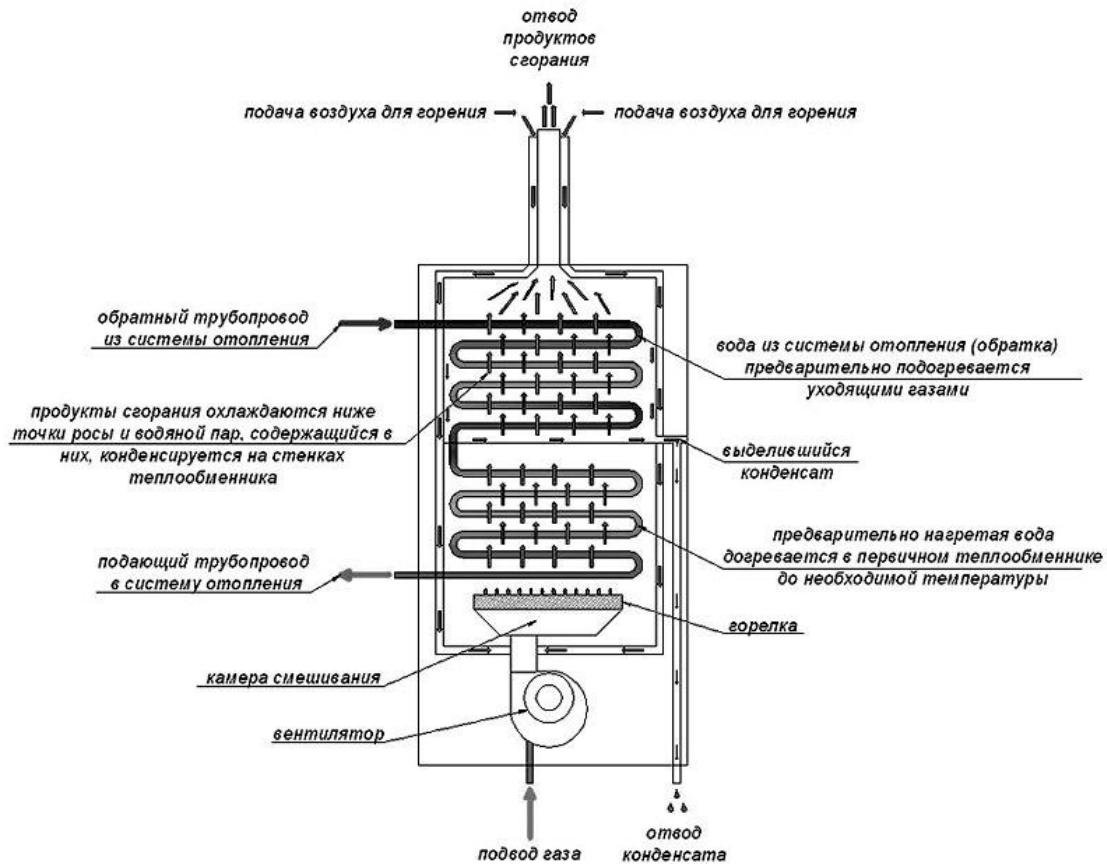


Рис. 1. Принципиальная схема конденсационного котла

К недостаткам конденсационных котлов можно отнести следующие:

- а) выпадение конденсата из дымовых газов на поверхности дымовой трубы;
- б) возможность обмерзания дымовой трубы (в особенности коаксиальных дымовых труб) при работе в условиях низких температур наружного воздуха;
- в) разрушение под действием коррозионно-активных соединений поверхностей котла и дымовой трубы.

Для предотвращения указанных выше негативных особенностей и повышения эффективности работы конденсатных котлов в системах отопления возможно применение следующих конструктивных решений:

- а) реализация постоянного регулирования коэффициента избытка воздуха при использовании вентилятора с регулируемым приводом [5];
- б) дополнительный обогрев оголовка дымовой трубы;
- в) реализация возможно более полной конденсации водяных паров из дымовых газов;
- г) выполнение поверхностей из коррозионно-стойких материалов;
- д) реализация динамического регулирования систем отопления при работе от конденсационных котлов.

При установке вентилятора с регулируемым приводом увеличивается скорость подачи дымовых газов, при этом увеличивается их расход, за счет чего процесс прохождения дымовых газов через теплообменник проходит наиболее полно и эффективно.

Обогревая оголовок дымовой трубы, уменьшается выпадение конденсата на ее поверхности, что не приводит к обмерзанию дымовой трубы. Эти мероприятия снижают возможность ее разрушения.

Увеличивая поверхность теплообменника, выполняя его в виде свернутой в спираль трубы, происходит более полное выпадение конденсата водяных паров из дымовых газов.

Долговечность службы конденсационного котла во многом зависит от материалов, из которых он выполнен, так как конденсат содержит кислоты и окислы, которые разрушают поверхности котла. Для устранения этого недостатка возможно использование коррозионно - и кислотостойких материалов, например, таких как нержавеющая сталь и ее сплавы (силумин).

Динамическое регулирование систем отопления при работе от конденсационных котлов позволяет наиболее эффективно использовать энергетический потенциал конденсационного котла.

Для выбора методов оптимизации конденсационных котлов и систем отопления на их основе планируется проведение дополнительных исследований на основе математического моделирования и экспериментально-теоретического исследования таких систем и установок.

#### Список литературы:

1. Лекция академика Леонтьева А. И. // Современная энергетика и ее перспективы. Ч. 1. Электронный источник. <http://rutv.ru/brand/show/episode/156445/viewtype/tag>
2. Лекция академика Леонтьева А. И. // Современная энергетика и ее перспективы. Ч. 2. Электронный источник. [http://tvkultura.ru/video/show/brand\\_id/20898/episode\\_id/156444/video\\_id/156444](http://tvkultura.ru/video/show/brand_id/20898/episode_id/156444/video_id/156444)
3. Зыков А. К. Паровые и водогрейные котлы: Справочное пособие/
4. Зыков А. К. // М.: Энергоатомиздат, 1987. – 128 с.
5. Кудинов А. А. Энергосбережение в теплогенерирующих установках. – У.: УлГТУ, 2000. –139 с.
6. Дилигенский, Н.В. Комплексный анализ режимов работы основного оборудования генерирующих предприятий и расходов электрической энергии на собственные нужды/ Н. В. Дилигенский, А. А. Гаврилова, А. Г. Салов, В. К. Гаврилов// Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. 2008. № 2 (22). С. 186-195.
7. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: Учебник для вузов. – 9-е изд., – М.: Издательство МЭИ, 2010. – 472 с.
8. <http://www.odoms.ru/otoplenie/230-kondensacionnyi-kotel.html>

#### Теплообмен в системе «капля расплава – подложка»

*Колесникова Е.А., Немова Т.Н.*

*Томский архитектурно-строительный университет, Россия, г. Томск  
tatyana.nemova.0702@yandex.ru*

В практике работы различного рода теплоэнергетических установок существенную роль имеет оценка тепловых потерь, возникающих при осаждении на поверхности нагретых или расплавленных частиц металлов, что существенно влияет на эффективность работы установок. В большинстве работ, посвященных моделированию процессов, протекающих при нанесении капли на подложку, основное внимание уделяется капле. Совместное температурное поле и фазовые переходы системы «капля - подложка» исследованы недостаточно.

Экспериментально было показано [1], что для возникновения адгезии в системе «капля-подложка» необходимым условием является проплавление подложки под сплэтом. Для обеспечения качественной адгезии глубина проплавления подложки, зависящая от теплофизических свойств материалов, должна быть оптимальной.

В настоящей работе приведены результаты расчетов температурных полей и динамики движения границы между жидкой и твердой фазами как в сплэте, так и в подложке. Расчеты проводились с использованием метода выравнивания температур малых соседних областей [1]. Для оценки достоверности полученных результатов проведены экспериментальные исследования по осаждению на подложку капель расплавленного металла с последующим качественным и количественным анализом состава материала в зоне контакта капли с подложкой.

При расчетах температурных полей и фазовых границ гидродинамическая составляющая процесса не учитывалась. Момент образования сплэта на подложке принимался за начало процесса теплообмена. Теплофизические параметры считались постоянными величинами, а граничные

условия на поверхности сплэта и подложки - адиабатическими. Расчет трехмерного температурного поля системы капля-подложка аналогичен расчету температурного поля шара [1].

Приращение температуры единичного кубического объема соответствует поступившему в единичный объем количеству теплоты. После достижения этим объемом температуры плавления в каждый следующий рассчитываемый единичный интервал времени находилась разница между величиной приращения температуры над температурой плавления  $T - T_m$  и сравнивалась с величиной приращения температуры, эквивалентной теплоте плавления единичного объема  $T_i - T_m$ . На рис. 1а, б приведены зависимости изменения единичного кубического объема во времени при плавлении и кристаллизации. Если  $T - T_m \geq T_i - T_m$ , то единичный объем считался расплавленным, а величина  $(T_i - T_m) - (T - T_m)$  добавлялась к температуре данного расплавленного единичного объема (рис. 1а). Если  $(T - T_m) < (T_i - T_m)$ , то единичный объем считался нерасплавленным, величины  $(T - T_m) - (T_i - T_m)$  складывались и сохранялись до тех пор, пока не будет выполняться условие  $T - T_m \geq T_i - T_m$ . Процесс кристаллизации единичных объемов в единичный интервал времени рассчитывался аналогично (рис. 1б). Энергия, затрачиваемая при увеличении (уменьшении) температуры единичного объема на величину  $\Delta T$ , соответствует количеству теплоты плавления (кристаллизации), необходимого для плавления (кристаллизации) этого объема.

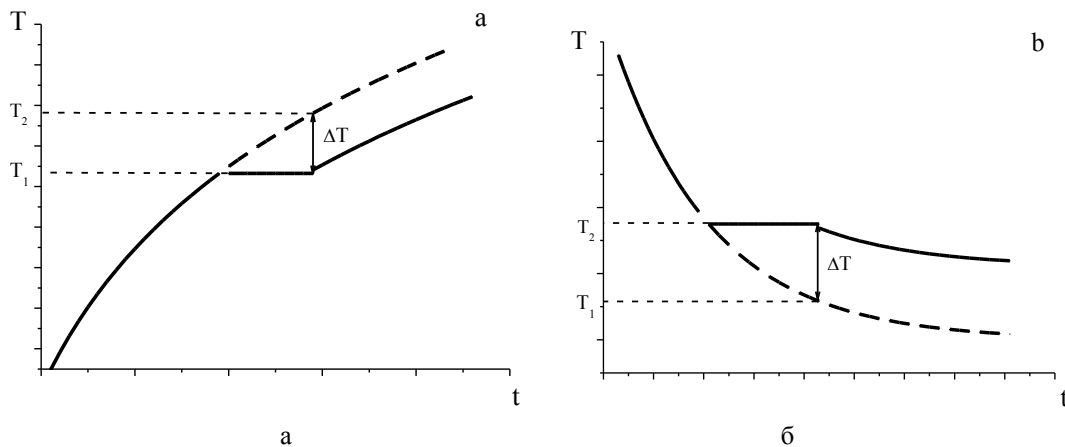


Рис.1. Изменение температуры единичного кубического объема от времени:

а – при плавлении, где  $T_1$  - температура плавления,  $T_2$  - температура нагрева единичного объема при отсутствии плавления;

б – при кристаллизации, где  $T_2$  - температура кристаллизации,  $T_1$  - температура охлаждения единичного объема при отсутствии кристаллизации.

Расчет проводился для стальной подложки и сплэта из этого же материала. За форму капли принимали полусферу радиусом 10-3 м. Для стали, в отличие от других материалов, значения теплопроводности твердой и жидкой фазы отличаются не более, чем на 5%, что позволяет считать их равными. Принималось, что тепло с поверхности упавшей капли отводилось только в материал подложки.

На рис. 2 представлены полученные зависимости температур сплэта и подложки от времени. На рис. 3 показано положение границы между жидкой и твердой фазами по оси симметрии системы «капля-подложка» от времени.

Температура верхней точки капли от момента падения, соответствующая в начальный момент 3300 К, существенно уменьшается со временем и при 0.125 с достигает значения температуры кристаллизации расплава. Температура слоя 10-4 м подложки в центре симметрии капли уже спустя 0.025 с после осаждения капли расплава на подложку практически достигает



температуры плавления подложки и сохраняет эту величину до 0,05 с. Далее температуры капли и подложки снижаются.

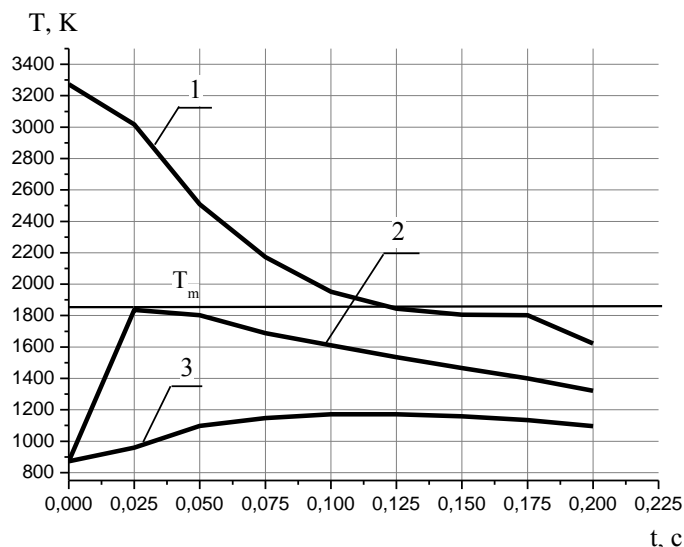


Рис.2. Зависимости температуры частицы  $T_{(d)}$  и подложки  $T_{(s)}$  от времени после нанесения капли на подложку.

1 – верхняя точка капли; 2 – первый слой подложки на глубине 10-4 м; 3 – 10-й слой подложки на глубине 10-3 м.  $T_m$  - температура плавления стали.

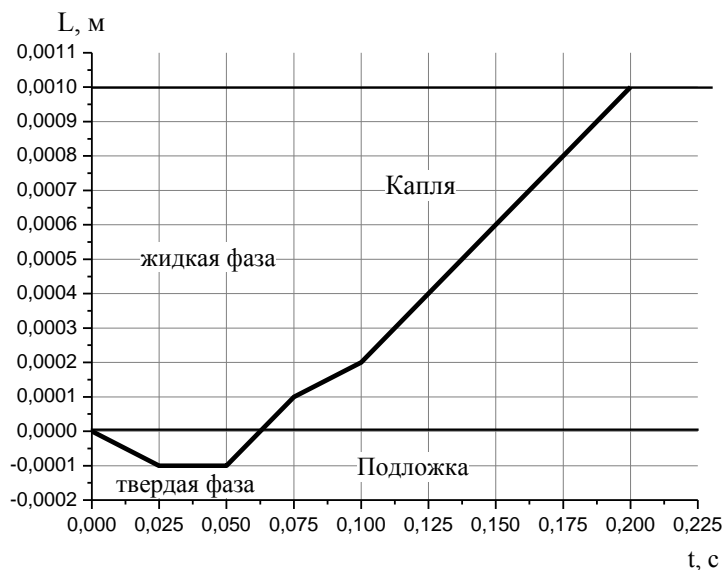


Рис.3. Положение границы между жидкой и твердой фазами системы «капля – подложка» в зависимости от времени.

Таким образом, по оси симметрии капли глубина проплавления подложки составляет 10-4 м. Кроме того, установлено (рис. 3) временное перемещение границы раздела твердой и жидкой фаз.

Исследование морфологии поверхности капель расплава меди, осажденных на подложку из оцинкованного железа, было проведено с использованием растрового электронного микроскопа Philips SEM 515. Химический состав фазовых составляющих определялся методом локального микрорентгеноспектрального анализа (МРСА) на энергодисперсионном спектрометре. На рис. 4 приведены фотография поверхности контакта капли расплава с подложкой (а) и часть снимка этой

же поверхности (b), сделанная с помощью электронного микроскопа. Капля расплава после осаждения на подложку отделялась от последней со значительным механическим усилием. Видно, что даже при небольших скоростях осаждения капля имеет лучеобразную форму. Край капли представляет собой кольцо из затвердевшей меди, внутренняя поверхность в центре характеризуется пористой структурой. От центра к краю отмечаются некие конгломераты, выделяющиеся окраской, близкой к цветам побежалости. Рядом с кольцом из меди отмечается характерное для побежалости цветное кольцо.

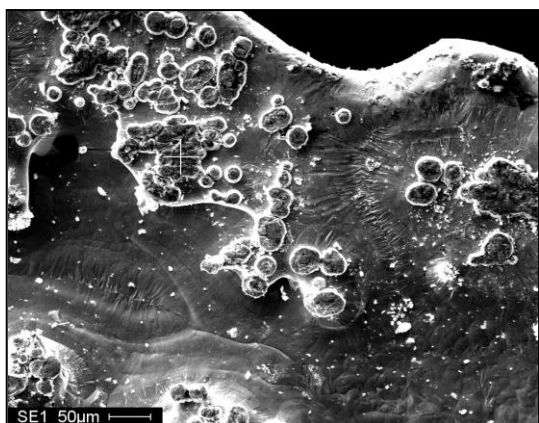
Была проведена оценка площади поверхности капли, контактировавшей с подложкой, которая составляет 50-60 % от общей площади капли, что согласуется с известными данными, согласно которым при такой величине контактной площади адгезия капли на поверхность подложки хорошая.

Химический состав фазовых составляющих показал, что вблизи кромки капли (рис. 4 б, отмеченная область) содержание меди и цинка в зависимости от области исследования составляет соответственно 29...90% и 2...45% (без учета кислородной составляющей). При этом содержание меди в темных областях наибольшее, а светлые конгломераты соответствуют большему содержанию цинка. При переходе к центру капли (светлая зона рис. 4 б) отмечается, что состав всех исследованных областей поверхности практически одинаков: 40 % меди и 60 % цинка.



Рис. 4. Фотография поверхности контакта капли расплава с подложкой (a) и снимок поверхности (b), сделанный с помощью электронного микроскопа.

Увеличение разрешения (рис. 5) позволило выделить структуры и определить состав фазовых составляющих в области, отмеченной на рис. 4 а. Отчетливо видны конгломераты, ограниченные светлыми линиями, содержащие до 90 % цинка. В областях же, имеющих равномерную темную окраску, содержание меди составляет 97%.



Таким образом, при осаждении на подложку капли расплава меди происходит плавление поверхностного слоя подложки с дальнейшим затвердеванием расплавленных компонентов. При этом образования латуни не наблюдается, так как не реализуются необходимые для этого условия.

Рис. 5. Фазовые составляющие вблизи кромки капли.

Аналогичные результаты были получены при исследовании фазовых составляющих при осаждении капель олова на подложку из свинца. Выделены переходные области, характеризующиеся наличием обоих компонентов. Приведены количественные данные по составляющим.

Полученные в настоящей работе результаты могут быть полезны при оценке тепловых потерь, возникающих при осаждении на технологические поверхности нагретых или

расплавленных частиц металлов, что позволяет повысить эффективность работы теплоэнергетических установок.

#### Список литературы:

1. Немова Т.Н., Колесникова Е.А. Определение температуры в зоне контакта капли расплава с подложкой // Фундаментальные и прикладные проблемы современной механики: Сборник материалов научной конференции. Томск: Томский государственный университет, 2011. – С. 483-484.

#### Повышение энергетической эффективности системы теплоснабжения от водогрейной котельной

*Королёв П.В., Васильев С.В.\**

*Текстильный институт Ивановского государственного политехнического университета,  
\*Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина, Россия, г.*

*Иваново*

*vedunkp@rambler.ru*

В условиях быстрого роста цен на органическое топливо энергосбережение во всех отраслях промышленности является важнейшим фактором снижения себестоимости производства продукции и повышения её конкурентной способности. Основными направлениями энергосбережения являются:

- использование низкопотенциальной энергии промышленных предприятий;
- создание простых и надёжных энергетических установок для производства тепловой и электрической энергии, работающих на местных видах топлива;
- повышение коэффициента использования теплоты топлива на энергетических установках.

Реализацию данной программы в уже существующих котельных можно добиться: установкой котла-утилизатора за основными водогрейными котлами и переводом котельной в режим когенерации.

Основным резервом повышения экономичности котельных установок является использование теплоты конденсации паров, содержащихся в уходящих газах. В первую очередь это относится к котельным обслуживающим системы отопления и горячего водоснабжения (ГВС). Для создания конденсационного режима работы водогрейного котла (режима конденсации паров из дымовых газов) необходимо, чтобы поверхности теплообмена, с которыми контактируют уходящие газы, имели температуру ниже точки росы. Если в котельной предусмотрен контур ГВС, то обеспечить такой режим работы котла можно, за счет подачи в конденсационный утилизатор (КУ) тепловой энергии воды из системы холодного водоснабжения [1].

Возможность применения данной схемы рассмотрена на примере водогрейной котельной в г. Пошехонье Ярославской области. Котельная оборудована водогрейными котлами REX 350 (ICI Caldaie). Максимальный КПД действующей системы равен 93% при температуре наружного воздуха (-31)°С. Установка котла-утилизатора приведёт к увеличению максимального КПД до 102,58 %, что связано с реализацией конденсационного режима. Срок окупаемости проекта составляет 5 лет.

Существующие котельные вырабатывают значительное количество излишков тепла, т.к. резко сокращается его потребление в теплое время года.

Наличие морозной погоды в целом не превышает двух месяцев в году для средней полосы России. Поэтому, значительное потребление тепловой энергии производится не более 2-х месяцев в году (коэффициент потребления = 1). В среднем, около половины производимой тепловой энергии потребляется в остальные 6 месяцев отопительного сезона (коэффициент потребления = 0,5). В оставшиеся 4 месяца потребление тепловой энергии практически прекращается (коэффициент потребления = 0) [2].

Таким образом, значительное количество времени существенное количество производимой тепловой энергии не используется. Наиболее распространённым решением на сегодняшний день для водогрейных котельных являются два варианта перевода в когенерационный режим: с использованием газопоршневой и газотурбинной установок.

Газотурбинная установка состоит из двух основных частей: силовая турбина и генератор, которые размещаются в одном корпусе. Воздушный компрессор сжимает атмосферный воздух,

повышая его давление, и непрерывно подает его в камеру сгорания. Туда же непрерывно подается необходимое количество жидкого или газообразного топлива. Образующиеся в камере продукты сгорания выходят из нее с температурой 900-1200°C. Пройдя все ступени газовой турбины, отработавшие газы направляются в котел-утилизатор для выработки тепловой энергии. Рабочие лопатки передают крутящий момент на ротор турбины, который жестко соединен с валом генератора через понижающий редуктор. Использование тепла посредством теплообменника или котла-утилизатора обеспечивает увеличение общего КПД установки.

В основе работы газопоршневой установки лежит принцип двигателя внутреннего сгорания, в котором химическая энергия топлива преобразовывается в механическую работу.

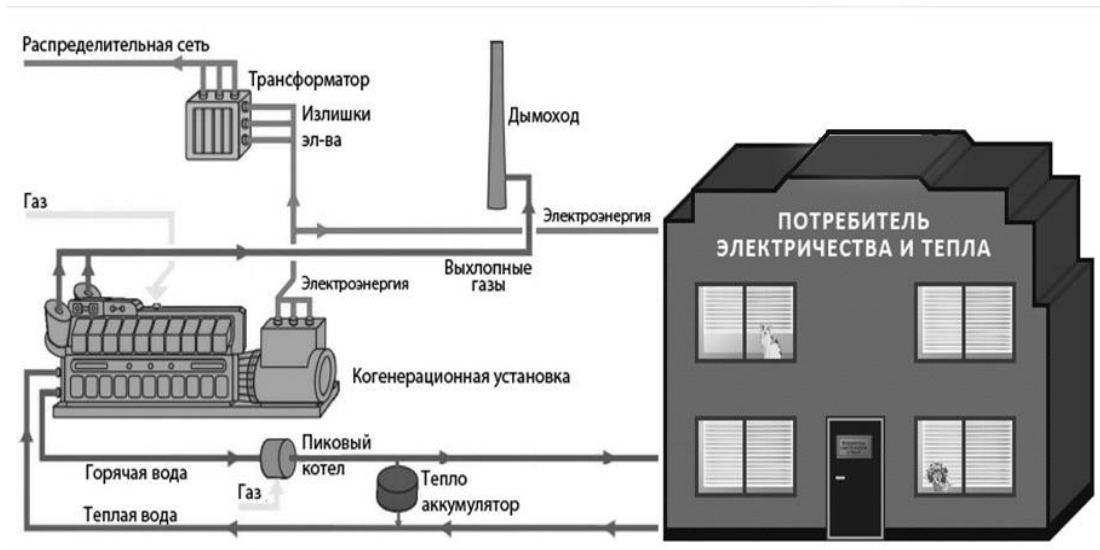


Рис. 1. Энергоснабжение от когенерационной установки

В настоящее время предлагается технология утилизации излишков выработанного тепла на основе применения дополнительного бутанового контура (турбины) с генератором, как основного или резервного (для собственных нужд и особо важных потребителей) источника электрической энергии [3]. При этом бутановый контур не требует дополнительного сжигания топлива, а использует уже выработанное тепло (пар, горячую воду) при температуре до 120 °С. Его преимуществом является независимость от источника тепла, т.е. его можно интегрировать с водогрейным котлом независимо от параметров котла и его тепловой мощности.



Рис. 2. Принципиальная тепловая схема бутанового контура

Сравнительный анализ представленного технологического решения относительно стандартного перевода котельной в режим когенерации на примере водогрейной котельной города Пошехонье представлен в табл.1.

Таблица 1 – Относительные экономические показатели установки на бутановом контуре

№	Показатели	Когенерация	Бутановый контур
1.	Срок окупаемости, мес.	23	20
2.	Денежные поступления, млн.руб.	7,98 (при увеличении мощности на 20%)	6,99
3.	Внутренняя норма доходности	0,69	0,81

#### Список литературы:

1. Бухаркин Е.Н. О технико-экономической целесообразности применения конденсационных теплоутилизаторов в водогрейных котельных / Промышленная энергетика. 1995, № 6. С. 24-27.
2. Репин Л.А., Тарасов Д.Н., Макеева А.В. Возможности производства электроэнергии в водогрейных котельных // Новости теплоснабжения. 2008, №9.
3. Долинский А.А., Басок Б.И., Коломейко Д.А. Эффективность когенерационных тепловых схем // Наукові праці, том 61, выпуск 48.

#### Влияние геометрии лопаток осевой гидротурбины пропеллерного типа на выходную мощность МИКРОГЭС

*Кузьмин Р.В.*

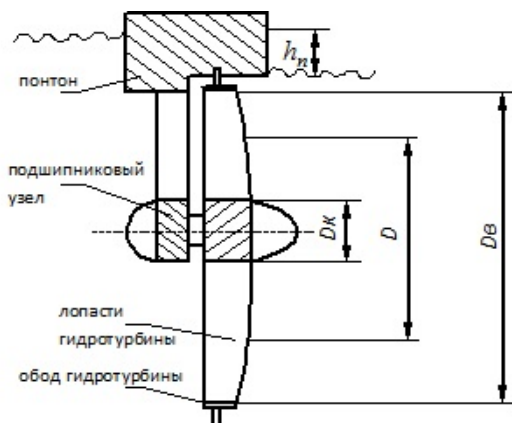
*Комсомольский – на – Амуре Государственный технический Университет, Россия, г.*

*Комсомольск – на – Амуре*

[kem@knastu.ru](mailto:kem@knastu.ru)

Подключение удаленных потребителей к центральным энергосистемам, в большинстве случаев связано с огромными материальными вложениями и зачастую экономически нецелесообразно. Их энергоснабжение в основном организовано на базе автономных дизельгенераторов и котельных небольшой мощности. Альтернативой дизель-генераторным установкам могут служить системы, использующие энергию возобновляемых природных источников. Примером таких систем являются установки использующие энергию потоков воды и ветра.

Одной из самых эффективных с энергетической точки зрения является микроГЭС, построенная на основе осевой гидротурбины пропеллерного типа. Подобные установки позволяют добиться наибольшей быстроходности рабочего колеса гидротурбины, что приводит к увеличению мощности гидротурбины и позволяет создавать безредукторные варианты микрогидроэлектростанций. Это обстоятельство определяет приоритет использования осевых пропеллерных гидротурбин в условиях низкопотенциальных водных потоков и при малых диаметрах гидроколес [1].



Для простоты конструкции гидротурбина не имеет направляющего аппарата. Расположение гидротурбины в реке с небольшой скоростью течения показано на рисунке 1.

Рис. 1. – Осевая турбина в низкопотенциальном потоке

Глубина погружения понтона  $h_{П}$  рассматривается, как некоторая плотина, дающая положительный перепад энергии.

Для определения основных характеристик потока и гидротурбины составлена векторная диаграмма скоростей течения потока через гидротурбину,

представленная на рисунке 2. Поток входит в рабочее колесо гидротурбины со скоростью  $C_1$ , натекает на лопатки в относительном движении со скоростью  $W_1$ . Угол установки лопаток на входе –  $\beta_1$ . В рабочем колесе поток разворачивается в относительном движении под углом  $\beta_2$  и со скоростью  $W_2$ , а в абсолютном движении под углом  $\alpha_2$  и со скоростью  $C_2$ .

Работа, совершенная в колесе потоком, характеризуется проекцией вектора скорости потока на выходе в окружном направлении  $C_{2a}$ . В осевом направлении поток выходит с той же скоростью, что и входит, то есть  $C_{2a}=C_1$ .

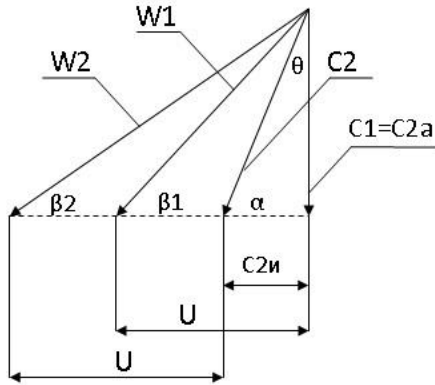


Рис. 2. – Треугольники скоростей на среднем диаметре

Поток входит в рабочее колесо гидротурбины со скоростью  $C_1$ , натекает на лопатки в относительном движении со скоростью  $W_1$ . Угол установки лопаток на входе –  $\beta_1$ . В рабочем колесе поток разворачивается в относительном движении под углом  $\beta_2$  и со скоростью  $W_2$ , а в абсолютном движении под углом  $\alpha_2$  и со скоростью  $C_2$ .

Работа, совершенная в колесе потоком, характеризуется проекцией вектора скорости потока на выходе в окружном направлении  $C_{2a}$ . В осевом направлении поток выходит с той же скоростью, что и

входит, то есть  $C_{2a}=C_1$ .

Параметры потока и гидротурбины рассчитываются с помощью созданной системы алгебраических уравнений [2]. На основе исходных данных: скорости и плотности потока, диаметра гидротурбины, числа и угла установки лопаток определяется полная энергия потока через гидротурбину и ее мощность.

На рисунке 2 представлена зависимость мощности осевой гидротурбины пропеллерного типа от угла установки лопаток. Зависимость приведена для диаметра лопостей 0.4 м., числа лопостей 3 и скорости течения потока 3 м/с.

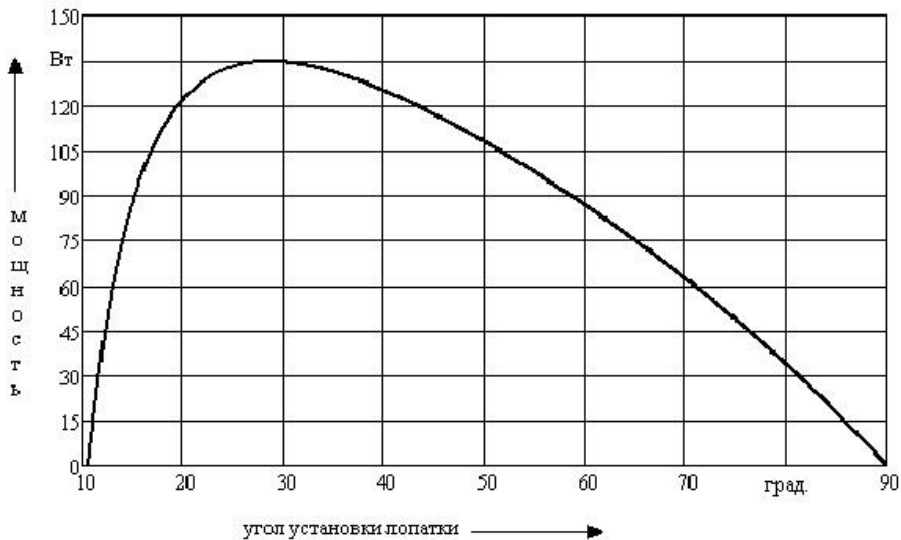


Рис. 3. – Зависимость мощности гидротурбины от угла установки лопаток

#### Список литературы:

1. Лукутин Б.В., Сипайлов Г.А. Использование механической энергии возобновляемых природных источников для электроснабжения автономных потребителей. – М.: Итиль, 1987. – 136 с.
2. Кузьмин Р.В., Кузьмина О.А. Исследование зависимости мощности бесплотинной микроГЭС от диаметра рабочего колеса и скорости потока // Материалы ВНИК "Актуальные проблемы управления техническими, информационными, социально-экономическими и транспортными системами", г. Санкт-Петербург, СЗТУ, 2007. – С.96-103.

**Использование избыточной энергии давления природного газа на небольших газораспределительных станциях**

*Кулагина О.В., Гатауллина А.Р., Молчанова Р.А.*

*Уфимский государственный нефтяной технический университет, Россия, г. Уфа  
kylaginaolga@mail.ru*

При поступлении природного газа из магистральных трубопроводов в распределительную систему газопроводов городов и крупных промышленных предприятий осуществляется понижение его давления на газораспределительных станциях (ГРС). Снижение давления газа происходит в редуционных клапанах и является прямой потерей потенциальной энергии потока.

При использовании турбодетандеров в результате адиабатного расширения потока газа с отдачей работы значительно понижается температура газа. При понижении давления газа с 1,2 до 0,3 МПа температура его снижается на 50–60 °С (в зависимости от состава газа и эффективности детандера). При увеличении степени понижения давления до 6 (от 1,8 до 0,3 МПа) снижение температур может достигать до 70–80 °С. Если принять, что температура газа на входе в машину равна 20 °С, то температура потока после расширения может составить -30 – -40 °С в первом и -50 – -60 °С во втором случаях.

Таким образом, в результате использования избыточной энергии давления природного газа может вырабатываться не только электрическая энергия, но и значительные количества холода (от 60 до 80 кДж/м<sup>3</sup>).

С учетом большой доли газификации территории нашей страны и наличия большого количества ГРС возле городов и населенных пунктов, представляется целесообразным строительство при ГРС промышленных холодильников, особенно в сельскохозяйственных регионах для сохранения урожая. Целесообразность строительства таких комплексов на крупных ГРС не вызывает сомнения.

В то же время в распределительной системе газоснабжения страны имеется огромное количество небольших ГРС и крупных ГРП, где снижение давления газа до среднего и низкого давлений происходит только редуцированием в дросселирующих устройствах (например, с 1,2 до 0,3 МПа), то есть технологический процесс происходит также с потерей потенциальной энергии. Среднегодовой расход газа на небольших ГРС представлен на рисунке 1.

Практически все известные проекты использования избыточной энергии давления газа при его редуцировании в системах газораспределения и потребления направлены на производство электрической энергии. Но области использования энергии избыточного давления газа на ГРС для производства холода изучены и разработаны в меньшей степени.

Исходные данные для расчетов:

- расчеты производятся для действующей ГРС в средней полосе России.
- расход газа – 30 тыс. м<sup>3</sup>/ч
- при проходе через турбодетандерную установку газ охлаждается до -18 оС.
- после турбодетандерной установки газ поступает на газо-редуцирующую станцию (ГРС), температура на входе которой должна поддерживаться от 0 до +4 оС.

Необходимо рассмотреть возможность подогрева газа до 0-4 оС при температурах хранения в холодильнике 0 и -12 оС.

Поддержание заданного температурного и влажностного режима в камерах холодильника достигается работой всей холодильной установки, т.е. холодильной машины и местных камерных приборов охлаждения, установленных в охлаждаемых помещениях.

Рассмотрим проблему с точки зрения максимально возможного количества холода, переданного от газа.

Для природного газа с расходом 30 тыс. м<sup>3</sup>/ч:

$$Q_2 = G \cdot c \cdot \Delta t = \frac{30 \cdot 10^3}{3,6 \cdot 10^3} \cdot 0,717 \cdot 2,391 \cdot (0 - (-18)) = 257 \text{ кВт.}$$

Необходимое количество холода для покрытия всех теплопритоков в камеры холодильника определяется после теплового расчета. Такой расчет охлаждаемых помещений проводят для определения суммы всех количеств теплоты, поступающих в эти помещения или возникающих в них от каждого из различных источников, оказывающих влияние на поддержание заданного температурного режима в объекте. Конечная цель теплового расчета — определение

производительности камерного оборудования, достаточной для отвода всей теплоты, поступающей в объект, и поддержания в нем заданных параметров.

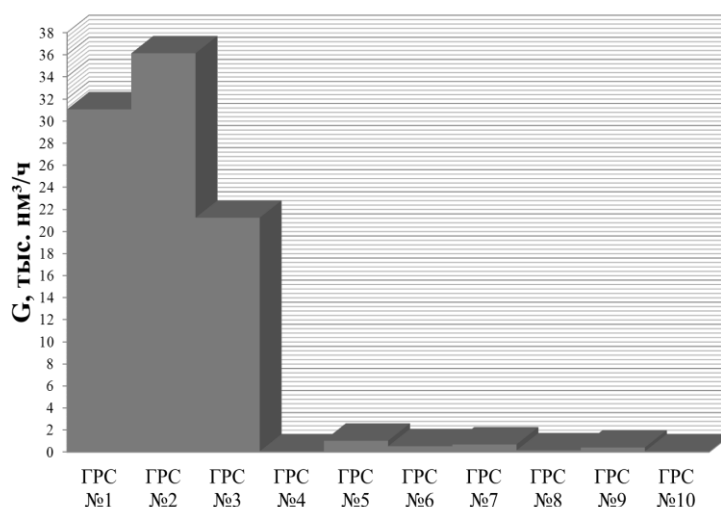


Рис.1.Среднегодовой расход газа на небольших ГРС

Из теплового баланса с учетом КПД теплообменника и воздухоохладителя получим, что количество холода, непосредственно переданное холодильным камерам, будет составлять около 206 кВт.

По общепринятой классификации холодильники подразделяются по условной вместимости холодильники на малые, имеющие вместимость от 250 до 1000 усл. т, средние - от 1000 до 5000 усл.т и крупные - свыше 5000 усл. т.

Предварительные проработки проектов энергохолодильного комплекса на базе ГРС показали, что рассчитанная хладопроизводительность окажется достаточной для обеспечения типового промышленного холодильника емкостью - от 1000 до 5000 усл.т, т.е. так называемого среднего холодильника.

#### Список литературы:

1. Брайдерт Г.-Й. Проектирование холодильных установок. Расчеты, параметры, примеры. – М.: Техносфера, 2006. – 336 с.
2. Проектирование холодильных сооружений. Справочник. Под общ.ред. к. т. н. А. В. Быкова. - М.: Пищевая промышленность, 1978. - 256 с.
3. Репин А. Л., Репин Л. А. Возможности использования энергии давления природного газа на малых газораспределительных станциях// Энергосбережение.- 2004.- № 3.
4. Аксенов Д. Т., Герцен А. Н. Использование энергохолодильных комплексов в целях энергосбережения // Промышленная энергетика. - 2004.- № 2.

#### Получение полуккокса из бурых углей Шивэ-Овооского месторождения Монголии

*А. Н.Кучерина, А.С.Дьяченко\*, А. Ю.Долгих.*

*Томский Политехнический Университет, Россия, г. Томск*

[cannonfodderzura@mail.ru](mailto:cannonfodderzura@mail.ru)

Большие запасы, благоприятные горно-геологические условия залегания, позволяющие осуществлять добычу наиболее экономичным путем, относительно низкая стоимость и уникальность физико-химических и технологических свойств ставят бурые угли на видное место в качестве топлива и технологического сырья. Отрицательной стороной использования бурых углей в качестве топлива является негативное воздействие на окружающую среду из-за выбросов в атмосферу огромного количества загрязняющих веществ. Облагораживание угля позволяет частично выводить отравляющие компоненты со смолой и газами, тем самым преобразовывать сырье в более экологически чистое топливо [1]. Также образуются первичный газ и первичная смола.



Полукокс используется как энергетическое топливо, как восстановитель для некоторых металлургических процессов, для получения карбида кальция первичный газ — как сырьё для химического синтеза и в качестве топлива; первичная смола — для переработки в различные жидкие топлива.

Были получены результаты термической переработки исследуемого угля в виде состава неконденсирующихся газов и материального баланса представленные в таблицах 1 и 2 [2].

Таблица 1. Усредненный состав неконденсирующихся газов

CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	Теплота сгорания смеси, МДж/м <sup>3</sup>
12,0	1,23	0,35	13,13	42,9	14,5	11,98	3,1	9,3

Таблица 2. Материальный баланс

Статьи баланса	Количество продуктов	
	гр	%
Поступило		
Исходный уголь	90,7	90,7
Влага	9,3	9,3
Всего	100	100
Получено		
Полукокс	78,3	78,3
Смола	4,1	4,1
Пирогенетическая влага	6,7	6,7
Потери	10,9	10,9
Всего	100	100

Так же была проведена серия экспериментов различных температурных режимов (4500С, 5000С, 5500С, 6000С.), которые согласно источникам [1] попадают в диапазон температур наиболее подходящих для температурной переработки с получением полукокса, и различной крупности (6 мм, 10 мм, 12 мм.) для определения параметров зольности полукокса, выхода летучих неконденсирующихся газов, теплоты сгорания полукокса.

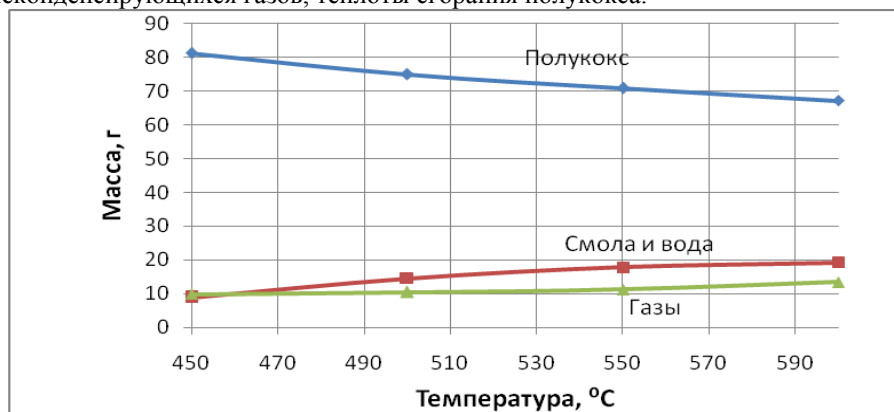


Рис. 1. Зависимости массы полукокса, смолы и воды, газов от температурного режима при крупности частиц 6 мм

Зависимости зольности полукокса, выхода летучих неконденсирующихся газов, теплоты сгорания полукокса от температурного режима представлены при усредненных значениях крупности угля.

По результатам выявилось, что при изменении температурного режима термической переработки в сторону повышения температуры режима масса полукокса уменьшается, что связано с ростом выхода смол, воды и неконденсирующихся газов. В зависимости от крупности наибольшей массой полукокса обладает образец с крупностью 6 мм, но имеет более низкие показатели остальных продуктов переработки. Образец крупностью 12мм напротив имеет

наименьшую массу полукокса но выход смол, воды и газов выше, что позволяет предполагать наличие у этого образца наиболее чистой структуры полукокса.

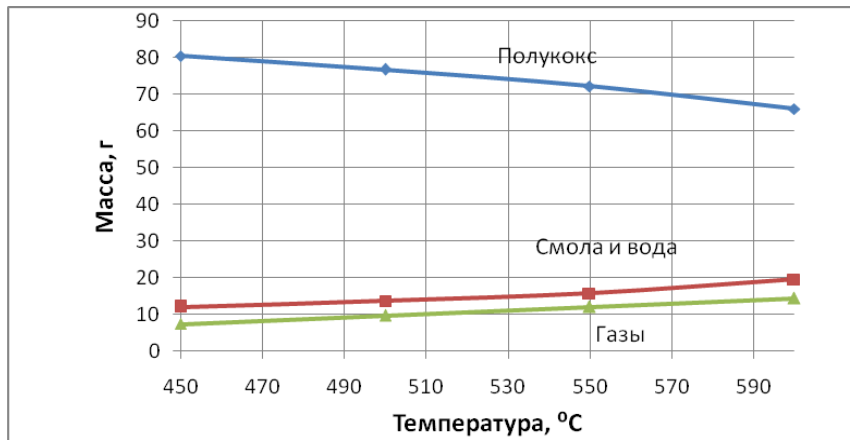


Рис.2. Зависимости массы полукокса, смолы и воды, газов от температурного режима при крупности частиц 10 мм

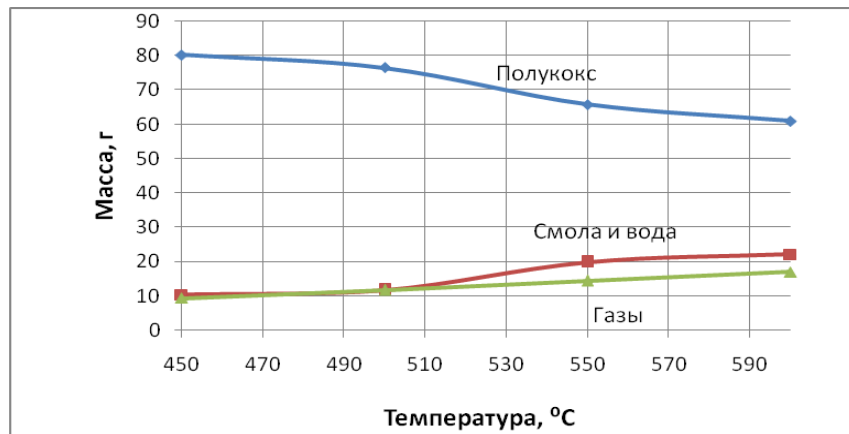


Рис.3. Зависимости массы полукокса, смолы и воды, газов от температурного режима при крупности частиц 12 мм

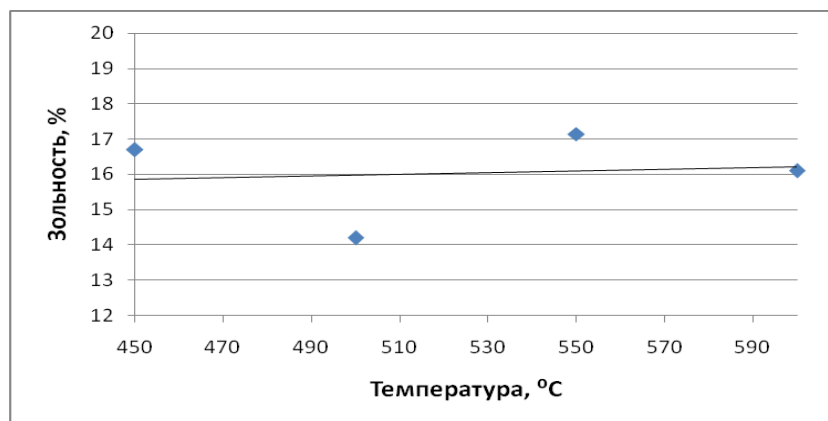


Рис.4. Зависимость зольности полукокса от температурного режима

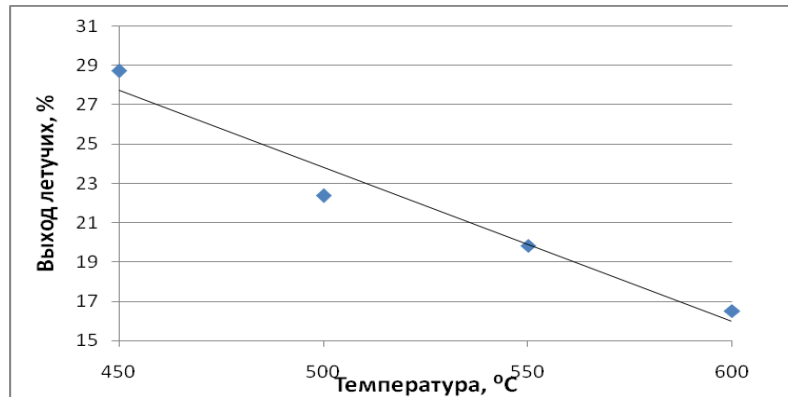


Рис.5. Зависимость выхода летучих неконденсирующихся газов от температурного режима

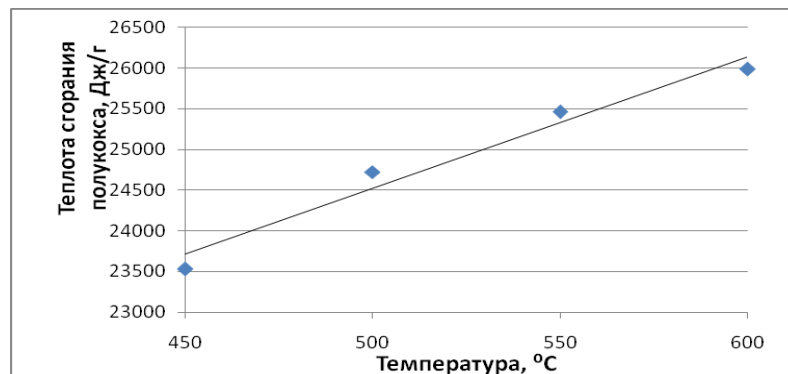


Рис.6. Зависимость теплоты сгорания полукокса от температурного режима

По результатам выявилось, что с повышением температуры режима:

- зольность полукокса возрастает.
- выход летучих газов снижается.
- теплота сгорания полукокса повышается.

#### Список литературы:

1. Федосеев С. Д. Полукоксование и газификация твердого топлива : учебник / С. Д. Федосеев, А. Б. Чернышев. — М. :Гостоптехиздат, 1960. — 326 с.
2. Дьяченко А.С., Кучерина А. Н. Перспективы термической переработки бурых углей Шивэ-Овооского месторождения Монголии.

#### Особенности сжигания каменного угля в виде водоугольного топлива

*Ланин Д.А.*

*Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, Россия, г. Кемерово, [kafte12@mail.ru](mailto:kafte12@mail.ru)*

На территории Кемеровской области насчитывается более тысячи отопительных и производственно-отопительных котельных работающих на твердом топливе. Эти котельные оснащены, как правило, котлами со слоевой топкой, ручной или механизированной в зависимости от производительности.

Оказание услуг по теплоснабжению потребителей, является регулируемым видом деятельности. Тарифы на тепловую энергию устанавливаются регулирующим государственным органом – Региональной энергетической комиссией. В условиях сложившейся политики сдерживания роста тарифов на услуги естественных монополий, в сметах затрат на производство тепловой энергии закладывается рядовой каменный уголь со стоимостью, значительно ниже рыночной стоимости сортового угля, реализуемого производителями топлива другим отраслям промышленности и за рубеж.

Таким образом, рынок сбыта угля на коммунальные нужды гораздо менее рентабелен для угольных предприятий, что является причиной поставки на котельные области угля низкого качества, не востребованного у других покупателей.

Контракты на поставку угля между коммунальщиками и производителями топлива, содержат качественные характеристики поставляемого угля, характеризующие его теплотехнические свойства – зольность, влажность, теплотворная способность. Эти параметры вполне выполняются. Однако, прописанный в контрактах уголь является рядовым, ситовый состав рядового угля регламентируется ГОСТ Р 51586 – 2000 - в части максимальной крупности угля 200 -300 мм в зависимости от способа добычи, процентное же содержание промежуточных фракций угля не регламентируется, чем активно пользуются угольные предприятия, поставляя на котельные области уголь, содержащий подавляющее количество мелкой фракции, не востребованной на других рынках.

Сжигание угольной мелочи в слоевых топках приводит к увеличению механической и химической неполноты сгорания, и, как следствие, к большим перерасходам угля, что в условиях действующего тарифного регулирования еще больше затрудняет финансовое положение теплоснабжающих организаций.

Выход из сложившейся ситуации – изменить способ сжигания топлива. Уйти от слоевого сжигания на более приспособленные для сжигания мелочи – например, кипящий слой или организовать на котельных производство угольных брикетов, можно также внедрять технологию газификации поступающего топлива.

Как одна из альтернатив - сжигание в слоевых топках котлов водо-угольного топлива (ВУТ). Здесь не имеется в виду не ВУТ в традиционном понимании, приготовленный из товарного угля, подвергающегося измельчению, разбавлению водой, добавлению пластификаторов, что в конечном счете приводит к удорожанию получившегося топлива с одновременным снижением его теплотехнических характеристик. В результате, несмотря на более эффективное сжигание ВУТ по сравнению с традиционным слоевым сжиганием каменного угля с технической точки зрения, в финансовом оказывается не целесообразным. Применение технологии сжигания ВУТ экономически оправдано для замещения дорогих видов топлива, например топочный мазут, либо для перевода котельных на сжигание угля, где ранее использовался газ, без серьезной доработки котлов и котельного оборудования.

Для получения экономического результата теплоснабжающим организациям необходимо замещение каменного угля на более дешевый вид топлива. Это отходы углеобогащения обогатительных фабрик – фильтр-кеки. При механическом обезвоживании углей, а также при гидродобыче и гидротранспорте образуются высокообводненные угли мелких классов – шламы, наиболее крупные из которых (более 0,05 (0,5) мм) улавливают и выдают вместе с углями крупных классов. Тонкие частицы (менее 0,05 (0,5) мм) улавливаются менее эффективно, а часто практически не улавливаются при сгущении и обезвоживании и сбрасываются либо в наружные шламовые отстойники, либо водоемы. При сбросах в отстойники происходит накопление шламов. Количество сбросов составляет в зависимости от производительности фабрики от 130 до 350 тыс. т в год при средней зольности угля в них от 26 до 60%. В результате за период эксплуатации фабрик и гидрощахт только в Кузбассе общее количество накопленных шламов составило более 25 млн. т. Из них 12,7 млн. т. имеют зольность менее 35% и могут быть успешно использованы как дополнительные ресурсы для получения товарного топлива [1].

В котельной станции Барзас (ОАО «СКЭК»), оснащенной маломощными котлами с ручной топкой, предпринята попытка сжигания ВУТ приготовленного из кека ОФ «Северная». Кек обогатительной фабрики имеет допустимые теплотехнические параметры для сжигания в виде ВУТ, кроме того ситовый состав этого кека позволяет сжигать его без предварительного домола, что также удешевляет конечное топливо. В результате, стоимость его сводится в основном только к транспортным расходам, что на сегодняшний день составляет порядка 140-150 руб/тн. при средней стоимости каменного угля для коммунальных предприятий около 1200 руб/тн, включая транспортные расходы. Сжигание такого топлива довольно перспективно как с технической, так и с экономической точки зрения.

За три года опробирования технологии наработаны некоторые практические результаты, в частности, исходя из особенностей ВУТ – большой влажности и зольности, низкой теплотворной способности (2500 – 4000 ккал/кг), в конструкцию котла внесены небольшие технологические изменения. Так в котле сохранена колосниковая решетка, на которой для подсветки, сжигается небольшое количество каменного угля, кроме того в топке котла в зоне горения ВУТ смонтирован

муфель, который позволяет предотвратить занос поверхностей нагрева золовыми отложениями, повысить температуру в зоне горения ВУТ, и, как следствие, добиться устойчивого зажигания и горения его в топке котла.

Кроме того, подача топлива в топку осуществлена специальной форсункой, совместной разработки ИТ СО РАН и ООО «ТеплоПром» [2-4]. Эта форсунка имеет преимущества по сравнению с другими известными нам. Дело в том, что ВУТ содержит в себе твердые частицы с максимальным размером до 350 мкм. Это накладывает на форсунку определенные конструктивные требования – форсунка не должна содержать мелких отверстий и узких каналов для прохода топлива. Мелкие отверстия быстро забиваются, а движение ВУТ по узким каналам приводит к ускоренному эрозионному износу и быстрому выходу форсунки из строя.

Примененная на котельной станции Барзас форсунка имеет канал для подачи топлива достаточного диаметра, обеспечивающий низкую скорость движения ВУТ, что значительно уменьшает эрозионный износ форсунки, увеличивая ее срок службы. Распыл же осуществляется за счет энергии сжатого воздуха, вырывающегося из кольцевого сопла. Опыт эксплуатации подтвердил наши предположения, форсунка проста в изготовлении и свободно работает в течении всего отопительного сезона без промежуточных замен и ремонтов.

За три года работы над технологией был опробован разный состав технологического оборудования, заменен компрессор с поршневого на винтовой, изначально примененный насос подачи ВУТ был винтового типа, но, как оказалось, для перекачки ВУТ он не пригоден, так как быстро изнашиваются проточная часть насоса, в результате проб и ошибок был выбран мембранный насос с пневмоприводом, он оказался достаточно надежным.

Работы по совершенствованию данной технологии продолжаются. В частности рассматриваются вопросы оптимизации топочной конструкции, с целью улучшения аэродинамики и увеличения времени пребывания витающих частиц в зоне горения для максимального выгорания горючей части. Это включает в себя работу над углом установки форсунки, геометрических размеров муфеля и д.р.

Также, в виду не постоянного по составу и свойствам, поступающего на котельную сырья, необходима разработка и внедрение методов входного оперативного контроля, с целью возможности отработки режимов сжигания ВУТ для различных по качественным характеристикам сырья.

Кроме того необходимо поработать над оптимизацией системы дутья в топку котла.

Что дает дальнейшая отработка и тиражирование данной технологии на более крупные котельные, эксплуатируемые ОАО «СКЭЖ»?

Во-первых, количество образующихся на обогатительной фабрике отходов около 350 тыс. тон/год, вполне достаточно для обеспечения тепловой энергией всего города Березовский (около 300 тыс. тон/год). Что практически полностью сокращает образование и складирование отходов этой фабрики на территории Кузбасса, кроме того при переходе на технологию сжигания ВУТ прекратится складирование в отвал шлака котельных около 30 тыс. тн/год, которая не представляет в настоящий момент какой-либо практической ценности. Образовавшаяся же зола после сжигания ВУТ – ценный строительный материал, который может быть реализован производителям строительной продукции.

Во-вторых, значительное удешевление топлива, и как следствие, высвобождение дополнительных средств, для реализации инвестиционных программ по реконструкции и модернизации основных фондов, что также позволит повысить надежность теплоснабжения и энергетическую эффективность работы теплоснабжающего предприятия в целом.

#### Список литературы:

1. Зайденварг В.Е. Производство и использование водоугольного топлива. / Трубецкой К.Н., Мурко В.И., Нехороших И.Х. – М.: Академия горных наук, 2001. – 173 с.
2. Пневматическая форсунка для распыливания ВУТ. Мальцев В.И., Кравченко И.В., Кравченко А.И., Самборский В.Е. – Институт теплофизики СО РАН, ООО «ТеплоПром», г. Новосибирск.
3. Патент РФ №2346756. Зарегистрирован 20.02.2009 г.
4. Патент РФ №2389948. Зарегистрирован 13.04.2009 г.

**Регенерация питательной воды высокотемпературных турбоустановок с использованием воздухоподогревателей**

**К.Б. Ларионов, Б.Ф. Калугин**

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия  
larryk@sibmail.com*

На сегодняшний день регенерация питательной воды на высокотемпературных турбоустановках является актуальной проблемой, поскольку данная тема требует более углубленного изучения и исследования влияния высокой начальной температуры, как на изменение процесса работы регенеративных установок, так и эффективность всего цикла.

Для исследования данного вопроса в качестве анализа влияния начальной температуры  $t_0/t_{пп} = 800/800^\circ\text{C}$ , использовалась турбоустановка К-200-130 с начальными параметрами пара  $t_0/t_{пп} = 565/565^\circ\text{C}$  и  $P_0 = 13$  МПа и конечным давлением  $P_K = 0,0033$  МПа. При изменении начальной температуры наблюдается существенный прирост абсолютного электрического КПД 44,2 % до 48,5 %.

В данной работе был рассмотрен вопрос влияние регенерации питательной воды с использованием воздухоподогревателей на эффективность цикла с начальной температурой  $t_0/t_{пп} = 565/565^\circ\text{C}$  и  $t_0/t_{пп} = 800/800^\circ\text{C}$  при постоянном давлении пара в отборах, предназначенными для снижения температуры отборного перегретого пара выше на  $10 \div 15^\circ\text{C}$  от состояния насыщения. Так же отметим, что данный расчет производился с точки зрения термодинамической эффективности.

Таким образом, перед каждым регенеративным подогревателем на линии отбора пара был установлен воздухоподогреватель, как отдельный теплообменный аппарат (рис. 1). После подогрева воздуха паром, его потоки смешиваются и поступают в котлоагрегат.

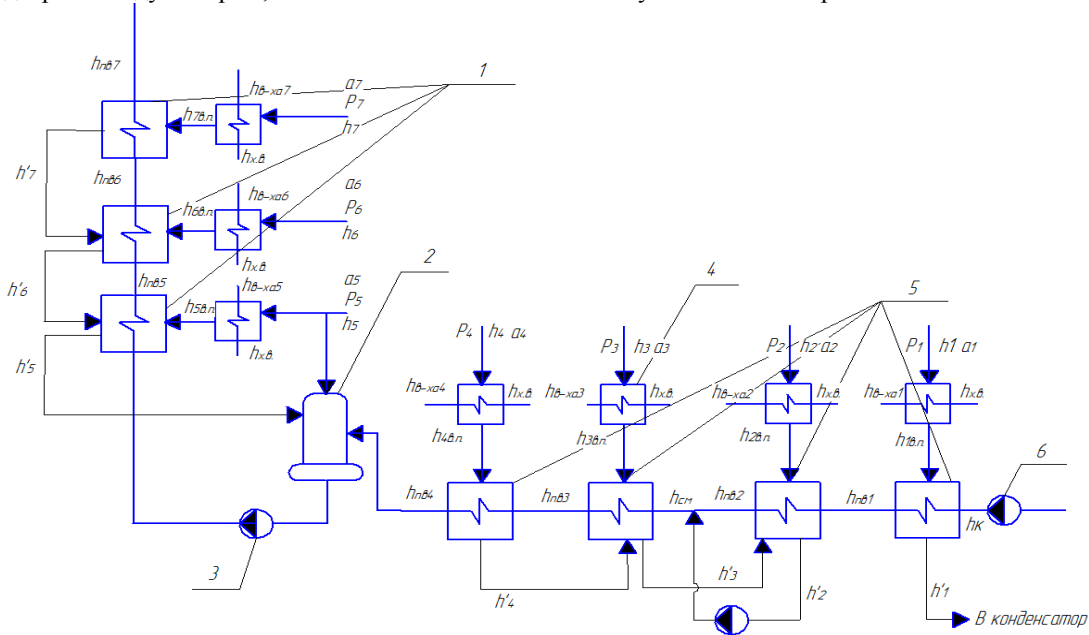


Рисунок 1. Схема регенеративной установки с применением воздухоподогревателя (1 - подогреватели высокого давления, 2 - деаэрактор, 3 - питательный насос, 4 - воздухоподогреватель, 5 - подогреватели низкого давления, 6 - конденсационный насос)

Для определения относительных расходов пара в отборах составляем систему уравнений теплового и материального баланса, как для линии ПВД, так и для линии ПНД.

После вычисления систем уравнений для данной схемы в программе MathCAD, были определены относительные расходы пара, а так же абсолютный электрический КПД установки. Энтальпия воздуха определялась с помощью таблиц [2], с учетом температуры недогрева воздуха паром в  $10^\circ\text{C}$ . Результаты определенных параметров занесены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1. Результаты вычислений относительных расходов пара, энтальпий воздуха, мощности турбоустановки и абсолютного электрического КПД при начальной температуре  $t_0/t_{пп}=565/565^\circ\text{C}$

№ отбора	Относительный расход пара, $\alpha$	Энтальпия воздуха за воздухоподогревателям, кДж/кг	Энтальпия пара перед регенеративными подогревателями, кДж/кг	Энтальпия питательной воды, кДж/кг	Абсолютный электрический КПД $\eta_{Э}$ с использованием воздухоподогревателя, %
7	0,05514	666,7	2837	1018	44,7
6	0,08829	612,9	2830	919	
5	0,03527	755,8	2802	749	
4	0,04905	663,4	2773	634	
3	0,04226	557,2	2733	507	
2	0,04769	473,6	2698	416	
1	0,00926	339,6	2632	241	

Таблица 2. Результаты вычислений относительных расходов пара и энтальпий питательной воды, мощности турбоустановки и абсолютного электрического КПД при начальной температуре  $t_0/t_{пп}=800/800^\circ\text{C}$

№ отбора	Относительный расход пара, $\alpha$	Энтальпия воздуха за воздухоподогревателями $h_{в-ха}$ , кДж/кг	Энтальпия пара перед регенеративными подогревателями, кДж/кг	Энтальпия питательной воды, кДж/кг	Абсолютный электрический КПД $\eta_{Э}$ с использованием воздухоподогревателя, %
7	0,0621	860,8	2837	1018	50,1
6	0,0882	788,3	2830	919	
5	0,0319	982,2	2802	749	
4	0,0478	902,9	2773	634	
3	0,0433	775,1	2733	507	
2	0,0397	532,7	2698	416	
1	0,0076	525,1	2632	241	

После проведенных расчетов определим расход необходимого количества воздуха для работы котлоагрегата, расход воздуха для воздухоподогревателей, а так же расход топлива для схем с начальной температурой  $t_0=565/565^\circ\text{C}$  и  $t_0=800/800^\circ\text{C}$ . Для данного расчета было принято следующее топливо - природный газ Уренгойского месторождения, с низшей теплотворной

способностью  $Q_n^p$  равной 46008,3 кДж/кг. Полученные результаты отобразим в таблицах 3 и 4.

$$D_{в-ха} = D_{отб} \cdot (h_i - h_{в.п.}) / (h_{в-ха} - h_{х.в.}), \text{ кг/с}$$

где  $h_i$  – энтальпия пара из отбора,  $D_{отб}$  – расход пара из отбора,  $h_{в-ха}$  – энтальпия воздуха,  $h_{х.в.}$  – энтальпия холодного воздуха при  $30^\circ\text{C}$ .

$$V_{КА} = \frac{Q_{КА} - Q_{в-х}}{Q_n^p \cdot \eta_{КА}}, \text{ кг/с}$$

где  $Q_{КА}$  – количество теплоты необходимое для ТУ,  $Q_{в-х}$  – количество теплоты отданное паром воздуху,  $\eta_{КА}$  – КПД котлоагрегата равный 95%.

$$D_{в-ха} = L_0 \times k_{изб.в-ха} \times V_{КА}, \text{ кг/с}$$

где  $L_0$  – количество воздуха для сжигания одного кг топлива,  $k_{изб.в-ха}$  – коэффициент избытка воздуха равный 1,05.

Таблица 3. Расход воздуха и расход топлива для схемы с начальной температурой  $t_0/ t_{пп} = 565/565^\circ\text{C}$ 

Расход воздуха в воздухоподогревателях	Значение, кг/с	Расход топлива В, кг/с	Количество воздуха необходимого для работы котлоагрегата, кг/с
Дв-ха7	8,72	9,9	178
Дв-ха6	12,51		
Дв-ха5	7,5		
Дв-ха4	10,02		
Дв-ха3	8,13		
Дв-ха2	8,32		
Дв-ха1	0,32		
Всего	55,52		

Таблица 4. Расход воздуха и расход топлива для схемы с начальной температурой  $t_0/ t_{пп} = 800/800^\circ\text{C}$ 

Расход воздуха	Значение, кг/с	Расход топлива В, кг/с	Количество воздуха необходимого для работы котлоагрегата, кг/с
Дв-ха7	13,36	12,08	217,5
Дв-ха6	18,15		
Дв-ха5	7,8		
Дв-ха4	11,68		
Дв-ха3	10,48		
Дв-ха2	8,18		
Дв-ха1	1,91		
Всего	71,56		

Таким образом в результате включения в схему дополнительных поверхностей нагрева воздуха перед регенеративными подогревателями наблюдается увеличение абсолютного электрического КПД для схемы с начальной температурой  $t_0/ t_{пп} = 800/800^\circ\text{C}$  на 4,9 % от схемы без применения дополнительного теплообменного оборудования для повышения эффективности регенеративной установки и на 1,3 % от схемы с применением пароохладителей, абсолютный электрический КПД  $\eta_{Э}$  которой для температуры  $t_0/t_{пп} = 800/800^\circ\text{C}$  составляет 48,8%[3]. Данный прирост абсолютного электрического КПД связан с использованием полезной теплоты отданной паром отборов воздуху.

#### Список литературы:

1. Костюк А.Г., Фролов В.В., Булкин А.Е., Трухний А.Д., Турбины тепловых и атомных электростанций. -М.: Изд-во МЭИ, 2001. - 488 с.
2. Ривкин С.Л. Термодинамические свойства воздуха и продуктов сгорания топлив 1984 – 104 М: Энергоатомиздат.
3. К.Б. Ларионов, Б.Ф. Калугин «Регенерация питательной воды высокотемпературных турбоустановок с использованием пароохладителей» Энергетика: Эффективность, надежность, безопасность: материалы XVIII Всероссийской научно-технической конференции / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во ООО «СПБ Графикс», 2012. – 532 с.

#### Перспективы применения нагревательных элементов трансформаторного типа в системах отопления

*Левин М.М., Сериков А.В.*

*Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет, Россия, г. Комсомольск-на-Амуре*

[levmaxmih88@mail.ru](mailto:levmaxmih88@mail.ru)

Основным направлением развития систем теплоснабжения в нашей стране (в том числе и снабжения населения горячей водой) являлась централизация на базе теплоцентралей, крупных



районных и промышленных котельных. Это определялось рядом особенностей: плановым ведением народного хозяйства на этапе создания таких систем, высокой плотностью и концентрацией тепловых нагрузок, связанной с сосредоточением большей части населения в городах с многоэтажной застройкой, созданием новых крупных промышленных комплексов, длительным отопительным периодом на большей части территории страны.

Тем не менее, значительная часть населения страны остается до сих пор не охваченной этой формой водонагрева. На обозримую перспективу не стоит и не может ставиться задача централизованного горячего водоснабжения всего населения. Это относится, прежде всего, к жителям городских кварталов, где преобладает однодвухэтажная застройка, к большинству сельских населённых пунктов с одноэтажной застройкой, к потребителям, расположенным в пригородных поселках с малой концентрацией застройки и растянутыми коммуникациями. Одним из реальных путей создания на этих объектах достаточно комфортных условий, обеспечения их горячим водоснабжением является установка электронагревательных систем поквартирного типа [1].

Графики нагрузки энергосистем в России имеют весьма большие ночные провалы, заполнение которых даёт возможность включения в это время суток теплоаккумулирующих систем (например, на основе ёмкостных электроводонагревательных приборов) и установок с оплатой электроэнергии по льготному тарифу, значительно более дешёвому, чем дневной. Забор тепловой энергии потребителем может вестись в любое время суток. Такая система горячего водоснабжения, как показывает опыт развитых промышленных стран, выгодна и потребителям и энергосистемам. Это позволяет прогнозировать большой рост спроса сельского и городского населения на электронагреватели, тем более что применение приборов теплоаккумуляционного типа не потребует значительного усиления электрических сетей и внутридомовых проводок [2].

Нагрев воды газом дешевле, чем электроэнергией, даже с учетом низкого коэффициента полезного действия (КПД) газовой горелки. За рубежом, где далеко не во всех странах имеется дешёвый природный газ, разница между стоимостью электроэнергии и газа меньше. И все-таки в ряде стран, в том числе с широкой газификацией быта (США, Франция и др.), всё больше применяют электрический нагрев воды, постепенно возрастает насыщенность домашних хозяйств индивидуальными электронагревателями.

Но кроме стоимости энергоносителя есть еще масса факторов, которые необходимо учитывать при выборе отопительного оборудования. Не надо забывать про стоимость котла, расходы на его установку, подключение и пуско-наладку, получение разрешений и т.п.

Главное преимущество электродкотла – эксплуатационные расходы практически равны нулю: не нужно подвозить и хранить топливо, не надо чистить горелки и дымоходы, проводить топливоподготовку и т.д. К тому же отопление электричеством легко комбинируется с другими видами отопления. Это, без сомнения, способствует использованию нескольких видов топлива. Экологичность, отсутствие посторонних запахов – еще несколько плюсов электрических котлов.

В сравнении с газовыми котлами электрические уступают только стоимостью энергоносителя. В остальном только одни преимущества. Средняя стоимость электродкотла ниже, чем котла газового. Кроме того, для газового котла понадобится дымоход (традиционный или коаксиальный для котлов с принудительным отводом продуктов сгорания). Установка электрического котла стоит обычно заметно меньше, чем суммарная стоимость монтажа и пуско-наладки газового котла с монтажом дымовой трубы. Электрический котел конструктивно гораздо проще, чем газовый. Он не нуждается в постоянном обслуживании, обязательном для газового котла и стоящем десятки тысяч рублей в год [3]. Кроме этого стоит отметить, что подведение газовой магистрали к объекту (коттеджу, квартире или даче) может обойтись дороже стоимости самого котла. Есть еще один случай, когда электродкотлы могут дать фору газовым – это установка котла в пределах крупного города. В этом случае проблемы с получением разрешения на использование газового оборудования очень часто делают оптимальным использование электродкотла.

Системы отопления на основе электроводонагревателей поддаются автоматизации в наибольшей степени. Использование автоматизации позволяет не только повысить энергоэффективность систем отопления, уменьшив потери тепловой энергии, но и увеличить уровень комфорта человека в отапливаемых помещениях. Применение современных микроконтроллерных автоматов позволяет гибко настроить график температур в течение суток и в течение недели в зависимости от личных предпочтений потребителя и его рабочего графика. Например, в ночное время человеку комфортнее, когда температура чуть ниже, чем днем. Если

потребитель отсутствует с 10 до 18 часов пять дней в неделю в жилом помещении или в офисном здании в выходные дни и в нерабочее время, то нет необходимости в это время осуществлять нагрев до комфортной температуры, необходимо, лишь обезопасить помещение от переохлаждения.

Система должна иметь устройство стабилизации температуры воды на выходе, позволяющее поддерживать её независимо от расхода воды, колебаний питающего напряжения, изменений температуры воды на входе. Для достижения минимальной погрешности стабилизации температуры необходим контур, включающий быстродействующие элементы: датчик температуры, тиристорный коммутатор с системой управления. Нагревательный элемент должен автоматически отключаться при отсутствии забора воды, что уменьшает неоправданный расход энергии и предотвращает возможность возникновения аварийных режимов работы.

Основным узлом в установках электроотопления и горячего водоснабжения является нагревательный элемент. Надёжность и безопасность всей системы нагрева в большой степени обуславливаются надёжностью и безопасностью нагревательных элементов.

Наиболее распространённым электронагревательным элементом является трубчатый нагревательный элемент (ТЭН). К числу преимуществ теплообменников с ТЭН относится малая тепловая инерция, простота и дешевизна конструкции, возможность быстрой замены вышедшего из строя нагревателя. Недостатком же является опасные для жизни человека токи утечки, возникающие при появлении трещин на наружной оболочке ТЭН.

В целях полной электробезопасности необходимо тщательно следить за качеством заземления. Выход из строя ТЭН происходит главным образом из-за появления на его поверхности накипи, которая образуется, прежде всего, между витками спирали трубки, затрудняя теплоотдачу от ТЭН к воде и уменьшая его срок службы. При использовании ТЭНов для нагрева воды необходимо ограничивать удельную тепловую нагрузку на поверхности величиной 10 Вт/см<sup>2</sup> для значительного подавления процесса образования накипи, что приводит к необходимости даже при небольших мощностях увеличивать длину ТЭН. Для уменьшения габаритов ТЭН обычно свёртывается в спираль, что, однако, значительно усложняет и удорожает процесс изготовления. Использование ТЭНов в качестве нагревательных элементов снижает показатели надёжности нагревательной установки, причём у нагревательного блока большой мощности, как правило, показатели надёжности ниже, так как количество ТЭН с увеличением мощности установки возрастает. Средний ресурс отечественного ТЭН в соответствии с ГОСТ 17446-80 не превышает 2000 часов. Чувствительность и быстрота срабатывания термоограничителей «сухого хода» у теплообменников с ТЭН должны быть весьма высокими, так как в противном случае нагреватель выходит из строя в течении 20...40 с. Водонагревательным установкам с ТЭН соответствует также низкий класс электробезопасности, что приводит, как и в случае с установками с электродным нагревом, к дополнительным затратам на мероприятия по охране труда и технике безопасности. Кроме того недостатком ТЭНа является невозможность его ремонта при перегорании нагревательной спирали.

Качественно улучшить условия подготовки горячей воды помогут электронагревательные элементы трансформаторного типа (НЭТ), в которых индуктор, как в обычных силовых трансформаторах, состоит из магнитопровода и первичной обмотки. Особенностью конструкции таких нагревательных элементов является вторичная обмотка, выполненная в виде короткозамкнутого витка, в которой выделяется основная доля тепла. Вторичная обмотка непосредственно, без промежуточного теплообменника или дополнительного слоя изоляции, контактирует с нагреваемой средой [4].

НЭТ обладают саморегулирующим свойством: по мере нагрева мощность их снижается, при охлаждении – повышается. Это позволяет экономить электроэнергию при эксплуатации.

Достоинствами НЭТ являются.

1. Высокий класс защиты от поражения электрическим током, который обеспечивается следующим:

- а) отсутствием электрической связи между вторичной обмоткой и сетью;
- б) многоуровневой электрической изоляцией первичной обмотки;
- в) при расчётах, напряжение витка выбирается таким образом, чтобы электрический потенциал на вторичной обмотке был менее допустимого по условиям безопасной эксплуатации.

2. Большой срок службы. Так как этот показатель в основном зависит от срока службы изоляционных материалов, применяемых в НЭТ, то при расчётах электромагнитные нагрузки и основные геометрические соотношения выбираются так, чтобы температура первичной обмотки

не превышала допустимых, для заданного класса нагревостойкости электроизоляционных материалов, значений. Большая поверхность теплоотдачи резко снижает интенсивность образования накипи, что обеспечивает стабильность теплового режима и также повышает срок службы НЭТ для установок электронагрева.

3. Высокий, в сравнении с индукционными нагревательными элементами, коэффициент мощности, обеспечивающийся наличием шихтованного магнитопровода и малыми полями рассеяния обмоток.

К недостаткам НЭТ следует отнести большие, по сравнению с резистивными нагревателями, массу и размеры. Однако следует учитывать, что масса и размеры нагревательного элемента обычно не составляют основную часть массы и размеров всего электронагревательного устройства. Поэтому, указанные недостатки, в большинстве случаев, не являются определяющими факторами.

Итак, основным направлением развития децентрализованных систем отопления является их автоматизация. Автоматизация позволяет увеличить энергоэффективность таких систем и их потребительские качества, выраженные в увеличении комфорта конечного потребителя. В качестве основы автоматизированных систем отопления наиболее оправданно использовать электронагревательные устройства. Такие приборы должны обеспечивать высокую степень защиты от поражения электрическим током, иметь простую и технологичную конструкцию, большой срок службы, невысокую стоимость, хорошие эксплуатационные и массогабаритные показатели, высокий КПД и коэффициент мощности. Указанным требованиям в достаточной мере отвечает электронагреватель, нагревательный элемент которого целесообразно выполнить на основе трансформатора с короткозамкнутой вторичной обмоткой.

#### Список литературы:

1. Гольцман, Д. А. Применение электроэнергии для горячего водоснабжения и отопления жилых зданий / Д. А. Гольцман, Л. В. Бончковская // Водоснабжение и санитарная техника. – 1976. – № 1. – С. 30-33.
2. Коган, Ю. М. Условия и перспективы применения теплоаккумуляционных электроприборов / Ю. М. Коган, Э. И. Эргард, В. Е. Шерстень. – М. : Информэлектро, 1976. – 60 с.
3. <http://www.gidrolux.ru>
4. Сериков, А.В. Электронагревательные устройства трансформаторного типа для систем теплоснабжения: моногр./А.В. Сериков, В.М. Кузьмин. – Владивосток: Дальнаука, 2012. – 247 с.

УДК 629.785

#### Исследование массоэнергетических характеристик межорбитального буксира с солнечной энергоустановкой

*Мигунов Я.Н.*

*Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, Россия, г. Москва*  
[migunovy@gmail.com](mailto:migunovy@gmail.com)

Введение. Несмотря на ведущиеся работы по развитию космической ядерной энергетики, Солнце по-прежнему остается главным источником энергии, а преобразование солнечного излучения при помощи фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) – главным способом получения электричества в космосе. В свете планов нашей страны по освоению Луны, представляется интересным проанализировать перспективы создания межорбитального буксира с солнечной энергетической установкой (СЭУ) для транспортировки грузов с орбиты Земли на орбиту Луны.

Постановка задачи. Рассматривается межорбитальный буксир (МБ) с СЭУ мощностью  $N_{ЭУ}=100$  кВт и электроракетной двигательной установкой на базе четырех двигателей СПД-290 (производство ОКБ «Факел»). Характеристики СПД-290:

Мощность двигателя  $N_D=25$  кВт.

Тяга  $F_D=1$  Н.

Удельный импульс  $I=32500$  м/с.

Рабочее тело – ксенон.

Массовый расход  $m_f=3,1 \cdot 10^{-5}$  кг/с.

Массоэнергетический анализ ФЭП.

Рассматриваемые материалы ФЭП и их характеристики приведены в табл. 1, срок активного существования (САС) принимается равным 10 годам.

Таблица 1. Материалы ФЭП и их характеристики [1, 2]

Производитель	Материал	Масса 1 м <sup>2</sup> ФЭП, кг	Мощность с 1 м <sup>2</sup> в начале САС*, Вт	Мощность с 1 м <sup>2</sup> в конце САС, Вт
ОАО «НПП «Квант»	Si монокристаллический (mc-Si)	1,45	200	150
ОАО «НПП «Квант»	Si аморфный (a-Si)	0,3	95	89
ОАО «НПП «Квант»	GaInP2-GaInAs-Ge, трехпереходный (ЗП)	1,6	350	280
ОАО «Сатурн»	GaAs	1,6	309	271

Из-за значительной деградации ФЭП в процессе эксплуатации площадь СБ должна быть больше, чем необходимо для выработки 100 кВт, поэтому в начале САС КА будет обладать запасом мощности. Параметры СБ из выбранных материалов приведены в табл. 2 (масса СБ условно принята равной массе ФЭП).

Таблица 2. Характеристики СБ из различных материалов, НЭУ=100 кВт

Материал	Площадь, м2	Масса, кг	Избыточная мощность СБ в начале САС, кВт
mc-Si	667	967	33,3
a-Si	1132	340	7,5
GaInP2-GaInAs-Ge	357	571	25
GaAs	397	635	22,6

Из табл. 2 видно, что трехпереходный ФЭП из GaInP2-GaInAs-Ge является наиболее предпочтительным. Однако у него есть существенный минус – высокая стоимость. В настоящее время такой ФЭП стоит порядка 150 000 долларов США за 1 кг, тогда как ФЭП из a-Si стоит, по различным оценкам, около 1300 за 1 кг. Кроме того, он проигрывает a-Si по массе в полтора раза. Поэтому предлагается. Использовать комбинированную СБ, часть которой изготовлена из GaInP2-GaInAs-Ge, а часть – из a-Si. Характеристики подобной СБ приведены в табл. 3.

Таблица 3. Параметры смешанной СБ для НЭУ=100 кВт

Доля площади ЗП ФЭП от общей площади $\beta$	Площадь СБ, м2	Масса СБ, кг	Цена СБ, тыс. долл. США	Избыточная мощность СБ в начале САС, кВт
0	1132	340	441,4	7,5
0,1	1054	363	8 969	9,2
0,3	899	409	26 020	12,8
0,5	745	456	43 080	16,3
0,7	590	502	60 130	19,8
0,9	435	548	77 190	23,3
1	357	571	85 710	25,0

Таким образом, изготовив СБ наполовину из a-Si, а наполовину из GaInP2-GaInAs-Ge, можно в 2 раза уменьшить ее стоимость и сократить массу примерно в 1,3 раза. Но при этом площадь СБ, необходимой для выработки 100 кВт, увеличится в 2 раза.

Проектно-баллистический анализ. Анализ проводится в алгебраическом приближении по методике, описанной в работе [3].

Рассматривается перелет МБ с опорной околоземной орбиты (ОЗО) к рабочей окололунной орбите (РЛО). Полет разбивается на два участка: перелет с ОЗО к первой точке либрации системы Земля-Луна и от точки к РЛО. Параметры орбит:

Высота ОЗО  $H_0=800$  км над поверхностью Земли, наклонение  $i_0=51,6^\circ$

Высота точки либрации  $H_{k1}=383500$  км над поверхностью Земли

Высота РЛО  $H_{k2}=200$  км над поверхностью Луны, наклонение  $i_k=5,1^\circ$ .

Характеристическая скорость для первого участка перелета с заданными параметрами орбит  $v_{x1}=6785$  м/с, для второго участка перелета –  $v_{x2}=1479$  м/с [3]

Время перелета с ОЗО на РЛО определяется по формуле [3]:

$$t_{\Sigma} = \frac{M_0}{4 \cdot m_f} \cdot \left( 1 - \exp\left(\frac{-v_{x1} - v_{x2}}{I}\right) \right),$$

где  $M_0$  – стартовая масса МБ.

Чтобы обеспечить однопусковую схему вывода МБ, а также исходя из суммарной тяги двигательной установки, стартовая масса задается  $M_0=18$  т. Груз такой массы на заданную опорную орбиту способна вывести ракета-носитель «Протон-М». С такой стартовой массой время перелета с ОЗО на РЛО составит  $t_{\Sigma}=380$  сут.

Стартовую массу МБ на опорной орбите можно записать следующим выражением:

$$M_0 = M_{ПН} + M_{ЭДУ} + M_{Т\Sigma} + M_{ТО} + M_K,$$

где  $M_{ПН}$  — масса полезной нагрузки МБ;  $M_{ЭДУ}$  — масса энергодвигательной установки (ЭДУ);  $M_{Т\Sigma}$  – масса топлива, необходимая для перелета;  $M_{ТО}$  — масса топливного отсека;  $M_K$  — масса конструкции МБ.

Используя методику, изложенную в [3], и принимая коэффициент топливного отсека и коэффициент конструкции равными 0,1, можно определить массу топлива, массу топливного отсека и массу конструкции:  $M_{Т\Sigma}=4104$  кг;  $M_{ТО}=410$  кг;  $M_K=1800$  кг. Массу ЭДУ в первом приближении можно считать в 3 раза большей массы СБ

Для оценки эффективности МБ удобно использовать коэффициент полезной нагрузки  $\alpha_{ПН}$  – отношение массы полезной нагрузки к стартовой массе. В табл. 4 приведены значения  $\alpha_{ПН}$  для МБ с ФЭП из материалов, рассмотренных выше.

Таблица 4. Массовые характеристики МБ

Материал	Площадь СБ, м <sup>2</sup>	Коэффициент полезной нагрузки	Масса полезной нагрузки, кг
mc-Si	667	0,492	9022
a-Si	1132	0,596	10734
GaInP2-GaInAs-Ge	357	0,558	10041
GaAs	397	0,547	9849
Смешанная СБ ( $\beta=0,5$ )	745	0,577	10386

Из таблицы 4 следует, что наилучшим материалом для ФЭП с точки зрения коэффициента полезной нагрузки МБ является аморфный кремний. Однако большая площадь СБ из a-Si, необходимая для обеспечения номинальной мощности в 100 кВт, создает большие технические сложности. Батареи такой площади будет сложно скомпоновать так, чтобы они поместились под обтекателем РН, например, полезный объем под обтекателем PLF-BR-1525 для РН «Протон-М» не превышает 300 м<sup>3</sup> [4]. Поэтому наиболее эффективными для подобного проекта являются солнечные батареи на основе гетероструктурных ФЭП из GaInP2-GaInAs-Ge или GaAs, либо, для снижения стоимости, смешанная СБ, состоящая из гетероструктурного ФЭП и a-Si.

Для более подробного анализа влияния энергомассовых параметров ФЭП на характеристики МБ используется удельная масса  $\gamma_{фэп}$ , кг/кВт. Для материалов ФЭП, рассмотренных выше значения  $\gamma_{фэп}$  приведены в табл. 5.

Таблица 5. Удельная масса для различных ФЭП в начале САС.

Материал	mc-Si	a-Si	GaInP2-GaInAs-Ge	GaAs	Смешанная СБ ( $\beta=0,5$ )
$\gamma_{фэп}$ , кг/кВт	7,25	3,2	4,6	5,2	4,5

Используя выражение для коэффициента полезной нагрузки из [3] можно построить график зависимости коэффициента полезной нагрузки от удельной массы ФЭП, приведенный на рис. 1. При этом, снижение  $\gamma_{фэп}$  кроме прямого снижения стартовой массы МБ (рис. 1), уменьшает значение оптимального удельного импульса). А это, во-первых, конструктивно упрощает ЭДУ, поскольку удельный импульс пропорционален ускоряющему напряжению, и, во-вторых, снижает требуемую мощность электроракетной двигательной установки:

Главным преимуществом электроракетных двигателей перед ЖРД является высокий удельный импульс, т.е. экономичность, и как результат – более высокий удельный импульс. Поэтому МБ с солнечными батареями должен обладать как можно более высоким коэффициентом полезной нагрузки, чтобы быть конкурентоспособным с традиционными космическими аппаратами, оснащенными ЖРД. По некоторым оценкам это достигается при  $\alpha_{пн} \sim 0,4$ , исходя из этого условия, можно сделать вывод, что из приведенных типов только монокристаллические кремниевые ФЭП не подходят для подобного проекта. К тому же монокристаллический кремний менее радиационно стоек, чем остальные из приведенных материалов, а это свойство будет весьма важным при длительном перелете к Луне.

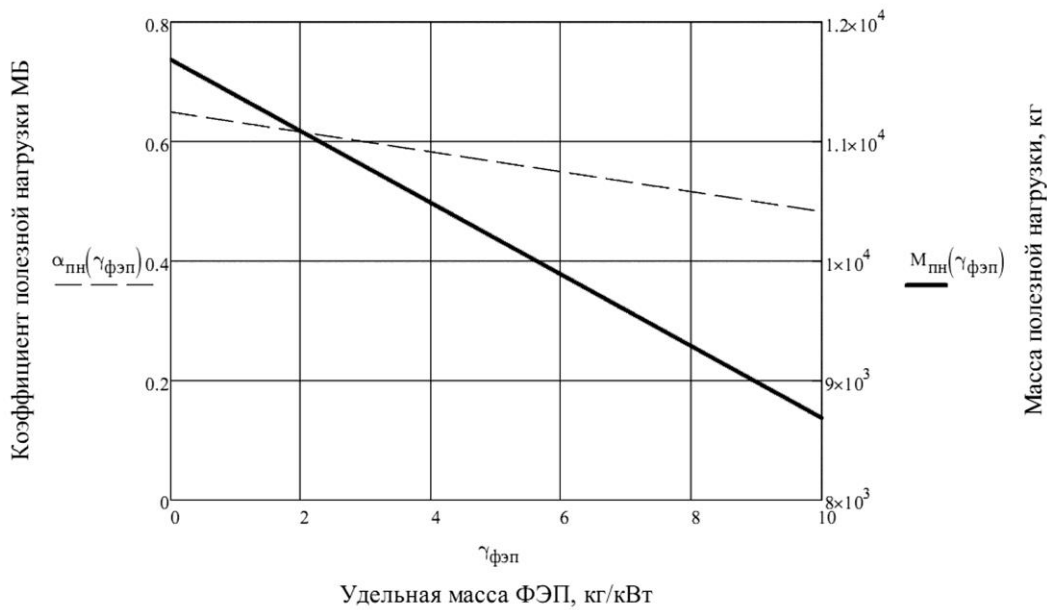


Рис.1. Зависимость коэффициента и массы полезной нагрузки МБ от удельной массы ФЭП.

**Закключение.** В настоящее время разработка межорбитального буксира на солнечной энергии с мощностью около 100 кВт затруднено необходимостью создания развертываемых солнечных батарей большой площади, что сопряжено с большим количеством технических сложностей. Среди видов ФЭП, существующих в настоящее время, наиболее привлекательными являются многопереходные гетероструктуры (например, GaInP2-GaInAs-Ge и GaAs), способные обеспечить до 300 Вт/м<sup>2</sup>, а в перспективе и до 400-500 Вт/м<sup>2</sup> на орбите Земли. Однако их широкое применение ограничивает высокая стоимость, обусловленная редкостью используемых материалов (Ga, In, Ge). Для повышения эффективности солнечных энергодвигательных установок и конкурентоспособности по сравнению с ядерными ЭДУ необходимо дальнейшее улучшение удельных характеристик: снижение удельной массы, повышение удельной мощности. В силу того что для создания большой тяги электроракетными двигателями мощности порядка 100 кВт недостаточно, использовать подобный МБ для транспортировки грузов к Луне имеет смысл лишь при отсутствии жестких ограничений по времени перелета. Более целесообразным может быть использование подобного буксира для транспортных операций вблизи Земли, например для доведения КА на ГСО.

#### Список литературы:

1. <http://www.saturn.kuban.ru/>
2. <http://www.npp-kvant.ru/>
3. Мигунов Я.Н. Исследование параметров лунного буксира для транспортной операции//Молодежный научно-технический вестник. Электронный журнал. 2013. URL: <http://sntbul.bmstu.ru/doc/569406.html> (дата обращения: 24.11.2013)
4. <http://www.ilslaunch.com/sites/default/files/pdf/PMPG%20Section%204.pdf>

**Исследование циркуляционного подогрева мазута в отдельных 4-х резервуарных схемах мазутных хозяйств ТЭС**

**Московкина Е.О., Лившиц С.А.**

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Казанский Государственный Энергетический Университет»,  
Россия, г. Казань*

[katrina2004@yandex.ru](mailto:katrina2004@yandex.ru)

Мазут как топливо обладает рядом несомненных преимуществ, а именно высокая теплотворная способность (9500 ккал/кг) и малое содержание золы (0,3-0,5%), но он имеет и ряд серьезных недостатков, таких, как нестабильный состав каждой партии, многоступенчатость подготовки к сжиганию, высокое содержание серы (более 3,5%), высокая температура застывания (25-300С), высокая стоимость.

В последние годы ставится задача сокращения масштабов сжигания мазута на ТЭС. Но резко сократить потребление мазута проблематично, так как мазут на тепловых станциях необходим для улучшения сжигания топлив пониженной теплоценности, а также для подсветки факела и растопки котлов.

Таким образом, мазут продолжает играть важную роль в топливно – энергетическом балансе нашей страны. Мазутное хозяйство является одним из основных потребителей энергии, идущей на собственные нужды тепловой электростанции.

Основное назначение мазутного хозяйства ТЭС или котельной – обеспечение бесперебойной подачи к котлам подогретого и отфильтрованного мазута в необходимом количестве и с соответствующими давлением и вязкостью.

Подогретое состояние топлива - важнейшее условие, соблюдение которого предотвращает застывание и обводнение топлива при его хранении в резервуарах.

Наиболее рациональным методом подогрева мазута в основных резервуарах мазутного хозяйства является циркуляционный метод, который представляет собой подогрев по отдельному, специально выделенному контуру. Основное преимущество рассматриваемого метода заключается в том, что время подогрева мазута сокращено за счет качественного перемешивания топлива в резервуарах, позволяющего достичь высокой однородности мазута и равномерности распределения температур.

При рассмотрении циркуляционного подогрева мазута повышение температуры мазута в подогревателе можно считать постоянным (это условие при неизменной циркуляции соответствует постоянной мощности подогревателя):

$$\Delta t = t_n'' - t_n' = \text{const} \quad (1)$$

Уравнение теплового баланса при  $tn'' - tn' = \Delta t = \text{const}$  имеет вид:

$$bc \Delta t d\tau = Bc dt + k_p F_p (t - t_0) d\tau \quad (2)$$

После разделения переменных и интегрирования от  $tn$  до  $tk$  и от 0 до  $\tau$ , при  $c$  и  $k_p \text{ const}$  в [2] получено:

$$\tau^* = \frac{Bc}{k_p F_p} \ln \frac{bc \Delta t - k_p F_p (t_n + t_0)}{bc \Delta t - k_p F_p (t_k + t_0)} \quad (3)$$

Анализ показывает, что для рассматриваемого случая период подогрева  $\tau$  при прочих равных условиях будет меньше, чем при условии  $tn = \text{const}$ . При  $tn = \text{const}$  период подогрева (или количество циркулирующего продукта - производительность насоса  $b$ ) может быть определен из уравнения теплового баланса [1]

$$bc(t_n'' + t_n') d\tau = Bc dt + k_p F_p (t - t_0) d\tau \quad (4)$$

После разделения переменных и интегрирования от начальной температуры топлива  $tn$  до конечной  $tk$  и от 0 до  $\tau$  при  $c = \text{const}$  и  $k_p = \text{const}$ ,

в [1, 3] получена формула для нахождения времени циркуляционного подогрева:

$$\tau = \frac{Bc}{bc + k_p F_p} \ln \frac{bc t_n'' - k_p F_p t_0 - (bc + k_p F_p) t_n}{bc t_n'' + k_p F_p t_0 - (bc + k_p F_p) t_k} \quad (5)$$

Таким образом, в [2,4] и в действующих методиках вне зависимости от схемы циркуляционного подогрева, независимо от количества резервуаров и схемы их обвязки

определение времени подогрева, а при заданном  $\tau$  и количества циркулирующего мазута  $b$  находится по уравнениям (3) и (5).

Рассмотрим моделирование циркуляционного подогрева мазута в системе из 4-х резервуаров и одного подогревателя [1].

Если рассматривать в качестве исходной постановки систему из 4-х линейных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами для четырех неизвестных функций  $t_i(\tau)$ :

$$\frac{dt_i}{d\tau} + B_i t_i - \sum_{j=1}^4 C_{ij} t_j = D_i, \quad i = \overline{1,4} \quad (6)$$

В матричном виде она примет вид:

$$\bar{t}' = A\bar{t} + \bar{D}, \quad \text{где } \bar{t} = \begin{pmatrix} t_1 \\ t_2 \\ t_3 \\ t_4 \end{pmatrix}; \quad A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{pmatrix}; \quad \bar{D} = \begin{pmatrix} D_1 \\ D_2 \\ D_3 \\ D_4 \end{pmatrix}, \quad (7)$$

$$\left. \begin{aligned} a_{ii} &= -B_i + C_{ij} < 0, & i &= \overline{1,4} \\ a_{ij} &= +C_{ij} > 0, & i, j &= \overline{1,4} \quad (i \neq j) \end{aligned} \right\}$$

Анализ условий эксплуатации мазутных хозяйств ТЭС позволяет выделить ряд задач:

1. Определение температурно-временных зависимостей циркуляционного подогрева мазута  $t_i(\tau)$  ( $i = \overline{1,4}$ ) при заданных расходах  $G_{pi}$  ( $i = \overline{1,4}$ ) и  $G_{0i}$  ( $i = \overline{1,4}$ ).
2. Определение необходимых соотношений расходов мазута  $G_{0i}$  и  $G_i$ , обеспечивающих поддержание заданной температуры мазута во всех резервуарах.
3. Определение необходимых соотношений расходов мазута  $G_{0i}$  и  $G_i$ , обеспечивающих достижение заданной температуры мазута  $t_{ki}$  за период времени  $t_k$ .

На основе разработанной математической модели было проведено численное решение указанных задач и исследование функциональных зависимостей подогрева для системы из 4-х резервуаров в одноступенчатой раздельной теплотехнологической схеме мазутного хозяйства ТЭС.

#### Список литературы:

1. Шагеев М.Ф. Моделирование и исследование циркуляционного подогрева мазута в раздельных 4-х резервуарных схемах мазутных хозяйств ТЭС // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Казань: 2003.
2. Кривоногов Б.М. Мазутное хозяйство котельных. Л.: ЛИСИ. 1975.
3. Геллер З.И. Мазут как топливо. М.: Недра. 1965.
4. Геллер З.И., Ашихмин В.И. Об эффективности циркуляционного подогрева мазута в резервуарах. // Электрические станции, 1966, № 4.

#### Результаты экспериментального исследования циклонных пиролизеров горючих сланцев

**Мракин А.Н., Агеев М.А.**

*Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Россия, г.*

*Саратов*

*anton1987.87@mail.ru*

Перспективные технологические процессы по переработке сланца имеют огромное количество основных и вспомогательных аппаратов, при этом необходимо стремиться как к снижению металлоемкости аппаратов, так и повышению компактности установок в целом [1]. Одним из путей решения поставленной проблемы является организация циклонного принципа термоокислительной деструкции пылевидного сланца [2].

Преимущества циклонных реакторов:



- интенсификация процессов тепломассообмена между газовой фазой и частицами топлива;
- возможность достижения высоких температур в рабочей камере;
- создаются условия для повышения удельной производительности и создания компактных реакторов-пиролизеров;
- совмещение термообработки с первой ступенью сепарации коксового остатка.

При переработке пылевидного сланца с применением реакторов проточного типа, циклонных реакторов или устройств, сочетающих прямоток с циклонным принципом, возможно осуществление режима скоростного нагрева. Тем самым открываются перспективы создания аппаратов высокой единичной производительности и создаются условия для воздействия на процессы формирования состава конечных продуктов пиролиза. Возможны следующие варианты скоростного пиролиза пылевидного сланца:

а) пиролиз в среде инертного носителя ( $N_2$ , Ar) – применяется в лабораторных исследованиях для изучения механизма деструкции природных высокомолекулярных соединений в условиях скоростного нагрева частиц топлива (сланец, торф, бурый уголь).

б) пиролиз с использованием ограниченного количества окислителя ( $\alpha=0,05-0,1$ ) – технологии переработки пылевидного сланца с целью получения газового энергоносителя и жидких продуктов с высоким содержанием ароматических и гетероциклических соединений.

в) пиролиз в среде перегретого водяного пара – получение газовых смесей с высоким содержанием водорода и окиси углерода, пригодных для синтеза метанола и других спиртов.

г) пиролиз пылевидного сланца с частичной рециркуляцией пиролизного газа – для подачи пылевидного топлива в высокотемпературную зону реактора отбирается 10-15 % пиролизного газа на рециркуляцию, в этом случае такие реакционноспособные компоненты пиролизного газа, как диеновые углеводороды и сероводород, участвуют в процессах пирогенетического синтеза бензольных углеводородов и гетероатомных соединений.

В связи с этим нами на основе имеющихся экспериментальных работ [3, 4] проводится их систематизация и обобщение для использования при проектировании автотермического реактора. В эксперименте использовался Перелюб-Благодатовский сланец составом на сухую массу  $A=53,9\%$ ;  $C=26,8\%$ ;  $H=3,6\%$ ;  $S_{общ}=4,2\%$  и  $(CO_2)_{к}=7,8\%$  с фракцией 0-0,2 мм при температуре стенки реактора 850 оС.

Возможность получения газообразного топлива путем скоростного пиролиза сернистых сланцев изучалось на экспериментальной установке, схема которой приведена на рис. 1, а принцип работы изложен в [3].

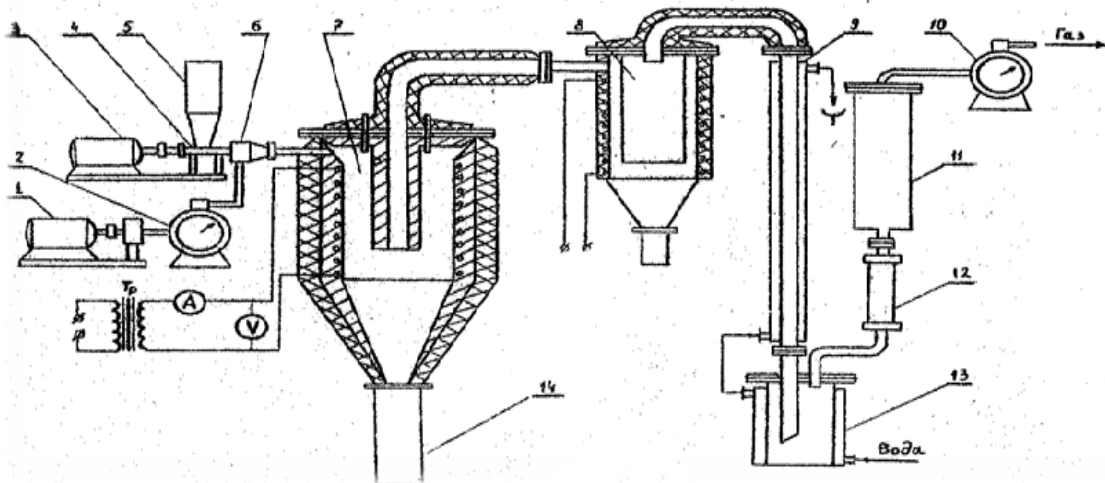


Рисунок 1. Схема экспериментальной установки 1 – воздуходувка; 2, 10 – газовые часы; 3 – электродвигатель; 4 – шнековый питатель; 5 – бункер для топлива; 6 – смеситель; 7 – реактор с нихромовым электронагревателем; 8 – футерованный циклон; 9 – водяной холодильник; 11 – колонка-адсорбера; 12 – колонка с  $CaCl_2$ ; 13 – сборник жидких продуктов; 14 – бункер кокса.

Для повышения температуры в верхней части реактора необходимо предусмотреть подогрев воздуха. Так же необходимо отслеживать устойчивую крутку газозвеси, что может быть достигнуто применением набора сопел переменного сечения.

В качестве транспортирующего агента использовался воздух, расход которого поддерживался примерно на одном уровне и составлял 0,222–0,231 кг/кг сухого сланца (это соответствовало коэффициенту расхода воздуха  $\alpha=0,05$ ). Исключением был режим при температуре 750 оС - в этом опыте расход воздуха составлял 0,354 кг/кг сухого сланца. Материальные балансы опытов по термоокислительному пиролизу сланцев в циклонном реакторе показаны в табл. 1.

Таблица 1. Материальные балансы опытов.

Статьи баланса	Температура, оС			
	750	800	860	900
Приход, кг				
Сланец сухой	1,0	1,0	1,0	1,0
Влага сланца	0,032	0,032	0,032	0,32
Воздух	0,354	0,227	0,231	0,222
Итого:	1,386	1,259	1,263	1,254
Расход, кг				
Пиролизный газ	0,468	0,364	0,390	0,470
Кокс	0,759	0,743	0,713	0,617
Смола	0,118	0,062	0,052	0,017
Водный конденсат		0,081	0,091	0,103
Привес колонки с углем	0,062	0,022	0,015	0,009
Итого:	1,407	1,272	1,261	1,270
Невязка баланса, кг/%	0,021/1,5	0,013/1,0	0,002/0,16	0,016/1,3

Из приведенных статей материального баланса видно, что по мере повышения конечной температуры нагрева (увеличивается подача воздуха в зону пиролиза) существенно уменьшается выход кокса и смолы. Это является показателем глубины превращения органической массы сланца при заданных условиях проведения процессов. В результате деструктивных процессов значительная часть керогена сланца превращается в низкомолекулярные соединения – пиролизный газ, выход которого увеличивается с повышением температуры пиролиза.

В составе жидких продуктов термической переработки обнаружен пиробензол (газовый бензин). На его выход оказывает влияние не только конечная температура процесса, но и расход воздуха. Так при расходе воздуха 257 г/ кг сухого сланца выход газового бензина составляет 15,6 г/кг сухого сланца, а при расходе воздуха 367 г/ кг сухого сланца – 23 г, что в пересчете на органическую массу составляет 4,9%. Состав пиробензола, полученного в опытах по окислительному пиролизу при температуре 850 оС представлен в табл. 2.

Таблица 2. Состав пиробензола (газового бензина).

Расход воздуха, г/кг сухого сланца	Компонент, %				
	бензол	тиофен	толуол	метил- бензол	Не идентифицированные примеси
257	73,6	25,9	-	0,1	0,4
367	63,1	20,6	13,8	-	2,5

Как видно из таблицы основными компонентами газового бензина являются бензол и тиофен – ценное сырье для предприятий органического синтеза.

Выход и состав пиролизного газа приведен в табл. 3. Из анализа приведенных в этой таблице данных видно, что пирогаз характеризуется высоким содержанием сероводорода, количество которого увеличивается при повышении температуры.

Таблица 3. Характеристика полукоксового газа.

Температура в реакторе, оС	Расход воздуха, м <sup>3</sup> /кг сух. сл.	Выход газа, м <sup>3</sup> /кг сух. сл.	Состав пиролизного газа, %							Q <sub>нр</sub> , кДж/м <sup>3</sup>
			CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	CnHm	CO	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub>	
750	0,275	0,368	12,4	1,6	6,7	11,4	4,2	4,8	58,9	7574
800	0,176	0,304	14,6	2,1	8,1	12,4	8,9	8,9	45,7	10254
850	0,183	0,328	14,3	1,5	7,7	12,8	10,7	9,0	44,0	10551
900	0,172	0,416	16,3	2,3	6,4	15,6	15,8	10,9	32,7	11368

Пиролизный газ содержит большое количество сероводорода по сравнению с газом прямоточных пиролизных установок, объясняется это тем, что в циклонном реакторе происходит разделение твердой и газовой фаз, при этом ухудшаются условия контакта газа и пылевидного кокса. Степень пылеулавливания реактора составляет 80%, а 20% уносится парогазовой смесью и улавливается в циклоне-пылеосадителе.

При этом доля потенциального тепла сланца, перешедшего в газообразные продукты, повышается и при температуре 900 оС достигает 36 %, а также по мере повышения температуры процесса в газе пиролиза наблюдается увеличение содержания углекислого газа, что обусловлено, по-видимому, в значительной степени развитием реакций разложения карбонатов минеральной части сланца. При увеличении температуры в реакторе абсолютный выход водорода (H<sub>2</sub>), окиси углерода (CO), метана (CH<sub>4</sub>) возрастает, а количество непредельных углеводородов (C<sub>n</sub> H<sub>m</sub>) остается, примерно, на одном уровне.

Изменение состава коксового остатка, а также общее содержание серы и формы сернистых соединений при различных режимах пиролиза приведено в табл. 4.

Данные этой таблицы свидетельствуют о росте сероудерживающей способности коксовых остатков с повышением температуры пиролиза вследствие разложения карбонатов и связывания сероводорода окисью кальция. На увеличение степени разложения карбонатов указывает обстоятельство, что в коксе наблюдается уменьшение содержания карбонатной углекислоты. Пылевидный кокс характеризуется достаточно высокой теплотой сгорания и может быть использован для обеспечения теплом проведения процесса термического разложения.

Таблица 4. Характеристика коксового остатка.

Температура в реакторе, оС	C <sub>c</sub> , %	H <sub>c</sub> , %	S <sub>общ.</sub> , %	S <sub>сффт</sub> , %	S <sub>сфд</sub> , %	S <sub>орг</sub> , %	(CO <sub>2</sub> ) <sub>к</sub> , %	Q <sub>нр</sub> , кДж/кг
750	12,02	1,12	2,07	0,56	0,65	0,57	11,09	5383
800	11,55	1,35	1,97	0,39	1,02	1,37	11,22	5479
900	10,19	0,67	2,27	0,57	1,37	0,33	9,92	4331

При реализации изучаемого процесса в промышленной установке за счет более длительного времени пребывания частиц в объеме циклонной камеры будут созданы благоприятные условия для пиролиза смоляных паров и разложения карбонатов минеральной части. Экспериментальными работами [5] показано, что углекислота, образовавшаяся в результате разложения карбонатов, способна взаимодействовать с углеродом коксового остатка, образуя окись углерода. В результате этих процессов увеличивается глубина разложения органического вещества топлива, повышается выход газообразных продуктов, возрастает доля потенциального тепла топлива, перешедшего в газ и улучшаются экологические показатели установки.

#### Заключение

1. Повышение рабочей температуры до 950 °С позволит увеличить выход газа и содержание ароматических углеводородов, однако с целью получения смоляных продуктов температура должна не превышать 500 °С что по нашему мнению достигается более простыми техническими средствами.

2. Экспериментально установлено, что при переработке пылевидного волжского сланца, относительный выход сырого пиролизного бензола, по сравнению с окислительным пиролизом, возрастает на 30-50 % , увеличивается содержание в нем сероуглерода и тиофена. Вместе с тем снижается содержание балластных компонентов в пиролизном газе, что приводит к уменьшению объема продуцируемого газа и повышению концентрации сырого пиробензола в нем. Последнее

обстоятельство, несомненно, повысит эффективность работы устройств для выделения сырого бензола, а точнее, тиофено-ароматического концентрата из потока продуктов скоростного пиролиза.

3. Систематизированы экспериментальные результаты, которые могут стать информационной базой при создании опытно-промышленных установок термохимической конверсии горючих сланцев с использованием циклонных реакторов.

#### Список литературы:

1. Блохин А.И., Зарецкий М.И., Стельмах Г.П., Эйвазов Т.С. Новые технологии переработки высокосернистых сланцев. – М.: Светлый СТАН, 2001. – 192 с.
2. Каширский В.Г., Коваль А.А. Горючие сланцы Поволжья: прошлое, настоящее, будущее. – Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2007. – 156 с.
3. Каштанов В.В. Разработка и исследование способа применения многосернистого сланца в качестве энергетического и технологического топлива: дис. ... канд. техн. наук. – Саратов, 1982. – 186 с.
4. Каштанов В.В. О применении реакторов циклонного типа для термической переработки пылевидного сланца // Исследования в области комплексного энерготехнологического использования топлива: межвуз. науч. сб. – Саратов: Сарат. политехн. ин-т, 1982. – С. 33-40.
5. Каширский В.Г., Терпугова В.С. О роли карбонатной углекислоты в процессах газообразования при термической переработке и газификации сланца // Ученые записки СГУ: сб. науч. тр. – Саратов: Сарат. гос. ун-т, 1952. - Т.30. - С. 249-257.

#### Оценка эффективности применения пвм на базе тэц-1

*Ахметов Э.А., Нигметзянова А.А., Ахметова Р.В.*

*Казанский государственный энергетический университет, Россия, г. Казань  
[nigmatzyanova.aliya@mail.ru](mailto:nigmatzyanova.aliya@mail.ru)*

Казанская ТЭЦ-1 – первенец Татарской энергосистемы, строилась она по плану ГОЭЛРО и принята в эксплуатацию в 1933 году. Свыше 70 лет Казанская ТЭЦ-1 является основным источником электро-теплоснабжения Южного промышленного района и центральной части г. Казани. Бурное развитие городского строительства г. Казани потребовало ввода новых мощностей. В соответствии с программой по энергосбережению, принятой в Республике Татарстан на период 2000-2005 гг., на Казанской ТЭЦ-1 30 июня 2006 года была введена в эксплуатацию ГТУ-ТЭЦ. Основа ГТУ - ТЭЦ – две газотурбинные установки ГТЭ-25/НК, производства ОАО «Моторостроитель», г. Самара, электрической мощностью 25 МВт каждая. Утилизация тепла выхлопных газов от установок осуществляется котлами-утилизаторами ТКУ-13 производства ОАО ТКЗ «Красный котельщик». Каждый котел-утилизатор имеет параметры пара  $P=3,0$  МПа,  $t=390^{\circ}\text{C}$ , паропроизводительность 35 т/ч, с газовым подогревателем сетевой воды (ГПСВ) теплопроизводительностью 9,6 Гкал/час [1].

ГТУ с котлами-утилизаторами были внедрены с расчетом, что произведенный пар на котлах-утилизаторах будет уходить на производство таких предприятий, как [ОАО "Нэфис-Косметикс"](#), ЗАО "КВАРТ", ОАО "КЗСК", ОАО "Холод", [ОАО "Татспиртпром"](#) филиал "Винзавод Казанский", ЗАО "НПО Компас", суммарное потребление пара которых составляло до 50 т/ч. Однако, в связи с снижением потребления предприятиями пара, а именно на сегодняшний день средний расход варьируется от 2 до 10 т/ч, встал остро вопрос об утилизации излишков пара с параметрами  $P=3,0$  МПа,  $t=390^{\circ}\text{C}$  и с паропроизводительностью 70 т/ч, в расчете на два котла-утилизатора. Сегодня на Казанской ТЭЦ-1 этот излишек пара дросселируется через РОУ 30/10 и далее через РОУ 10/1,2, что экономически нецелесообразно, теряется выработанная тепловая энергия. Эту проблему возможно решить установив параллельно РОУ паровую винтовую машину (ПВМ) либо же паровую турбину малой мощности, что позволит выработать дополнительную электроэнергию, которая может использоваться на собственные нужды ТЭЦ-1 [2].

Так схема включения паровой винтовой машины представлена на рисунке 1.

Выработка электрической энергии происходит за счёт использования высокопотенциальной энергии пара, бесполезно дросселируемого через РОУ. При этом дополнительного сжигания топлива не происходит. Такой вариант реконструкции позволит покрыть часть собственных нужд ТЭЦ-1 в электрической энергии, сократить расходы на

приобретение сетевой электроэнергии, снизить себестоимость произведенной тепловой энергии и получить дополнительную прибыль, что значительно повысит эффективность ТЭЦ-1 и является энергосберегающим решением.

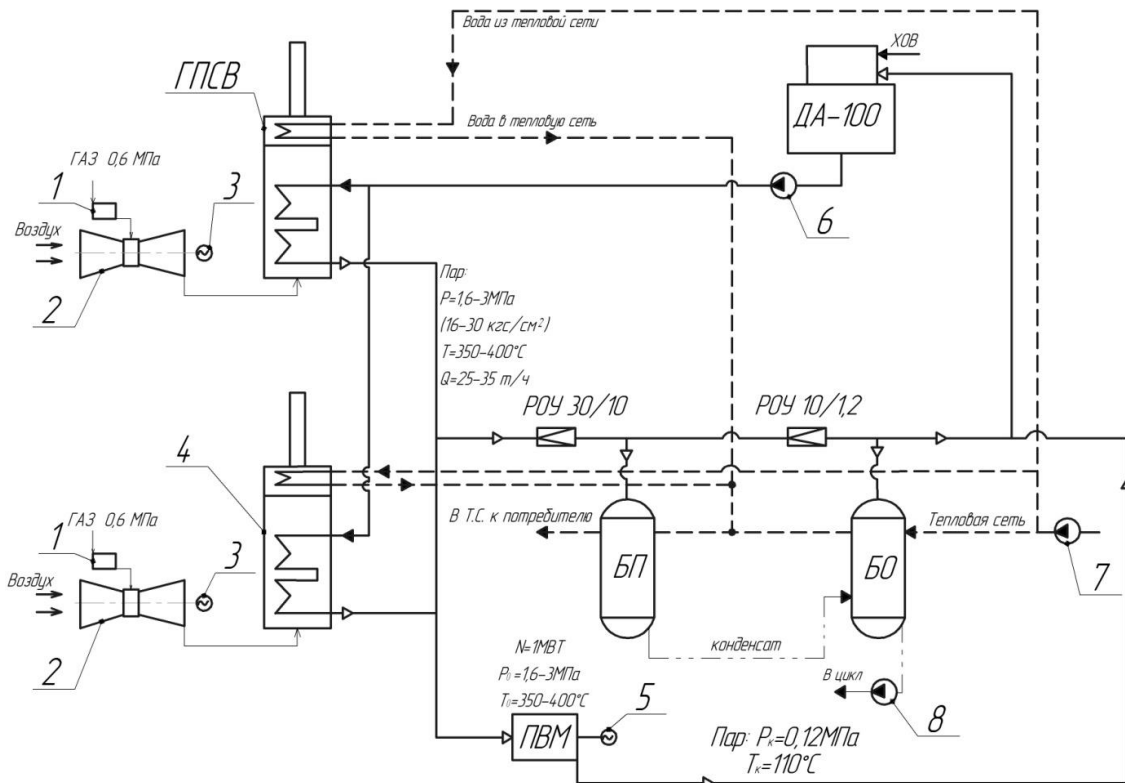


Рис.1. Схема включения ПВМ в существующий паропровод [2].

Где, 1 – дожимная компрессорная станция, сюда газ поступает с давлением равным 0,6 МПа, на выходе давление равно 3,5 – 4 МПа; 2 – ГТД (газотурбинный двигатель); 3 – турбогенератор; 4 – котел-утилизатор ТКУ-13; 5 – турбогенератор ПВМ;

6 – питательный насос (ПЭН); 7 – сетевой насос; 8 – конденсационный насос бойлеров (КНБ); ГПСВ – газовый подогреватель сетевой воды; РОУ – редукционно-охлаждающая установка; БО – бойлер основной; БП – бойлер пиковый; ДА – деаэратор вакуумного типа; ПВМ – паровая винтовая машина; ХОВ – химически отчищенная вода.

Обоснование эффективности применения именно такого решения может служить технико-экономический расчет паровинтовой машины с электрической мощностью генератора 1 МВт.

Стоимость ПВМ с генератором составляет 16 млн. руб., а стоимость дополнительного оборудования 5 млн. руб., что в сумме составляет 21 млн. руб. С учетом инфляции (в России по официальным данным на 2012г. инфляция составляла 6,6%, принимаем в данных расчетах 7%) стоимость всей установки будет равна 22,47 млн. руб.

Определение объема инвестиций

Стоимость установки – 22,47 млн. руб.

Затраты на монтаж и транспорт приняты в размере 10% и составляют 2,247 млн.руб.

Затраты на электрическую часть энергосберегающего мероприятия приняты в размере 7% от стоимости установки, что составляет 1,5729 млн. руб.  $\approx$  1,573 млн. руб.

Неучтенные расходы приняты в размере 3% от стоимости установки (0,6741 млн. руб.).

Стоимость научно-исследовательских и проектных работ принята 2,5 млн. руб.

Таким образом, капитальные затраты будут равны 29,464 млн. руб.

Расходная часть проекта

Затраты на заработную плату

Затраты на заработную плату отсутствуют, так как в штат не принимается дополнительный сотрудник, а обслуживание ПВМ входит в обязанности персонала ГТУ – цикла.

Тогда суммарные затраты на заработную плату составят

$$S_3 = 0 \text{ руб.}$$

Амортизационные отчисления

Амортизационные отчисления на здание отсутствуют, по причине того, что дополнительное здание не сооружается.

$$S_{\text{ам.}}^{\text{зд.}} = 0 \text{ руб.}$$

Стоимость установки и электрической аппаратуры составляет 24,0429 млн. руб.  $\approx$  24,043 млн. руб.

Норма амортизационных отчислений на оборудование – 3,7% [3].

Тогда амортизационные отчисления:

$$S_{\text{ам.}}^{\text{об.}} = 24,0429 \cdot 0,037 \approx 0,8896 \text{ млн. руб.}$$

Суммарные амортизационные отчисления будут равны: млн. руб.

Отчисления на ремонт оборудования

Расходы на ремонт оборудования принимаются в размере 20% от амортизационных отчислений [3].

$$S_D = 0,8896 \cdot 0,2 \approx 0,178 \text{ млн. руб.}$$

Суммарные эксплуатационные затраты без амортизации будут равны:

$$S_0 = S_3 + S_D = 0 + 0,178 = 0,178 \text{ млн. руб.}$$

Доходная часть проекта

Рассчитываем ПВМ с электрической мощностью генератора 1 МВт. Доходная часть проекта состоит в выработке электрической энергии.

Количество часов работы винтовой машины зависит от работы газотурбинных установок. ГТУ работают с определенной периодичностью, отработав 2000 часов, 10 дней находятся не в рабочем режиме. Исходя из этого, общее количество часов работы установки в году составляет 8064 ч.

В течение года может быть выработано электроэнергии – максимально при использовании рабочей мощности на протяжении 8064 часов:

$$Э = 1000 \cdot 8064 = 8064 \text{ тыс. кВт}\cdot\text{ч.}$$

Принимаем, что удельная стоимость электроэнергии составляет 1500 руб./ тыс. кВт·ч.

Суммарная стоимость выработанной электроэнергии будет равна:

$$S_3 = 8064 \cdot 1500 = 12,096 \text{ млн. руб.}$$

При капитальных затратах на установку паровинтовой машины в размере 29,464 млн. руб., срок окупаемости согласно данному расчету составляет около трех лет, что является рентабельно, так как для энергетики срок окупаемости капитальных вложений составляет 5–7 лет.

#### Список литературы:

1. <http://www.tatgencom.ru>
2. Ахметов А.А., Нигметзянова А.А. Использование ПВМ при утилизации излишков пара на Казанской ТЭЦ-1 // Всероссийская научно-практическая конференция, посвященная 50-летию г. Нефтекамска. – 2013.
3. <http://www.zakonprost.ru>

#### Методика измерения тепловых сопротивлений материалов и конструкций. Расчет теплопроводности материалов

**Никитушкин И.В.**

ОАО «НПЦ «Полюс», Россия, г. Томск

[igor.nikitushkin@gmail.com](mailto:igor.nikitushkin@gmail.com)

На предприятиях космической отрасли промышленности и в приборостроении в целом перед материаловедами ставится ряд задач по контролю характеристик материалов на разных этапах производства:

- входной контроль вновь поступающих материалов,
- периодический контроль свойств материалов при длительном хранении,
- проверки при технологическом сопровождении производства.

Необходимость проведения таких проверок особенно оправдана в последнее время из-за наводнения рынка контрафактными материалами и применяемыми при их производстве компонентами сомнительного качества.

В случаях, когда речь идет об изоляционных материалах и материалах с высокой проводимостью, основными данными для расчетов и практического применения в теплопроводящих конструкциях являются данные об их теплопроводности или температуропроводности.

При входном и периодическом контроле теплопроводящих материалов проверяется срок годности, внешний вид, цвет, вязкость у пастообразных материалов, а такая важная характеристика как коэффициент теплопроводности  $\lambda$  (далее – «КТ»), как правило, вообще не контролируется. Это связано с тем, что для измерения КТ требуется дорогостоящее импортное оборудование термического анализа. Имеющиеся измерители КТ отечественного производства относятся к советскому периоду разработки и ввиду морального устаревания и технического износа не отвечают современным требованиям. А пользоваться услугами сторонних организаций, имеющих в своем распоряжении требуемое оборудование, не всегда экономически оправдано.

В конечном итоге это привело к созданию дешевой, быстрой и относительно точной методике контроля теплопроводящих свойств материалов и конструкций.

Данная методика предназначена для измерения тепловых сопротивлений (далее – «ТС») образцов материалов, многослойных конструкций, систем изоляции теплонагруженных электрорадиоизделий и т.д. КТ материала рассчитывается по измеренному значению ТС и линейным размерам исследуемого образца материала.

Как известно [1], измерение ТС материала  $R_t$  основано на определении в стационарном режиме разности температур на поверхностях образца материала  $\Delta T$ , при воздействии постоянной тепловой мощности  $P$  на одну из поверхностей образца:

$$R_t = \frac{\Delta T}{P}, \quad (1)$$

где  $\Delta T$  – перепад температур на стенках плоского образца материала, °К;  $P$  – мощность теплового потока через образец, Вт.

Таким образом, для измерения ТС образца материала необходим источник тепла известной мощности на одной поверхности образца, теплоотвод (радиатор) с другой поверхности образца и средства измерения температуры источника и теплоотвода.

Не учитывая состояние окружающей среды и переходные потери, точность замера ТС испытуемого образца будет определяться точностью контроля перепада температур и мощности источника тепла. Поэтому было решено в качестве источника тепла применить биполярный кремниевый транзистор. Это позволит легко контролировать рассеиваемую тепловую мощность на источнике тепла – кристалле транзистора, а его температуру измерять косвенно по температурозависимому параметру – величине падения напряжения на эмиттерном переходе  $U_{\text{эз}}$ . Температура на обратной поверхности образца (или радиаторе) определяется классическим способом – термоэлектрическим преобразователем  $Kt$ , рис. 1

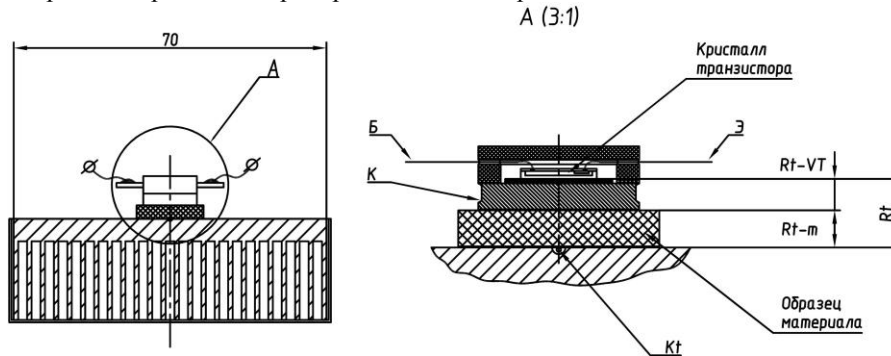


Рис. 1. Тепловая модель измерения ТС образца материала.

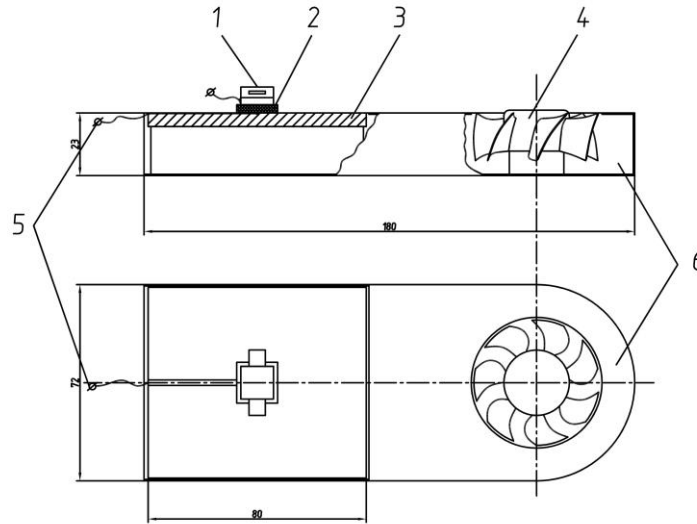
Если испытуемый образец материала (рис. 1) поместить на пути теплового потока между кристаллом транзистора и радиатором, то искомое ТС образца материала  $R_{t-m}$  определится разницей между ТС «кристалл-радиатор»  $R_t$  и ТС измерительной ячейки  $R_{t-VT}$ :

$$R_{t-m} = R_t - R_{t-VT}, \quad (2)$$

где  $R_t$  – ТС системы «кристалл – радиатор», определяемое экспериментально, К/Вт;  $R_{t-VT}$  – собственное ТС измерительной ячейки (ТС транзистора + ТС крепежа) «кристалл – основание», К/Вт.

ТС измерительной ячейки  $R_{t-VT}$  может быть взято как ТС «кристалл-корпус» из справочных данных для транзистора, однако в этом случае в тепловой модели необходимо будет учитывать ТС самой измерительной ячейки: контактных переходов смазки, системы крепежа, потери на излучение и т.д. Поэтому собственное ТС измерительной ячейки целесообразно определять экспериментально, проведя измерение при отсутствии образца материала.

Для реализации методики разработана измерительная ячейка, рис. 2.

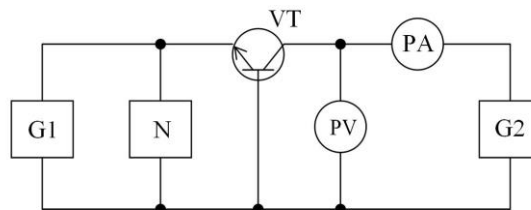


**Рис. 2.** Измерительная ячейка: 1 – транзистор биполярный эпитаксиально-планарной структуры p-n типа «2Т866А»; 2 – испытуемый образец; 3 – радиатор; 4 – вентилятор охлаждения; 5 – вывод термопары; 6 – кожух.

Транзистор 1 устанавливается регулируемым прижимным усилием (условно не показано) на теплоотводящий медный радиатор 3 через исследуемый образец материала (или конструкцию) 2 с применением смазки для улучшения теплового контакта (теплопроводная паста, кремнийорганическая жидкость). Для охлаждения радиатора, в корпусе 6 предусмотрен вентилятор 4. Температура радиатора измеряется термопарой 5. Термопара устанавливается на поверхности радиатора во фрезерованный канал под образцом и заполняется металлополимерным компаундом. Поверхность радиатора шлифуется таким образом, чтобы спай термопары оголился до металлического блеска.

Принцип косвенных измерений температуры кристалла транзистора по падению напряжения на эмиттерном переходе  $U_{\text{э}}$  заимствован из «Метода измерения теплового сопротивления биполярных транзисторов по прямому падению напряжения на эмиттерном переходе» [2].

Суть метода заключается в определении приращения мощности, необходимой для поддержания постоянной температуры кристалла транзистора ( $U_{\text{э}}$ ) при изменении температуры на радиаторе на известную величину. Принципиальная схема включения транзистора приведена на рис. 3.



**Рис. 3.** Принципиальная схема: G1 – генератор постоянного тока эмиттера; G2 – генератор постоянного напряжения; N – милливольтметр; PV – вольтметр; PA – амперметр; VT – транзистор.



Измерение ТС «кристалл-радиатор»  $R_t$  сводится к двум циклам измерения.

В первом цикле на транзисторе рассеивается мощность  $P_1 = I_K \cdot U_{K1}$  и фиксируются значения температуры радиатора  $T_1$  и падение напряжения  $U_{\text{бэ}}$ .

Во втором цикле измерений улучшаются условия конвективного теплоотвода с радиатора (включается вентилятор 4, рис.2), и путем увеличения мощности до  $P_2 = I_K \cdot U_{K2}$ , значение  $U_{\text{бэ}}$  удерживается на уровне, достигнутом в первом цикле измерений, фиксируется температура радиатора  $T_2$ . Таким образом, на кристалле транзистора поддерживается постоянная температура и исключается из решения (4) системы уравнений (3).

Следует отметить, что способ варьирования условиями конвективного теплоотвода выбран как самый простой в реализации. Того же эффекта можно добиться применением водяного охлаждения или проведением измерений термостате.

Т.к. температура кристалла ( $T_K$ ) в обоих циклах неизменна, то согласно (1):

$$\begin{cases} R_t = \frac{T_K - T_1}{P_1} \\ R_t = \frac{T_K - T_2}{P_2} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} T_K = P_1 \cdot R_t + T_1 \\ T_K = P_2 \cdot R_t + T_2 \end{cases}, \quad (3)$$

тогда ТС «кристалл-радиатор» ( $R_t$ ) можно рассчитать по формуле:

$$R_t = \frac{T_2 - T_1}{P_1 - P_2} = \frac{T_2 - T_1}{(U_{K1} - U_{K2}) \cdot I_K}, \quad (4)$$

где  $U_{K1}$ ,  $U_{K2}$  – напряжение коллектора транзистора в первом и втором циклах измерений, В;  $I_K$  – ток коллектора транзистора, А.

Погрешность измерения ТС не превышает 13% [2] и зависит от класса точности источников питания G1, G2 и выбранных режимов.

Расчет КТ материала можно выполнить двумя способами.

Для выполнения расчета КТ материала по известному ТС требуется знать измеренное ТС  $R_t$  с образцом материала, собственное ТС измерительной ячейки  $R_{t-VT}$  без образца и линейные размеры образца.

КТ материала  $\lambda$  определяется по формуле для плоской стенки по [1]:

$$\lambda = \frac{\delta}{R_t - m \cdot S},$$

где  $\lambda$  – КТ материала, Вт/К·м;  $\delta$  – толщина образца, м;  $R_{t-m}$  – ТС материала, определенное по (2), К/Вт;  $S$  – площадь поверхности, м<sup>2</sup>.

В случае конструкции, состоящей из последовательных слоев материалов, данная величина будет являться эквивалентным КТ  $\lambda_{\text{эк}}$ . Для определения КТ каждого из слоев можно воспользоваться формулой для многослойной стенки [1]:

$$\lambda_{\text{эк}} = \frac{\sum \delta_i}{\sum \frac{\delta_i}{\lambda_i}},$$

где  $\delta_i$  и  $\lambda_i$  – толщина и КТ  $i$ -ого слоя конструкции.

Для выполнения расчета КТ материала методом сравнения с эталонным образцом требуется знать только измеренные ТС ( $R_t$ ) с образцами материалов, их линейные размеры и КТ как минимум одного из материалов – «эталона».

Если ТС измерительной ячейки выразить через (2):

$$\begin{cases} R_{t-VT} = R_t - I - R_{tm} - I = R_t - I - \frac{\delta_I}{S_I \cdot \lambda_I} \\ R_{t-VT} = R_t - H - R_{tm} - H = R_t - H - \frac{\delta_H}{S_H \cdot \lambda_H} \end{cases},$$

где индекс «И» обозначает известный материал, а «Н» – неизвестный, то КТ последнего можно найти следующим образом:

$$\lambda_H = \frac{\delta_H}{S_H \cdot \left( R_{t-H} - R_{t-I} + \frac{\delta_I}{S_H \cdot \lambda_I} \right)}$$

К образцу материала или конструкции предъявляются следующие требования.

КТ измеряемого материала должен быть в пределах 0,1...300 Вт/мК.

Размеры контактной площадки образца не должны превышать габариты нагревателя.

Высоту образца следует подбирать таким образом, чтобы его ТС было не менее 50% от ТС измерительной ячейки. Следует избегать ситуаций, когда высота образца превышает габариты контактной площадки. В таком случае целесообразнее применять нагреватель большей площади или рассеивающие тепло пластины.

Образец может представлять собой конструкцию, выполненную в виде произвольной комбинации материалов.

ТС пастообразных материалов можно замерять методом сравнения с эталонным образцом с помощью трафаретов, выполненных из материалов с низким КТ, например, стеклотекстолитовых.

#### Список литературы:

1. Михеев М.А. Основы теплопередачи. – М.: Энергия, 1977.
2. ОСТ 11 0944-96, «Микросхемы интегральные и приборы полупроводниковые. Методы расчета, измерения и контроля теплового сопротивления».

#### Преимущества и недостатки систем инфракрасного отопления

*Погодин А.И., Солнышкова Ю.С., Бухмиров В.В.,*

*ФГБОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет*

*имени В.И. Ленина», Россия, г. Иваново*

*pogodin\_ai@hotmail.com*

В Российской Федерации на отопление зданий как общественных, так и производственных расходуется значительная (около 30 %) часть вырабатываемой тепловой энергии [1]. Это связано с неудовлетворительным состоянием наружных ограждающих конструкций зданий, а в некоторых случаях, и с нерациональным выбором системы отопления. Особенно важным является реализация потенциала энергосбережения в системе отопления производственных зданий с большим строительным объемом и значительной (более 4 м) высотой потолков.

В настоящее время для отопления производственных зданий все большую популярность приобретают системы инфракрасного отопления, которые позволяют создать комфортные условия, не отапливая весь объем помещения целиком.

Системы радиационного отопления зданий обладают рядом преимуществ перед традиционными системами отопления, которые были подробно изложены в [2].

Классификация систем инфракрасного отопления достаточно обширна и может быть выполнена по нескольким признакам. Однако наиболее часто системы радиационного отопления классифицируют по виду используемого теплоносителя на газовые, водяные и электрические.

Основные преимущества и недостатки газовых, электрических и водяных инфракрасных излучателей (ИКИ) рассмотрены ниже.

Преимущества газовых ИКИ перед другими системами инфракрасного отопления:

- низкая стоимость эксплуатации;
- высокая мощность;
- отсутствие стороннего источника для выработки греющего теплоносителя;
- высокий КПД;
- электрическая энергия, потребляемая в газовых ИКИ, не перегружает сети электроснабжения;
- низкая инерционность системы;
- высокая мощность по сравнению с электрическими ИКИ.

Недостатки газовых ИКИ перед другими инфракрасными излучателями:

- повышенная пожаро- и взрывоопасность;
- высокая стоимость установки;
- большие габаритные размеры;
- необходимость отвода продуктов сгорания;
- сложность монтажа;
- переменный КПД в рабочем диапазоне регулирования мощности;
- необходимость создания дополнительной системы воздухообмена для осуществления устойчивого горения;
- необходимость в проведении ревизии газораспределения, вытяжной и воздухоподогревающей системы на наличие утечек и присосов;
- малый срок службы (не более 15 лет);
- создают в помещении незначительный уровень шума.
- Преимущества электрических ИКИ:
- легкий и быстрый монтаж;
- не загрязняют воздух в помещении;
- не требуют стороннего источника для выработки греющего теплоносителя;
- легкая и удобная регулировка мощности во всем диапазоне без изменения КПД;
- высокий КПД;
- низкая инерционность системы;
- низкая стоимость монтажа;
- малые габаритные размеры;
- возможна эксплуатация в помещениях с высокой степенью загрязнённости воздуха;
- долгий срок службы (около 25 лет);
- полностью бесшумные;
- низкая стоимость ИК излучателя и дополнительного оборудования.

**Таблица 1.** Преимущества и недостатки ИК – излучателей

Преимущество	Тип излучателей		
	Газовые	Электрические	Водяные
Низкая стоимость эксплуатации	да	нет	нет
Высокая мощность	да	нет	нет
Отсутствие стороннего источника для выработки греющего теплоносителя	да	да	нет
Высокий КПД	да	да	нет
Отсутствие перегрузки сети электроснабжения	да	нет	да
Низкая инерционность системы	да	да	нет
Высокая мощность	да	нет	нет
Легкий монтаж	нет	да	нет
Отсутствие загрязнения воздуха в помещении	нет	да	да
Удобное регулирование мощности	нет	да	нет
Малые габаритные размеры	нет	да	нет
Возможность работы при высокой степени загрязнения воздуха	нет	да	да
Длительный срок службы	нет	да	да
Бесшумны	нет	да	да
Низкая стоимость	нет	да	нет
Пожаро и взрыво-безопасность	нет	нет	да

Примечание: Да – наличие данного достоинства у излучателя; нет – отсутствие данного достоинства, т.е. наличие недостатка по данному профилю.

Недостатки электрических ИКИ:

- высокая стоимость эксплуатации;
- создают значительную дополнительную нагрузку на сеть электроснабжения;

- низкая мощность по отношению к газовым ИКИ;
- повышенная пожароопасность.
- Преимущества водяных ИКИ:
- полностью пожаро- и взрывобезопасны;
- срок службы в диапазоне от 15 до 25 лет;
- не перегружают сеть электроснабжения;
- полностью бесшумны;
- возможность эксплуатации в помещениях с высокой степенью загрязнённости воздуха;
- не загрязняют воздух в помещении.
- Недостатки водяных ИКИ:
- значительный вес системы;
- сложность и трудоемкость монтажа;
- низкий КПД относительно газовых и электрических ИКИ;
- высокая стоимость установки;
- используют промежуточный теплоноситель – воду.

Преимущества и недостатки ИК – излучателей можно представить в виде таблицы.

Излучатели всех типов сведены в базу ИК-излучателей [3]. Излучатели в базе ранжированы по типу и мощности. База содержит около 400 моделей различных инфракрасных обогревателей и используется при проектировании систем лучистого отопления.

В зависимости от типа здания(помещения, комнаты и др.), особенностей технологического процесса и назначения системы отопления (для обогрева помещения целиком или только рабочих зон), следует выбрать тип ИК-излучателей с учетом их положительных и отрицательных характеристик, который полностью удовлетворяет требованиям технического задания.

#### Список литературы:

1. Солнышкова Ю.С. Совершенствование систем радиационного отопления зданий с целью сбережения энергетических ресурсов: Автореф. Дис. ... канд. тех. наук: 05.14.04; [Место защиты: Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина]. – Иваново, 2012. – 20с.
1. 2.Бухмиров В.В. Обоснование разработки современной методики расчета лучистого отопления[Текст]/ Погодин А.И., Найденко В.А., Бухмиров В.В., Солнышкова Ю.С. // Научное обеспечение жилищно-коммунального хозяйства: Сборник материалов I международной научно-практической конференции/Т.С. Рахимбеков, Д.А. Егизбаев, Н.Ж. Муслимов – Астана, 2012. - С.60 - 63.
2. Свидетельство о государственной регистрации базы данных №20142620131 от 30 января 2012 года «Электронная база инфракрасных излучателей».

#### Разработка и исследование регулятора давления газа

*Погребижская Е.М., Цынаева А.А.*

*Самарский государственный архитектурно-строительный университет, Россия, г. Самара*

*[katusha3458@rambler.ru](mailto:katusha3458@rambler.ru)*

Для снижения давления газа и подачи его потребителям используют регуляторы давления газа. На данный момент существует множество конструкций регуляторов давления [1].

Конструктивно возможно разделить все существующие регуляторы давления газа на дроссельные и вихревые. Оба вида регуляторов имеют недостатки, снижающие эффективность их работы и способствующие снижению надежности данных устройств.

На данный момент наиболее применяемыми в газовой промышленности являются дроссельные регуляторы давления, а именно: **регулятор давления газа универсальный Казанцева** – РДУК (рис.1.), РДГ, РДСК [1].

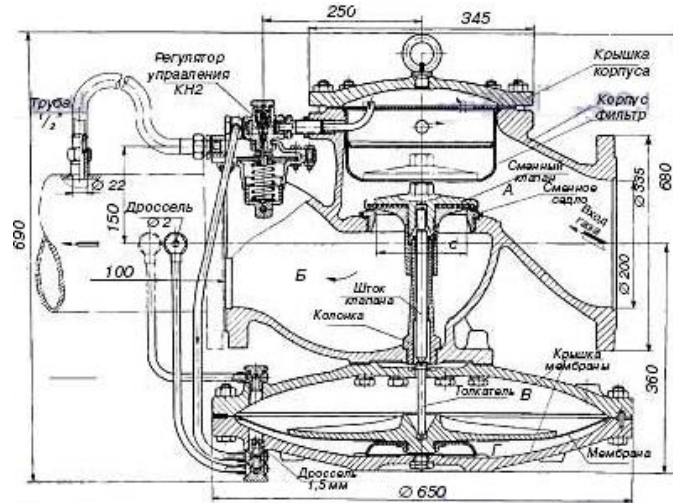


Рис. 1. Схема регулятора давления газа универсального Казанцева

Перечисленные выше дроссельные регуляторы давления газа, кроме своих достоинств имеют ряд конструкционных недостатков. «Слабыми» элементами в их устройстве являются:

мембрана;

пружина пилота управления (или настроечная пружина в беспилотных регуляторах давления);

дроссель;

Так мембрана имеет свойство повреждаться при больших перепадах давлений. В процессе длительной эксплуатации жесткость пружины управления меняется, что ведет к разрегулировке прибора. Принцип дроссельного регулятора основан на эффекте Джоуля-Томпсона. Для природного газа при его прохождении через гидравлическое сопротивление (клапан), температура всегда будет снижаться. Следовательно, будут иметь место негативные последствия этого, заключающиеся в выпадении конденсата на поверхностях регулятора (РДУК), как снаружи, так и внутри устройства. Кроме того, из-за достаточно низкой температуры газа, при которой осуществляется его транспортировка (порядка  $+4^{\circ}\text{C}$ ) снижение температуры при регулировании может привести к обмерзанию поверхностей устройства. Это ведет к наличию усталостных напряжений и снижению ресурса работы устройства [2].

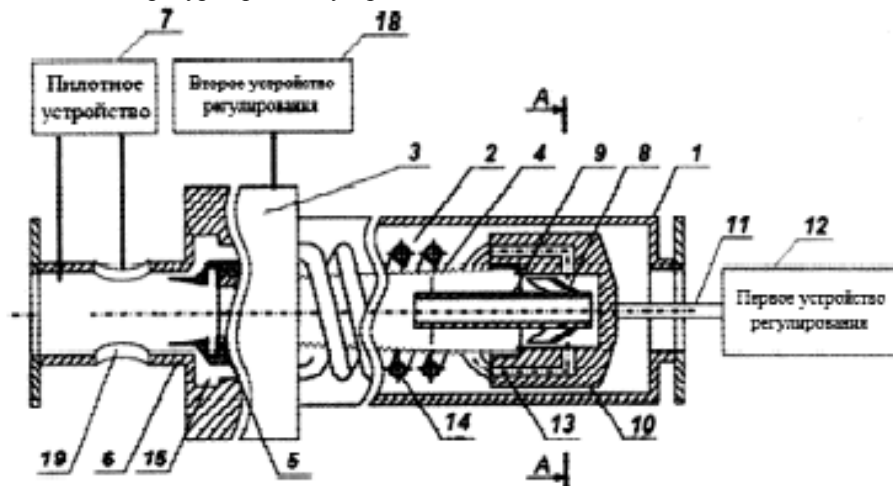
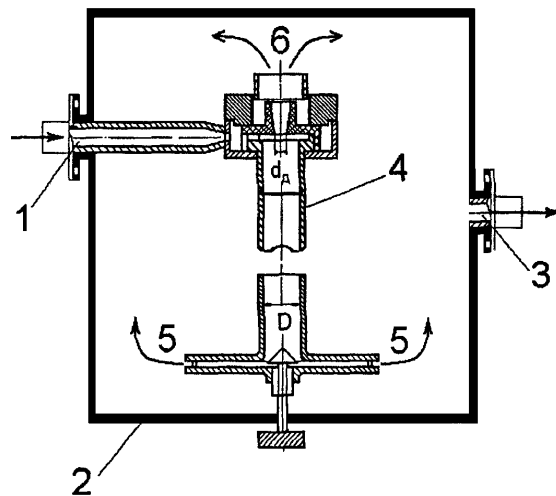


Рис. 2. Вихревой регулятор давления: 1 – подводящий трубопровод; 2 – канал; 3 – узел регулирования потока газа; 4 – устройство температурного разделения; 5 – диафрагма; 6 – отводящий трубопровод; 7 – пилотное устройство

Вихревые регуляторы давления газа на данный момент практически не применяются в газовой промышленности [2, 3, 4], несмотря на то, что на данный момент разработано достаточно большое количество конструкций таких регуляторов.

Принцип действия вихревого регулятора, представленного на рис. 2, заключается в снижении давления природного газа в процессе реализации вихревого эффекта температурного разделения. Газ, поступающий в устройство, проходит в камеру вихревой трубы через тангенциальный вход. Выход газа низкого давления осуществляется через горячий конец вихревой трубы [3].

Принцип действия устройства для снижения газа (рис.3.) также, как и для устройства рис. 2, основан на использовании вихревого эффекта температурного разделения. Основным элементом регулятора является вихревая труба. Газ высокого давления, поступающий в устройство, входит в вихревую трубу. В вихревой трубе газ разделяется на «горячий» и «холодный» потоки, которые смешиваются в общем пространстве корпуса. Газ низкого давления, полученный после смешения, выходит из устройства с той же температурой, что и на входе в устройство [2, 4, 5].



**Рис. 3.** Устройство для снижения давления газа: 1 – патрубок подвода газа; 2 – корпус; 3 – патрубок отвода газа низкого давления; 4 – дроссель; 5 – патрубок «горячего» потока; 6 – патрубок «холодного» потока

В дальнейшем предполагается провести исследования с целью повышения энергоэффективности работы газораспределительных станций (ГРС) и газорегуляторных пунктов (ГРП).

Для достижения данной цели предполагается поставить и решить следующие задачи:

анализ конструкций существующих регуляторов давления газа;  
выявление достоинств и недостатков в конструкциях устройств регулирования давления газа;

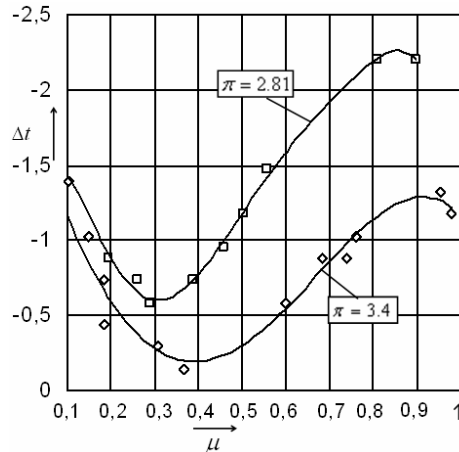
разработка математической модели и ее реализация в программном коде среды MathCad.

проведение экспериментальных и численных исследований, на основании которых будет реализована оптимизация конструкции и режимов работы регулятора давления газа в соответствии с нормами регулирования (низкая аварийность, высокая скорость реагирования, достаточно большой перепад давлений на входе и выходе из устройства).

Конструктивно вихревые регуляторы давления газа значительно надежнее дроссельных, хотя и у них есть два типичных риска:

- наличие усталостных напряжений в виду природы вихревого эффекта температурного разделения (потоки газа с различной температурой);
- достаточно высокий уровень шума при работе регулятора.

На рис. 4 представлены результаты экспериментальных исследований работы устройства для снижения давления газа (рис.3).



**Рис. 4.** Снижение температуры газа в устройстве для снижения давления газа в зависимости от относительного расхода «холодного» потока вихревой трубы

Температура газа на входе и выходе из регулятора давления остается практически постоянной (снижение температуры  $\Delta t = T_2 - T_1$  достигает 0,5 градуса, что находится в пределах погрешности измерений). Здесь  $T_1$  – температура газа на входе в устройство;  $T_2$  – температура газа на выходе из устройства;  $\pi = \frac{p_1}{p_2}$  – перепад давлений на входе и выходе из устройства;  $\mu = \frac{G_x}{G_1}$  – относительный расход «холодного» потока вихревой трубы.

При анализе экспериментальных данных (рис. 4) работы устройства для снижения давления газа (рис. 3) выявлено, что параметры работы устройства [3] зависят от параметров работы вихревой трубы (степени расширения газа, относительного расхода «холодного» потока, температуры и давления газа на входе в вихревую трубу).

Полученные результаты исследования показали, что температура газа на выходе из устройства для снижения давления газа в области оптимальной работы его основного элемента (вихревой трубы) остается практически равной температуре газа на входе в устройство.

#### Список литературы:

1. <http://gazovik-gaz.ru>
2. Об изотермическом регулировании давления природного газа / Н. Н. Ковальногов, Д. Л. Жуховицкий, А. А. Цынаева // Тезисы докладов 4-й научной школы-конференции «Актуальные вопросы теплофизики и гидрогазодинамики», 2006. - С. 35 – 38.
3. Вихревой регулятор давления: пат. 2486573 Рос. Федерация. № 2011145194/28; заявл. 27.07.09; опубл. 27.06.2013, Бюл. № 18. – 9с.
4. Устройство для снижения давления газа (УСДГ): пат. 2226709 Рос. Федерация. № 2002120326/09; заявл. 26.07.2002; опубл. 10.04.2004
5. N.N. Kovalnogov, A.A. Tsinaeva, K.V. Nyashin, D.L. Juhovicki Study of an isothermal pressure governor of gas on the basis of a vortex tube // Minsk: ИТМО , 2008. [http://www.itmo.by/pdf/mif\\_2008\\_ru/Section%208/8-17.pdf](http://www.itmo.by/pdf/mif_2008_ru/Section%208/8-17.pdf)

#### Особенности математического моделирования двухфазных потоков высокой концентрации

**Родионов Г.А., Бухмиров В.В.**

*Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина, Иваново, Россия,  
kaftot@gmail.com*

Системы пневмотранспорта находят применение во многих отраслях промышленности (пищевая, химическая, производство строительных материалов и т.д.). Этому способствует ряд существенных достоинств данного вида транспортирования: низкие потери транспортируемого материала, высокая производительность установок и т.д. Однако существенным недостатком

систем пневмотранспорта является их высокая энергоемкость. Повышение энергетической эффективности систем пневмотранспорта является актуальной проблемой.

Анализ различных систем пневмотранспорта показал, что удельные затраты на транспортировку материалов составляют от 0,06 до 0,7 кВт·ч/т·м, что в среднем превышает энергоемкость ленточных транспортеров в 15-30 раз.

Одним из способов снижения энергоемкости систем пневмотранспорта может быть изменение термодинамических параметров транспортирующей среды (воздуха). Повышение температуры воздуха может повлиять на снижение требуемой производительности компрессора за счет увеличения удельного объема воздуха после него.

В момент пуска пневмотранспортной установки происходят сложные нестационарные процессы псевдооживления сыпучего материала. Высокие энергетические затраты на транспортировку материала в момент пуска пневмонасоса связаны в основном со следующими явлениями:

- большая часть внутренней энергии воздуха затрачивается на псевдооживление сыпучего материала;
- образование «пробок» из материала вследствие низкой скорости движения сыпучего материала в выходном патрубке материала;
- сверхвысокие концентрации твердой фазы на разгонном участке, что значительно увеличивает потери на трение и лобовое сопротивление движению частиц материала;
- затраты воздуха на заполнение материалопроводов.

Эту проблему можно решить, уменьшая концентрацию на входе в материалопровод в момент пуска, за счет увеличения времени образования пылегазовой смеси, или повышения скорости потока на входе в пневмопровод.

В качестве метода исследования систем пневмотранспорта был выбран метод математического моделирования в среде Fluent Ansys [2]. Исследуя процессы псевдооживления при помощи ПК Fluent можно с высокой точностью провести множество испытаний систем пневмотранспорта без проведения экспериментальных работ. Это позволит выявить наиболее эффективные режимы работы и разработать модель функционирования системы пневмотранспорта, которая учитывает основные физические процессы в двухфазном движущемся потоке и при этом легко алгоритмируется.

При расчете двухфазных потоков при помощи ПК Ansys существует возможность использовать два основных подхода к моделированию многофазных потоков [2]:

- расчет по методу Эйлера;
- расчет по методу Лагранжа.

Принципиальные различия этих методов заключается в том, что по разному рассматриваются поток твердых частиц. В методе Лагранжа рассчитываются траектории каждой частицы отдельно, и параметры твердой фазы получают как совокупность параметров всех частиц потока, однако для расчета потоков с высокими концентрациями твердых частиц этот метод не применим, т.к. это требует огромных вычислительных мощностей. В методе Эйлера поток твердых частиц рассматривается как сплошная среда, что позволяет применять этот метод при расчете потоков с высокими концентрациями твердых частиц.

Математическая модель движения двухфазного потока, основанная на модели Эйлера [3], содержит следующие уравнения:

- переноса импульса твердой фазы

$$\frac{\partial}{\partial t}(\gamma_s \rho_s w_{j,s}) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\gamma_s \rho_s w_{j,s} w_{i,s}) = -\gamma_s \frac{\partial P}{\partial x_i} - \frac{\partial P_s}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij,s}}{\partial x_j} + \gamma_s \rho_s g_i + K_{sf}(w_{i,f} - w_{i,s}); \quad (1)$$

- переноса импульса флюида

$$\frac{\partial}{\partial t}(\gamma_f \rho_f w_{j,f}) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\gamma_f \rho_f w_{j,f} w_{i,f}) = -\gamma_f \frac{\partial P}{\partial x_j} + \frac{\partial \tau_{ij,f}}{\partial x_j} + \gamma_f \rho_f g_i + K_{fs}(w_{i,s} - w_{i,f}); \quad (2)$$

- неразрывности для твердой фазы

$$\frac{\partial}{\partial t}(\gamma_s \rho_s) + \nabla(\gamma_s \rho_s w_s) = 0, \quad (3)$$

- неразрывности для флюида



$$\frac{\partial}{\partial t}(\gamma_f \rho_f) + \nabla(\gamma_f \rho_f w_f) = 0; \quad (4)$$

где  $\tau_{ij,s}$  – тензор напряжений твердой фазы;  $\tau_{ij,f}$  – тензор напряжений флюида;  $V_s$  и  $\mu_s$  – объемная и сдвиговая вязкости твердой фазы;  $\mu_f^{eff}$  – эффективная вязкость флюида;  $P$  – давление;  $\gamma$  – относительная объемная концентрация;  $\rho$  – плотность;  $w$  – скорость;  $g$  – ускорение свободного падения;  $\delta$  – символ Кронекера;  $K_{fs}$  – коэффициент взаимодействия частиц твердой фазы с флюидом; индексы  $s$  и  $f$  – твердая фаза и флюид соответственно.

#### Список литературы:

1. Кузнецов Ю.М. Пневмотранспорт. Теория и практика. 2005.
2. Moaveni S. Finite Element Analysis Theory and Application with ANSYS. 2008.
3. D. Gidaspow, R. Bezburuah, and J. Ding. Hydrodynamics of Circulating Fluidized Beds// Kinetic Theory Approach. In Fluidization VII, Proceedings of the 7th Engineering Foundation Conference on Fluidization, pages 75–82, 1992.

#### Исследование повышения эффективности паротурбинных блоков сверхкритических параметров введением многоступенчатого промежуточного перегрева пара

*Ростунцова И.А., Шевченко Н.Ю.\**

*Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина, Россия, г. Саратов,*

*\*Камышинский технологический институт (филиал) ВолгГТУ, Россия, г. Камышин*

[schewchenkonata1960@mail.ru](mailto:schewchenkonata1960@mail.ru)

Для повышения эффективности паротурбинных блоков КЭС и ТЭС применяют промежуточный перегрев пара. Актуальность проблемы определяется основными направлениями развития теплоэнергетики России на период до 2030 г. обеспечивающие техническое перевооружение и реконструкцию тепловых электростанций, а также ввод новых генерирующих мощностей с использованием новых эффективных технологий производства электроэнергии. С этой целью целесообразно внедрять теплоэнергетическое оборудование с высокими параметрами рабочих, обеспечивающее повышение экономичности существующих ТЭС на 1,5-1,8 % [1].

В настоящее время на КЭС применяют одно- и двухступенчатый промежуточный перегрев пара (ПП) с экономией топлива до 4% [2].

Промежуточный перегрев пара применяют для следующих целей:

- повышения степени сухости пара на выходе из турбины;
  - повышения работоспособности пара и КПД турбины за счет подвода к пару дополнительной теплоты;
  - повышения начального давления пара  $p_0$  сверх сопряженного его значения.
- Промежуточный перегрев пара позволяет повысить КПД турбоустановки на 7 %, с учетом потерь теплоты – на 4 %.

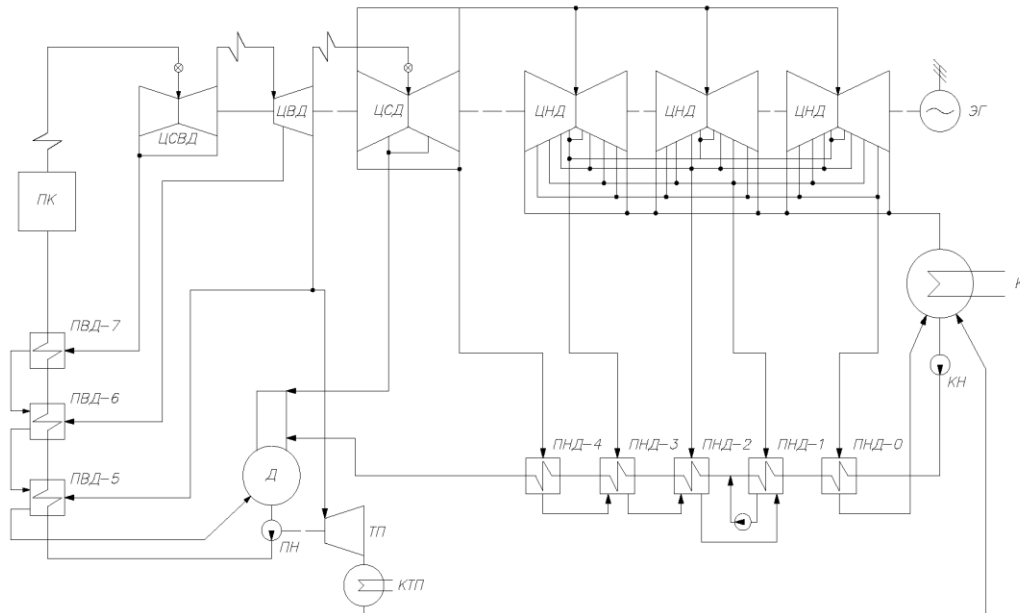
Для паровых котлов на супер-сверхкритические параметры пара требуются материалы с повышенной термической стойкостью на никелевой основе с различными добавками для паропроводов труб острого пара и труб промежуточных перегревателей. В то же время конструкция промежуточного перегрева пара на электростанциях, в зависимости от количества перегревов приводит к увеличению числа труб от котла турбины, так при трёхкратном перегреве, минимальное число труб равно 6 штук с диаметром до 1 м. и более.

Рассматриваемая схема (рис.1) электростанции с промежуточным контуром и паро-паровыми теплообменниками резко сокращает число труб промежуточного перегрева до двух ниток с уменьшением гидравлических сопротивлений в них. Конструкция паро-паровых теплообменников при высоком коэффициенте теплопередачи приводит к улучшению теплообмена и эффективности подогревателей. Теплообменники можно устанавливать непосредственно около турбины. Капитальные затраты на теплообменники не превышают стоимости подогревателей высокого давления питательной воды.

При проектировании новых ГРЭС с двукратным промежуточным перегревом сохраняется традиционная тепловая схема с тремя ПВД и деаэратором, подключённым к холодной магистрали

второго промежуточного перегрева. Число ПНД при этом увеличивается по 5...7 шт. Такое решение позволит иметь КПД до 46% при отсутствии дополнительных капвложений.

В ходе исследований были проведены расчёт и сравнение критериев эффективности турбоустановки К-1200-240 с одной и двумя ступенями промежуточного перегрева. Исходные данные для расчета и давления регенеративных отборов турбины представлены в таблицах 1,2.



**Рис.1** Принципиальная тепловая схема турбоустановки К-1200-240 с двухступенчатым промежуточным перегревом

**Таблица 1.** Исходные данные для расчёта принципиальной тепловой схемы

$P_0$ , МПа	$t_0$ , °С	$P_{пп1}$ , МПа	$t_{пп1}$ , °С	$P_{пп2}$ , МПа	$t_{пп2}$ , °С
23,5	540	5,89	540	1,71	540

**Таблица 2.** Давления регенеративных отборов турбины

$P_1$ (ПВД-7) МПа	$P_2$ (ПВД-6) МПа	$P_3$ (ПВД-6, ТП) МПа	$P_4$ (Д) МПа	$P_5$ (ПНД-4) МПа	$P_6$ (ПНД-3) МПа	$P_7$ (ПНД-2) МПа	$P_8$ (ПНД-1) МПа	$P_9$ (ПНД-0) МПа
6,2	3,9	1,8	0,9	0,4	0,25	0,12	0,05	0,02

В результате расчёта принципиальных тепловых схем блоков с одним и двумя ступенями промежуточного перегрева были получены параметры электрического КПД и удельного расхода топлива, представленные в таблице 3.

**Таблица 3.** Результаты расчёта тепловой схемы

	$P_0$ , МПа	$t_0$ , °С	$t_{пп}$ , °С	$P_{пп}$ , МПа	$q$ , кДж/кг	$l_u$ , кДж/кг	$\eta_z$ , %	$b_z$ , кг/(кВт*ч)
1 ПП	22,33	540	540	5,8	2701	1128	41,76	0,295
2 ПП	22,33	540	540	5,8	2932	1266	43,19	0,285

Получены зависимости электрического КПД блока от температуры промежуточного перегрева  $t_{пп}$  (рис. 2); начального давления пара  $P_0$  (рис.3) и давления промежуточного перегрева  $P_{пп}$  (рис.4).

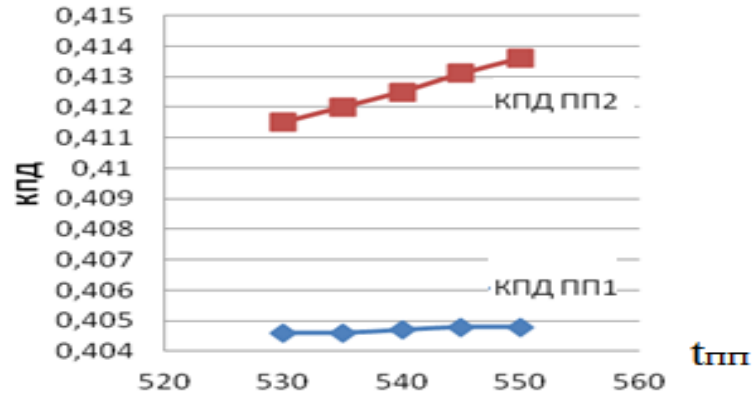


Рис.2. Зависимость электрического КПД блока от температуры промежуточного перегрева  $t_{пп}$ .

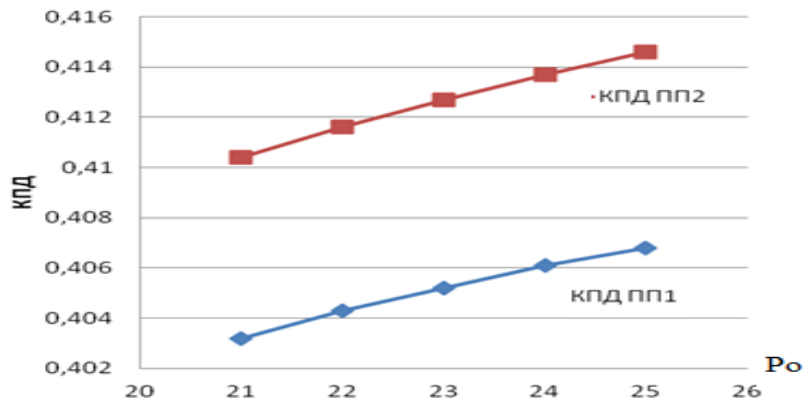


Рис.3. Зависимость электрического КПД блока от начального давления пара  $P_0$ .

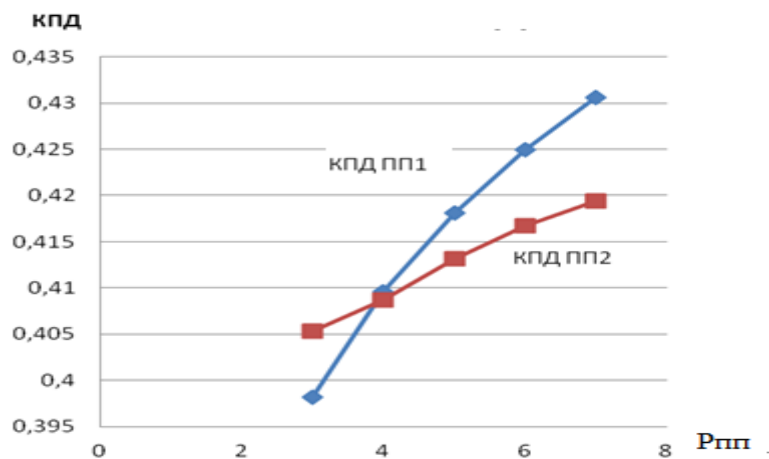


Рис.4. Зависимость электрического КПД установки от давления промежуточного перегрева  $P_{пп}$ .

В результате теплового расчёта двух принципиальных схем с одной и двумя ступенями промежуточного перегрева были получены следующие значения электрических КПД:

$$\eta_s^{m1} = 0,4176; \eta_s^{m2} = 0,4319.$$

При внедрении дополнительной ступени ПП прирост КПД составил 1,43%, что положительно сказалось на величине удельного расхода топлива, а, следовательно, существенно повысило экономичность станции. Однако такое внедрение повлекло за собой изменения в тепловой схеме традиционного блока К-1200-240, а именно, разделение цилиндра высокого давления на две части ЦСВД и ЦВД. Кроме того в схему был добавлен дополнительный подогреватель низкого давления, что также повысило эффективность цикла.

Введение второй ступени промежуточного перегрева понижает влажность рабочего тела на последних ступенях турбины. По этой причине имеется потенциальная возможность углубления вакуума в конденсаторе, и как следствие, увеличения работы цикла. Также благодаря пониженной влажности уменьшается стоимость изготовления лопаток последних ступеней за счёт возможности использования менее эрозионно-устойчивого металла.

Повышение температуры промежуточного перегрева положительно сказывается на коэффициенте полезного действия. Это справедливо как для установки с одним промежуточным перегревателем, так и для установки с двумя ступенями промежуточного перегрева. Причём эффект от повышения этой температуры на установке с двумя ступенями промежуточного перегрева оказался больше.

Повышение начального давления пара и давления промежуточного перегрева, также, существенно повышают КПД, что видно на графиках рис.3-4.

Таким образом, для достижения максимальной экономичности установки, необходимо стремиться к удержанию температуры промежуточного перегрева на повышенном уровне, и при этом повышать начальное давление и давление в промежуточном перегревателе, перед ЦСД. Однако достижение повышенных показателей эффективности путём варьирования давления экономически более выгодно. При относительно высокой температуре промежуточного перегрева в металле поверхностей нагрева обнаруживаются явления текучести и деформации. В этом случае необходимо применять сплавы с повышенной термической стойкостью.

#### Выводы

1. Исследована эффективность введения многоступенчатого промежуточного перегрева пара на паротурбинном блоке сверхкритических параметрах (энергоблок К-1200-240);

2. Выполнены расчёт и сравнение критериев эффективности турбоустановки К-1200-240 с одной и двумя ступенями промежуточного перегрева;

3. В результате теплового расчёта двух принципиальных схем с одной и двумя ступенями промежуточного перегрева были получены следующие значения электрических КПД:  $\eta_s^{m1} = 0,4176$ ;  $\eta_s^{m2} = 0,4319$ . При внедрении дополнительной ступени ПП прирост КПД составил 1,43%, что положительно сказалось на величине удельного расхода топлива, а, следовательно, существенно повысило экономичность станции, что согласуется с выводами изложенными в [3].

#### Список литературы:

1. <http://hghltd.yandex.net/> Основные положения (Концепция) технической политики в электроэнергетике России на период до 2030 г. ОАО РАО «ЕЭС России», 2008.
2. Хлебалин Ю. М. Эффективности использования турбин КЭС для теплофикации // Промышленная энергетика. –2008. –№11.- С.52-54.
3. Андриющенко А. И. Основы технической термодинамики реальных процессов. – М.: Высшая школа, 1967.– 497с.

#### **К вопросу создания пылеугольного энергоблока на суперсверхкритические начальные параметры пара**

**Матвеев А.С., Саввина Я.Г.**

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск*  
[yanagrigorievna@sibmail.com](mailto:yanagrigorievna@sibmail.com)

В работе рассматриваются вопросы создания угольного энергоблока на суперсверхкритические начальные параметры пара, его целесообразность и основные проблемы разработки.

Стратегической целью развития энергетики Сибири на долгосрочную перспективу является эффективное использование существующего топливно-энергетического потенциала для обеспечения устойчивого роста экономики и улучшения качества жизни населения регионов.

Сибирь благодаря хорошей обеспеченности энергетическими ресурсами является одним из основных регионов генерации электроэнергии, обеспечивая около 14 процентов совокупной выработки электроэнергии по стране.

К 2030 году регион будет устойчиво занимать первое место в России по добыче коксующегося и энергетического угля, второе место по добыче нефти и газа, одно из ведущих мест в российской нефтехимии.

При сооружении станций в Сибири на базе дешевых углей целесообразно по технико-экономическим соображениям использовать установки на сверхкритические параметры пара (24 МПа, 565/565 оС) и модернизированное, более эффективное основное и вспомогательное оборудование, современные схемные решения, что увеличит КПД станции на несколько абсолютных процентов.

Новые и реконструируемые угольные энергоблоки в европейской части страны из-за дефицита твердого топлива в этом регионе должны быть ориентированы на использование суперсверхкритических параметров (ССКП) пара (30 МПа, 600/620 оС).

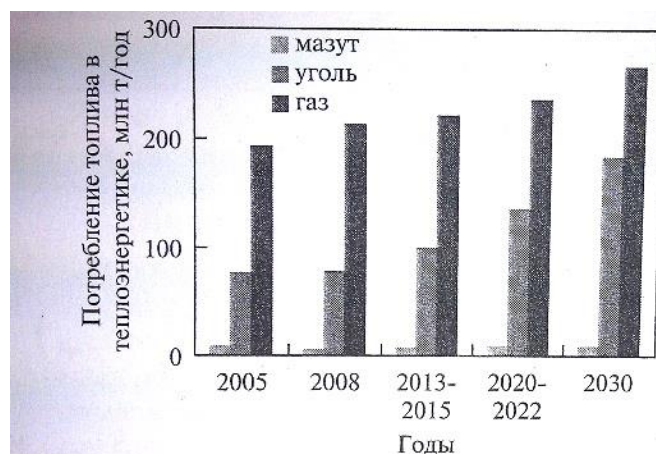
В целом, главной особенностью отечественной энергетики в перспективе будет изменение структуры топливного баланса электростанций с увеличением в нем доли угля.

Это обусловлено следующими важнейшими факторами:

- разведанные запасы угля более широко распространены на земле по сравнению с нефтью и газом, а по своим масштабам во много раз их превышают;
- цены на уголь на мировых энергетических рынках относительно невысоки и меньше подвержены конъюнктурным колебаниям;
- научно-технический прогресс последних десятилетий позволяет в определенной мере решать экологические проблемы, связанные с загрязнением окружающей среды продуктами сжигания угля на электростанциях.

На рис. 1 показана структура потребления различных видов топлива российскими тепловыми станциями по фактическому состоянию в 2005 и 2008 гг., а также согласно Энергетической стратегии России на период до 2030 г. потребление угольного топлива на ТЭС должно возрасти с 77 млн. т. в 2005 г. до 100 млн. т. в 2013—2015 гг., до 137 млн. т. к 2022 г. и до 185 млн. т. к 2030 г.

В структуре топливного баланса ТЭС использование угля возрастет с 27% в 2005 г. до 40% в период до 2030 г.



**Рис. 1.** Структура потребления различных видов топлива российскими тепловыми станциями

Расширение использования углей требует совершенствования технологий его сжигания. В качестве основного направления дальнейшего повышения эффективности угольных тепловых электростанций рассматривается увеличение начальных параметров пара по сравнению с

освоенными (24 МПа, 540°С) при одновременном совершенствовании оборудования и систем паротурбинных электростанций.

Повышение параметров пара в теплоэнергетике совокупно решает несколько важнейших проблем:

1. Увеличение коэффициента полезного действия (КПД) тепловых электростанций (ТЭС). Современные угольные блоки ССКП уровня 600—610° С и 30 МПа, и блоки новых типов — 620°С и 35 МПа, обеспечивают увеличение КПД по электрической нагрузке до 45—47% по сравнению со значениями КПД 32—40% российских энергоустановок высокого и сверхкритического давления, эксплуатирующихся при давлении от 9 до 25 МПа и температуре острого пара 545—560°С.

2. Уменьшение загрязняющих выбросов в виде оксидов азота, сернистых соединений и углекислого газа.

3. Активное вовлечение в энергетику наименее благородного вида топлива – твердого, запасов которого, в отличие от газообразного, хватит на сотни лет.

Переход на новый уровень начальных параметров пара наметился в последнее десятилетие прошлого века. В ведущих странах (США, Япония, Германия, Дания) после 15-20-летнего перерыва с начала ввода в строй блоков СКД на параметры пара 24-25 МПа, 535-540/535-540 °С активизировались исследования и разработки по их дальнейшему техническому совершенствованию, в том числе и путем перехода на ССКП пара 27-31 МПа, 580-600 °С. С одной стороны, этому способствовали достигнутые успехи в проектно-конструкторских разработках и в создании новых материалов, а с другой – возросшая конкуренция на рынке топлива, стремление сократить затраты на природоохранные технологии и выбросы CO<sub>2</sub>. В результате в этих странах были созданы и с 1990 г. стали вводиться в строй угольные блоки с повышенной экономичностью. За последние 20 лет энергоблоки на параметры пара 26-30 МПа, 580-600 °С мощностью от 400 до 1000 МВт введены в Германии, Японии, Китае, Дании и других странах.

Необходимо отметить, что первые опытно-промышленные установки на суперкритические параметры пара были созданы и введены в эксплуатацию в России в 40-60-х годах прошлого столетия: котел 60-ОП производительностью 12 т/ч на параметры 30 МПа, 600 °С на ТЭС ВТИ; котел ПК-30 на параметры 40 МПа, 700 °С на ТЭС ЦКТИ; энергоблок СКР-100 с котлом ПК-37 производительностью 710 т/ч на параметры 30 МПа, 650 °С и с турбиной Р-100-30 на Каширской ГРЭС. Этот энергоблок находился в эксплуатации около 40 тыс.ч. и был остановлен из-за выхода из строя турбин среднего давления, наработавших примерно 400 тыс.ч., в которые сбрасывался пар из турбины СКР-100.

В дальнейшем были разработаны технические предложения по созданию энергоблоков мощностью 300-550 МВт на параметры пара 29-30 МПа, 580-600 °С применительно к сжиганию бурых березовских и каменных кузнецких углей марок Г и Д. К сожалению, до настоящего времени эти разработки не получили реального внедрения в нашей стране.

В последние годы специалистами нескольких исследовательских организаций (ОАО ВТИ, ОАО НПО ЦКТИ, ОАО НПО «ЦНИИТмаш», ОАО «Теплоэлектропроект») и энергомашиностроительных компаний (ОАО «ЭМАльянс» и ОАО «Силовые машины») выполнены технические проработки основного оборудования энергоблока на ССКП пара нового поколения мощностью 660 МВт, а по паровой турбине – до 900 МВт.

Предварительные показатели экономической эффективности энергоблока 660 МВт на суперкритические начальные параметры, рассчитанные на основе «Методических рекомендаций по оценке эффективности инвестиционных проектов», составили:

Чистый дисконтированный доход, млн руб. ....	3272,8
Срок окупаемости, лет:	
дисконтированный .....	22,2
простой .....	9,6
Внутренняя норма доходности, % .....	10,8
Индекс доходности .....	1,104
Отношение выгоды/затраты .....	0,962

Приведенные показатели свидетельствуют о том, что энергоблок эффективен, финансово реализуем и может считаться привлекательным для инвесторов.

На основании анализа зарубежного опыта создания и эксплуатации современного энергетического оборудования ТЭС, а также с учетом состояния отечественных разработок в этой

области и согласно намеченным на перспективу задачам российской тепловой энергетики предпринята попытка унифицировать вновь создаваемое и выпускаемое отечественными заводами теплоэнергетическое оборудование. Результаты этой работы приведены в табл. 1 в виде унифицированного ряда пылеугольных энергоблоков на ССКП пара.

Таблица 1. Унифицированный ряд пылеугольных энергоблоков на суперсверхкритические параметры пара

Мощность энергоблока, МВт	330	660	990
Давление перегретого пара, МПа	28	28	28
Температура перегретого пара/вторичного перегрева, °С	600/620	600/620	600/620
Паропроизводительность котла, т/ч	1000	1970	3000
КПД энергоблока, %	42-46	42-46	42-46

Для создания современного экономичного, удовлетворяющего всем экологическим требованиям, головного отечественного пылеугольного энергоблока на ССКП пара требуются разработка основных технических решений и проектов оборудования и энергоблока в целом, доработка современных отечественных материалов и создание новых марок сталей с обеспечением необходимых свойств, разработка технологий изготовления высокотемпературных элементов оборудования (паропроводов, корпусных деталей, роторов, поверхностей нагрева) из материалов нового поколения, проведение комплексных исследований деталей и элементов оборудования в реальных условиях эксплуатации.

Оборудование, предлагаемое для унификации, большей частью не производится в России, являясь для отечественной энергетики инновационным. Однако оно имеет зарубежные аналоги, а его характеристики представляют собой стандартный уровень техники в странах с передовым развитием энергетики.

По-видимому, в процессе замены морально и физически устаревшего оборудования ТЭС на современное в ближайшей перспективе будет активно использоваться оборудование зарубежных производителей. Задача российских машиностроителей состоит в том, чтобы в кратчайшие сроки освоить производство конкурентоспособного оборудования и при содействии государства предоставить энергетическим компаниям возможность преимущественного использования отечественного оборудования и повышения тем самым энергетической безопасности страны.

Исследовательские и проектно-конструкторские разработки показали принципиальную техническую возможность создания оборудования для энергоблоков на ССКП пара. Выбраны перспективные материалы для изготовления высокотемпературных элементов паропроводов, пароперегревателей острого и промежуточного перегретого пара и паровой турбины. Даны решения по тепловой схеме энергоблока и турбоустановке, разработаны возможные варианты конструктивного профиля котла и турбины.

Вместе с тем существует еще много проблем, для решения которых на последующих стадиях разработки энергоблоков необходимо провести:

- дальнейшие комплексные исследования свойств рекомендуемых материалов, исследования металла фасонных изделий; на основании полученных результатов по уровню служебных свойств основного металла фасонных элементов и сварных соединений решить вопрос об аттестации новых материалов с внесением их в необходимые НТД;

- оптимизацию тепловой схемы энергоблока с учетом конструкции котла и турбоустановки для обеспечения максимально достижимого КПД (не менее 44%);

- технико-экономическое обоснование конструктивного профиля котла и турбины, в том числе выбор давления промежуточного перегрева пара, выбор типа компоновки котла, конструктивного профиля и количества цилиндров паровой турбины;

- технико-экономическое обоснование конструктивного профиля котла и турбины, в том числе выбор давления промежуточного перегрева пара, выбор типа компоновки котла, конструктивного профиля и количества цилиндров паровой турбины;

- обоснование технико-экономических показателей энергоблока в реальных условиях его сооружения на конкретной электростанции.

Создаваемый энергоблок на ССКП пара должен иметь существенные конструктивные преимущества перед уже созданными за рубежом по экономичности, надежности, маневренности,

ремонтпригодности и стоимости. Это позволит создать конкуренцию на мировом рынке в этом классе энергооборудования.

Работа выполнена в рамках государственного задания «Наука».

#### Список литературы:

1. Журнал «Теплоэнергетика».
2. [http://minenergo.gov.ru/aboutminen/energostrategy/ch\\_7.php](http://minenergo.gov.ru/aboutminen/energostrategy/ch_7.php).
3. <http://www.sibfo.ru/strategia/strdoc.php>.

#### Анализ энергоэффективности работы дутьевых вентиляторов энергетического оборудования котельных

*Салов А.Г., Савинова А.В., Сагитова Л.А.*

*Самарский государственный архитектурно-строительный университет, Россия, г. Самара*  
[aleksey-salov@rambler.ru](mailto:aleksey-salov@rambler.ru)

Экономичность работы производственно-отопительных котельных существенно зависит от величины затрат электрической энергии на собственные нужды – на привод вспомогательного оборудования котельной при переменных режимах работы.

С переходом к рыночным отношениям значительно изменились соотношения между располагаемыми мощностями котельных и потребностью в их услугах предприятий промышленности. Многие предприятия в период перехода к рыночным отношениям прекратили свое существование, и достаточно большое количество промышленных предприятий отказались от услуг теплоснабжающих предприятий, отдав предпочтение созданию собственных источников тепловой энергии.

В этих условиях источники тепловой энергии потеряли промышленных потребителей, нуждающихся в постоянной тепловой нагрузке в течение года. Производственно-отопительные котельные превратились в отопительные котельные, имеющие до 90% отопительной нагрузки.

Переход на теплофикационный режим предусматривает работу оборудования котельной в нерасчётных режимах, поскольку котельная была спроектирована под реализацию другого теплового графика.

Особенно существенное отличие тепловой нагрузки оборудования котельной от номинальной наблюдается в летний период, когда теплом обеспечиваются только нужды горячего водоснабжения. Нагрузка котельной в летний период не превышает 15% от максимальной (рис.1).

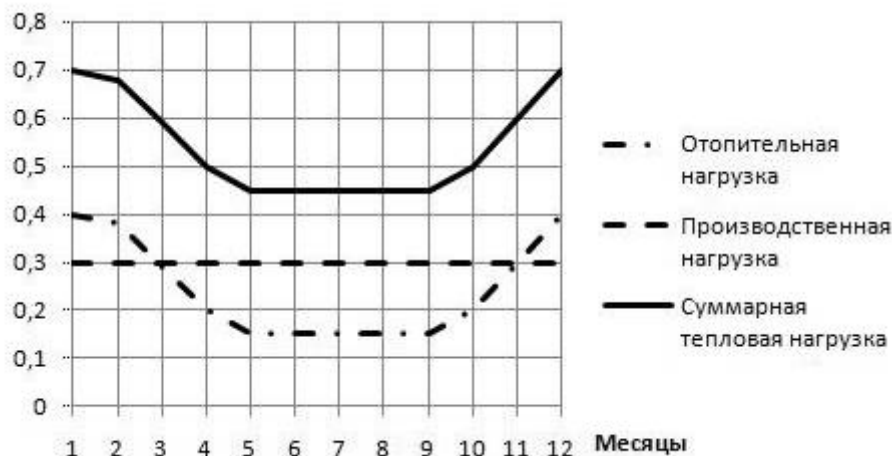


Рис. 1. – График изменения величины собственных нужд станции в течение года.

При работе основного оборудования в нерасчётных режимах, вспомогательное оборудование также работает с повышенными расходами электрической энергии на привод.

В работе [1] предлагается методика оценки затрат электрической энергии на привод дутьевых вентиляторов котлов при использовании регулируемого привода – для выбора гидромолоты или двигателя с частотным регулированием производительности.



При регулировании производительности дутьевых вентиляторов регулируемые приводами при снижении производительности вентилятора снижаются затраты электрической энергии на привод.

На первом этапе необходимо оценить среднемесячные нагрузки котельного оборудования в течение нескольких предшествующих лет и для средних их значений необходимо произвести расчет потребляемой электрической энергии для различного типа приводов.

По виду сжигаемого котлами топлива (в нашем случае газ) рассчитывается теоретически необходимое количество воздуха для горения [2]:

Производительность вентилятора определяем по соотношению:

$$V_{x.v.} = B_p V^0 \cdot (\alpha_T - \Delta\alpha_T - \Delta\alpha_{ВП}) \cdot \frac{(t_{xв} - 273)}{273}, [\text{м}^3/\text{ч}] \quad (1)$$

где  $B_p$  – часовой расход топлива [м<sup>3</sup>/ч], принимается из режимных карт котлов для соответствующей нагрузки;  $V^0$  – теоретически необходимое количество воздуха [м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>];  $\alpha_T$  – коэффициент избытка воздуха в топке, берётся из режимной карты соответствующего котла;  $\Delta\alpha_T$  – присосы воздуха в топку, берутся из режимных карт;  $\Delta\alpha_{ВП}$  – относительная утечка воздуха в воздухоподогревателе, принимается равной величине присосов в нём по газовой стороне.

На втором этапе рассчитываем потребляемую электрическую мощность электродвигателя для среднемесячных производительностей котла в течение года по соотношению:

$$P_э = \frac{V_{x.v.} \cdot H_в}{3600 \cdot 102\eta}, [\text{кВт}], \quad (2)$$

где  $H_в$  – напор вентилятора при соответствующей его производительности [мм водяного столба];  $V_{x.v.}$  – производительность вентилятора, рассчитанная по формуле (1) для каждого месяца по среднемесячному расходу топлива [м<sup>3</sup>/час];  $\eta$  – коэффициент полезного действия вентилятора для соответствующей производительности.

На третьем этапе рассчитываем электрическую мощность вентиляторов при применении частотно-регулируемого привода:

$$P_{чрп} = P_{\max} \left( \frac{Q}{Q_{\max}} \right)^3, [\text{кВт}], \quad (3)$$

где  $P_{чрп}$  – электрическая мощность электродвигателя вентилятора при частотном регулировании его производительности,  $P_{\max}$  – максимальная мощность электродвигателя, указанная в его паспорте,  $Q$  – среднемесячная производительность вентилятора, рассчитанная по формуле (2),  $Q_{\max}$  – максимальная производительность вентилятора, соответствующая электрической мощности двигателя  $P_{\max}$ .

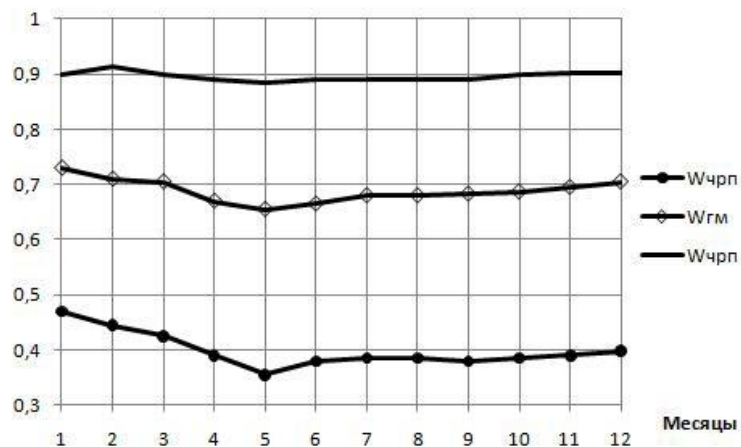
На четвёртом этапе оцениваются затраты электрической энергии на провод двигателя вентилятора при установке гидромуфты.

Электрическая мощность при регулировании гидромуфтой определяется по следующей формуле:

$$P_{ГМ} = P_{\max} \left( \frac{Q_{\max}}{Q} \right)^{1/3}, [\text{кВт}], \quad (4)$$

где  $P_{ГМ}$  – мощность электродвигателя при регулировании производительности вентилятора с помощью гидромуфты;  $P_{\max}$  – максимальная мощность электродвигателя, [кВт];  $Q_{\max}$  – максимальная производительность вентилятора, [м<sup>3</sup>/час];

Сопоставление результатов расчётов по формулам (2), (4) и (5) приведено на рисунке 2 в относительном виде.



**Рис.2.** Динамика изменения относительных величин потребляемой энергии дутьевым вентилятором в зависимости от способа регулирования его производительности.

Приведённые на рисунке зависимости показывают:

1. Применение регулируемых приводов при пониженных значениях нагрузок дает наиболее существенное снижение потребляемой электрической энергии на собственные нужды дутьевых машин.
2. При применении частотно-регулируемого привода наблюдается почти пропорциональное снижение потребляемой электрической энергии на привод вентилятора.

#### Список литературы:

1. Гаврилова А.А., Салов А.Г. Направления повышения энергоэффективности теплоэлектростанций – Труды пятой международной школы-семинара молодых ученых и специалистов «Энергосбережение Теория и практика». – М.: Издательский дом МЭИ, 2010. – 163-169 с.
2. Тепловой расчет котельных агрегатов (Нормативный метод) – Издательство НПО ЦКТИ, СПб, 1998. – 257 с.

#### Водяной (паровой) калорифер новой конструкции, преимущества и опыт применения

*Киселев Ю.Е., Гецман А.Е. Сливной В.Н.\**

*Институт угля СО РАН,*

*\*Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф.Горбачева, Россия, г.Кемерово*

[wiknik@rambler.ru](mailto:wiknik@rambler.ru)

Из всех проблем, связанных с прикладной теплоэнергетикой, наиболее актуальной, на наш взгляд, является грамотное, эффективное и надежное потребление тепла, т.е. организация максимально возможного отбора тепла от теплоносителя «вода» и «пар». Наиболее эффективным решением этой задачи является воздушное отопление на базе водяных калориферов.

Во-первых, общепринято считать эффективность последних намного выше обычных отопительных приборов (регистров).

Во-вторых, одним из главных преимуществ применения калориферов является возможность осуществлять воздухообмен при условии нагрева наружного воздуха в зимнее время.

Вентиляция необходима в промышленности, сельском хозяйстве (особенно с вредными выбросами), в общественных, административных и жилых помещениях. Особенно большое значение калориферы приобретают для вентиляции подземных горных предприятий (и линий метрополитена), вынужденных подогреть воздух в зимнее время для отопления шахтных стволов (подогрева вентиляционного воздуха).

Калориферные установки шахт являются, наряду с подъемами и главными вентиляторами, установками I категории, т.е. такими, от которых зависит жизнь работающих под землей людей и безопасное функционирование элементов подъема. Не говоря уже о производительности горного

предприятия, которая прямым образом зависит от количества и качества подаваемого в шахту воздуха.

К сожалению, в стране исторически сложилась ситуация, что наша промышленность (единственный калориферный завод в г. Костроме) выпускает до сих пор устаревшие, практически неработоспособные для работы от наружного воздуха с отрицательными температурами при расчетных соотношениях «вода-воздух» калориферы. Они не выдерживают нагрузки холодного воздуха и разрушаются при замерзании воды. В крайнем случае, для обеспечения их работоспособности требуется перерасход теплофикационной (циркулирующей) воды в 3-5 раз, что не всегда возможно по условиям котельной

Условиями незамерзаемости калорифера являются (при полной загрузке калорифера):

- 1) температура циркулирующей воды;
- 2) скорость движения воды по трубкам.

Типичный 4-х,6-ти ходовой заводской калорифер имеет в ходу параллельное включение 12-15 трубок. При растекании расчетного количества теплофикационной воды по трубкам скорость потока падает, так как уменьшается количество поступающей воды в каждую трубку.

Учитывая перепад (снижение) температуры воды, протекающей по трубкам, от начала хода к концу ходов и по глубине калорифера, со стороны набегающего потока последнего хода, трубки из-за температурной недостаточности и малой скорости течения перемерзают, разрушаются, выводя весь калорифер из строя. На практике (особенно на шахтах) находят выход из положения увеличением расхода воды или уменьшением количества подаваемого в шахту воздуха со всеми вытекающими последствиями.

Известно, что в себестоимости поставки тепла 30% составляют затраты электро энергии на перекачку воды. А по общим энергозатратам калориферные установки шахт потребляют до 50% энергоресурсов горных предприятий. Кроме того, имея огромный перерасход, теплогенерирующие предприятия не справляются с подготовкой теплоносителя ни по параметрам (температура, перепады давлений), ни по физико-химическому составу, что в итоге приводит к преждевременному выходу из строя теплотрасс, катастрофическому забиванию наносными частицами (в основном продуктами коррозии) трубок калориферов, вызывая неоправданно частую замену. Все это приводит к срывам производства, снижает уровень безопасности и повышает затраты.

В промышленности, сельском хозяйстве, больницах, школах и т.д. также перерасходуют теплофикационную воду и избегают перемерзания калориферов приточных установок, работая на рециркуляцию, чем откровенно ухудшают здоровье людей.

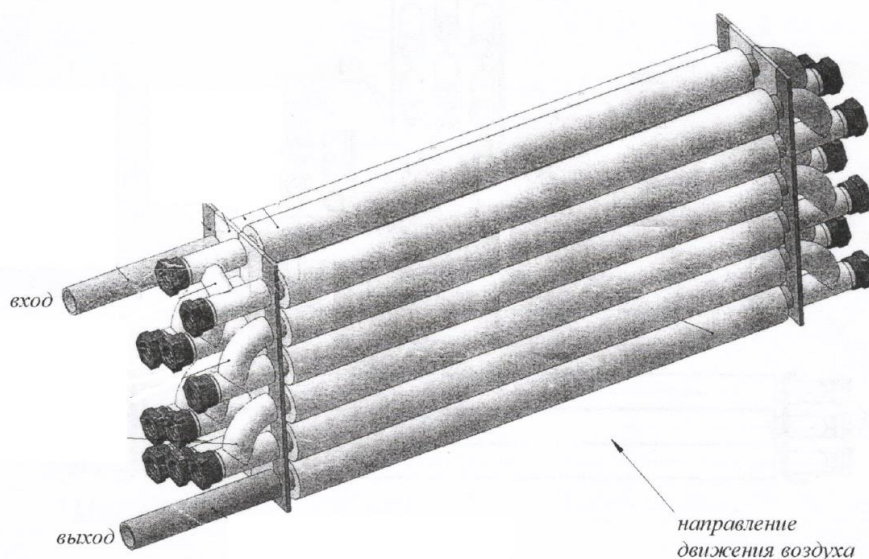


Рис.1. Калорифер новой конструкции

В то же время решение проблемы подготовки вентиляционного воздуха для шахт было найдено и реализовано на ряде шахт Кузбасса еще в 70-е годы (автор и разработчик Шушпанников В.А.), затем через КузПИ (Л.Л.Моисеев) в 80-е годы успешно внедрено на пяти воздухоподающих стволах Норильских рудников [1]. Успех был достигнут за счет водяного калорифера новой конструкции (КНК), обеспечивающего стабильную и эффективную работу от наружного воздуха при расчетных соотношениях «вода-воздух» и значительно превосходящего по своим прочим потребительским качествам импортные аналоги (рис.1).

Кардинальным отличием КНК от заводских калориферов явилось соединение теплообменных трубок последовательно, что соответственно увеличило скорость потока расчетного количества воды и обеспечило незамерзаемость (а стало быть, неразрушаемость) калорифера при экстремальных наружных температурах. (Прототипы - шведский калорифер, теплообменники криогенной техники).

Повышение потребительских качеств новых калориферов в российских условиях было достигнуто установкой на межтрубных переходах ремонтных пробок для возможности периодической чистки внутренних полостей трубки от наносных продуктов коррозии и пр. Ремонтные пробки оснащаются предохранительными мембранами, защищающими трубки от разрушения при аварийных ситуациях (отключение подачи воды, авария котельной и т.д.)

Сравнительные испытания были проведены на стендовой установке, разработанной и смонтированной в Кузбасском технопарке. Установка состоит из двух агрегатов с разными калориферами: заводским и КНК, имеющими:

- одинаковые поверхности нагрева,
- идентичные габаритные размеры и рядность,
- одинаковые аэродинамические сопротивления воздуха и идентичные вентиляторы,
- одинаковые циркуляционные насосы,
- одинаковые температуры воздуха на входе,
- разную обвязку теплообменных трубок,
- подключение к одной теплофикационной сети.

Характеристика установки и результаты испытаний и расчетов приведены в табл. 1,2.

Таблица 1. Техническая характеристика стендовых калориферных установок

№ п/п	Наименование параметра	Заводская установка	Установка КНК
1	Поверхность теплообмена по воздуху, м <sup>2</sup>	16	16
2	Теплообменная трубка	Стальная с алюминиевым оребрением d=48 мм	
3	Количество трубок	48	48
4	Количество модулей	1	3
5	Количество ходов в модуле	4	16
6	Количество трубок в ходу	14-12-12-10	1
7	Подключение трубок	параллельное	Последовательно-параллельное
8	Количество рядов	4	4
9	Расположение трубок по воздуху	шахматное	шахматное
10	Габаритные размеры, мм	530x530x170	530x530x170
11	Производительность осевого вентилятора, м <sup>3</sup> /ч	2312	2312
12	Циркуляционный насос	ИРС-25/80	ИРС-25/80
13	Контроль расхода воды	водосчетчик	водосчетчик
14	Контроль температуры	ТРМ-1,2	ТРМ-1,2
15	Контроль давления	Образцовые манометры МО-1,6, МО-4	
16	Снятие гидравлической характеристики	Мерный сосуд 28 л	
17	Контроль расхода воздуха	Термоанемометр	
18	Измерение нагрузки (силы тока) насоса	Токоизмерительные клещи	

Таблица 2. Результаты замеров и расчетов стендовых калориферных установок

№ опыта	Скорость воды в трубках, м/с		Разность температуры воды, °С		Разность температур воздуха, °С		Расход воды через калорифер, л/час		Нагрузка двигателя насоса, А	
	КНК	Заводской	КНК	Заводской	КНК	Заводской	КНК	Заводской	КНК	Заводской
1	0,699	0,15	4,9	2,5	11,3	8,3	1920	1920	0,4	0,4
2	0,699	0,15	4,4	3,5	11,6	9,0	1920	1920	0,4	0,4
3	0,699	0,15	6,0	3,6	9,8	7,7	1920	1920	0,4	0,4
4	0,699	0,15	4,3							
5	0,699	0,15	4,4							
6	0,699	0,15	3,4							

Выводы по стендовым испытаниям:

Скорость движения воды по трубкам у КНК выше в 4,5 раза

Тепло, снятое с КНК больше в 1,59 раз.

Коэффициент теплопередачи КНК больше в 2,3 раза.

На калорифер получен сертификат соответствия № РОСС RU.МГ09.Н00008.

Применение КНК позволило разработать технологию подготовки вентиляционного воздуха для рудников «Норильского Никеля», обеспечивающую высокую эффективность, надежность работы шахтных стволов, и комфортность (температурную) примыкающих к ним надшахтных зданий, башенных копров.

Успешное апробирование КНК для отопления и вентиляции было осуществлено в 90-х годах на анилинокрасочном заводе (г. Кемерово), на свинокомплексе «Юбилейный» (п. Плотниково), камвольно-суконном комбинате (г. Ленинск-Кузнецк), в институте Культуры, в пассажирском автотранспортном предприятии №1 (г. Кемерово) и т.д.

#### Показатели эффективности КНК.

- Более высокий теплосъем (на 40% выше заводских) за счет:
    - противотока теплоносителей;
    - большой скорости течения воды и, соответственно, турбулизации потока;
  - Незамерзаемость в рабочем режиме даже при перегрузках за счет большой скорости движения воды.
  - Возможность восстановления качества (чистка трубок) при работе на «грязной» воде.
  - Неразрушаемость при перемерзании трубок в аварийных случаях за счет срабатывания предохранительных мембран на пробках для чистки.
  - Легкий монтаж и взаимозаменяемость при эксплуатации.
  - Меньшая потеря тепловой мощности установки при единичном выходе из строя одного калорифера (модуля) из всей сборки (между собой модули соединяются параллельно).
  - Сокращение расхода воды способствует повышению ее качества и снижению затрат электроэнергии на ее перекачку.
  - Уменьшение габаритов и металлоемкости установок.
  - Увеличение срока службы и сохранение стабильности параметров на весь срок службы.
  - Обеспечение нормируемого микроклимата (внутренняя экология закрытых пространств):
    - сокращение проф. заболеваний;
    - повышение работоспособности.
  - Сохранение строительных элементов зданий и сооружений от разрушения мерзлотными явлениями (за счет избыточного давления внутри зданий при приточной вентиляции).
  - Снижение стоимости изготовления за счет:
    - применения новых материалов и технологий при изготовлении (в частности, оребрение алюминиевых трубок методом деформирующего резания и др.);
    - более высокой технологичности производства КНК.
  - Более гибкая шкала типоразмеров (система «под заказ»).
  - Возможность индивидуального расчета по фактическим параметрам сети.
- Внедрение КНК позволило пересмотреть и решить ряд других сопутствующих проблем существующего теплотехнического хозяйства, а именно:

1. Регулирование распределения теплоносителя в разветвленных и сложных сетях и объектах.
2. Эффективное и энергосберегающее использование теплоносителя «пар» в технологии и отоплении.
3. Комплексная автоматизация теплотехнических систем.

В настоящее время имеются все предпосылки для организации серийного производства caloriferов КНК и широкого внедрения их в первую очередь на горных предприятиях и других объектах.

#### Список литературы:

1. Киселев Ю.Е., Тимошенко Н.Е. Совершенствование тепловых систем подготовки вентиляционного воздуха на рудниках // Управление газодинамическими явлениями в шахтах. Сб. научных трудов ИГД СО РАН. – 1986. – С.114-120.

#### Исследование процессов тепловыделения в дисковом кавитационном теплогенераторе Беспалов В.И., Беспалов В.В., Коротких А.Г., Слюсарский К.В.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск  
[slyuskonst@gmail.com](mailto:slyuskonst@gmail.com)

В качестве одного из способов теплоснабжения зданий рассмотрен дисковый теплогенератор, принцип действия которого основан на выделении тепла в жидкости за счет образования и схлопывания кавитационных полостей, перепада давления и сил трения жидкости с диском [1–3].

Исследуемый кавитационный теплогенератор представляет собой диск (рис. 1), насаженный на ротор, который размещен в корпусе между двумя неподвижными дисками (статорами) с зазором.

Для увеличения коэффициента шероховатости диска и числа зарождающихся кавитационных полостей дополнительно в диске высверливаются конические углубления.

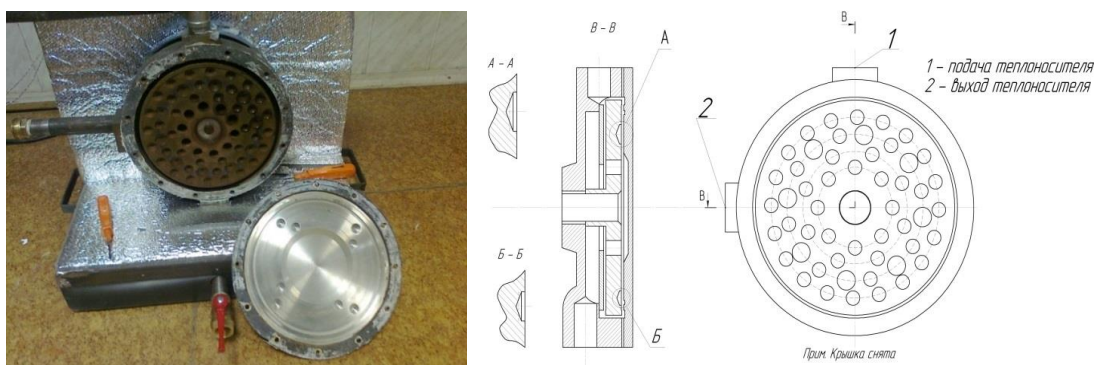


Рисунок 1 – Дисковый кавитационный теплогенератор: а) общий вид; б) схема конструкции

Водяной теплоноситель подается в верхний патрубок 1 и распределяется в зазоре между диском и статором. Вал диска жестко закреплен с валом электродвигателя и вращается с заданной окружной скоростью. За счет сил трения жидкости между подвижной и неподвижной поверхностями пластин и схлопывания кавитационных пузырей происходит выделение тепла, что приводит к увеличению температуры теплоносителя в камере теплогенератора, который затем выходит через патрубок 2 и далее поступает к тепловому потребителю.

Схема включения исследуемого дискового теплогенератора приведена на рис. 2. Подающая линия запитана от бытового трубопровода холодной воды. На подающей линии установлен блок учета расхода воды на установку, состоящий из шарового крана 13 и крыльчатого водосчетчика 5. Обратная линия (дренаж) предназначена для утилизации нагретой в теплогенераторе воды, она сливает теплоноситель в хозяйственно-бытовую канализацию. Для контроля изменения температуры теплоносителя по длине трубопровода и повышения точности измерений температуры нагретой воды, на обратной линии установлены два биметаллических

термометра марки БТ 4. Для определения величины рециркуляции жидкости в аппарате на подающей и обратной линиях между переключкой и генератором закреплены термопары 9, подключаемые к универсальному преобразователю 8 для измерения температуры. Также на трубопроводе после теплогенератора установлен водосчетчик 14, для непосредственного определения расхода теплоносителя через теплогенератор. Теплогенератор оборудован программируемым автоматическим регулятором, действующим по сигналу термопар и связанный с электродвигателем 2, вариатором числа оборотов электродвигателя и электронным счетчиком электроэнергии 6, смонтированных на контрольно-измерительной панели.

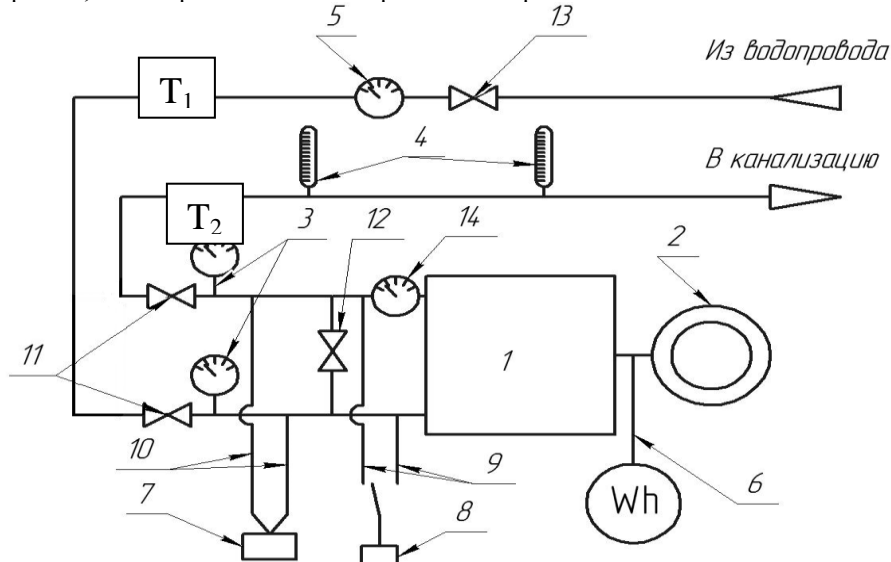


Рисунок 2 – Принципиальная схема установки: 1 – теплогенератор кавитационный; 2 – асинхронный электродвигатель с вариатором; 3 – манометры; 4 – термометры биметаллические; 5 – расходомер крыльчатый; 6 – электронный счетчик электроэнергии; 7 – термопреобразователь сопротивления; 8 - преобразователь универсальный; 9 – термопары и компенсационные провода; 10 – термометры сопротивления и соединительные провода ТПС; 11 – краны на циркуляционной линии; 12 – кран на переключке; 13 – кран на узле учета расхода воды; 14 – расходомер рециркуляции крыльчатый.

Основные технические характеристики используемого теплогенератора приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные для расчета

Параметр	Обозначение	Единицы измерения	Значение (или диапазон)
Частота вращения вала	$\omega$	$\text{с}^{-1}$	40..50
Характеристики теплоносителя			
Плотность теплоносителя	$\rho$	$\text{кг/м}^3$	1000 (для воды)
Температура воды	$T$	$\text{К}$	278..378
Массовый расход теплоносителя	$G$	$\text{кг/с}$	0..2
Объемный расход теплоносителя	$V$	$\text{м}^3/\text{с}$	0..0,002
Конструктивные характеристики			
Радиус положения отверстий перетока	$R_3$	$\text{м}$	0,0412
Радиус ротора	$R_2$	$\text{м}$	0,11
Осевой зазор	$h$	$\text{м}$	0,003

Прочие характеристики, такие как количество и расположение отверстий в диске, зависят от конфигурации шероховатости на поверхности ротора. Далее в предлагаемой методике расчета тепловыделений в жидкости эти характеристики приведены в явном виде.

Процесс выделения тепла в жидкости рассматриваемого дискового теплогенератора преимущественно зависит от сил трения между жидкостью и диском, искусственной шероховатости (количества отверстий в статоре и роторе) и гашения перепада давления в зоне рециркуляции.

Расчет тепловыделения в жидкости выполнен с использованием трех уравнений: Закона Ньютона [4]:

$$N_t = k_{mp} \frac{u^3 \cdot (2 \cdot R_2)^2 \cdot \rho}{2}, \text{ Вт,}$$

где  $u$  – окружная скорость, м/с;  $k_{mp}$  – коэффициент трения, определяемый по

формуле:  $k_{mp} = 2,5 \cdot 10^{-2} \left( \frac{h}{R_2} \right)^{0,1} \text{Re}_u^{-0,2}$ ,  $\text{Re}_u = \frac{u \cdot 2h}{\nu}$  – число Рейнольдса для течения жидкости на поверхности диска,  $\nu$  – кинематическая вязкость, принята равной  $10^{-6}$ ,  $\text{м}^2 / \text{с}$ .

Формулы Вейсбаха для местных сопротивлений [5]:

$$N_r = \zeta_{\Sigma} \cdot \rho \cdot V \cdot \frac{u^2}{2}, \text{ Вт,}$$

где  $V$  – расход в линии рециркуляции, м<sup>3</sup>/с;  $\zeta_{\Sigma}$  – суммарный коэффициент местного сопротивления для всей поверхности диска. Вычислим его, сложив все местные сопротивления, формируемые углублениями по формуле:

$$\zeta_{\Sigma} = \sum \zeta_i;$$

Закона сохранения энергии для линии рециркуляции [6]:

$$N_p = dp \cdot Q, \text{ Вт,}$$

где  $dp$  – гасимый в контуре рециркуляции напор теплоносителя, Па.

Для анализа результатов расчета проведено экспериментальное измерение параметров при разных расходах теплоносителя через дисковый кавитационный теплогенератор. Результаты измерения параметров теплоносителя представлены в табл.2. Количество выделившегося тепла при нагреве теплоносителя на  $\Delta t$  равно:

$$Q = G \cdot c_p \cdot \Delta t, \text{ Вт,}$$

где  $c_p$  – изобарная массовая теплоемкость воды,  $\text{кДж} / \text{кг} \cdot ^\circ\text{C}$ ;  $\Delta t$  – перепад температур между подающей и обратной линией,  $^\circ\text{C}$ .

Таблица 2 – Измеренные параметры теплоносителя и установки.

№ опыта	$G$ , кг/с	$Q_3$ , кВт	$Q$ , кВт	$\eta$ , %	Кратность циркуляции	$\Delta t$ , $^\circ\text{C}$
1	0,22	2,28	1,84	80,7	2,415	4,60
2	0,39	2,61	2,07	79,2	4,160	5,20
3	0,41	2,61	2,18	83,6	4,480	5,60
4	0,45	2,52	2,16	85,7	4,839	5,54
5	0,57	3,06	2,63	85,9	6,111	6,75
6	0,81	3,84	3,22	83,9	8,789	8,29

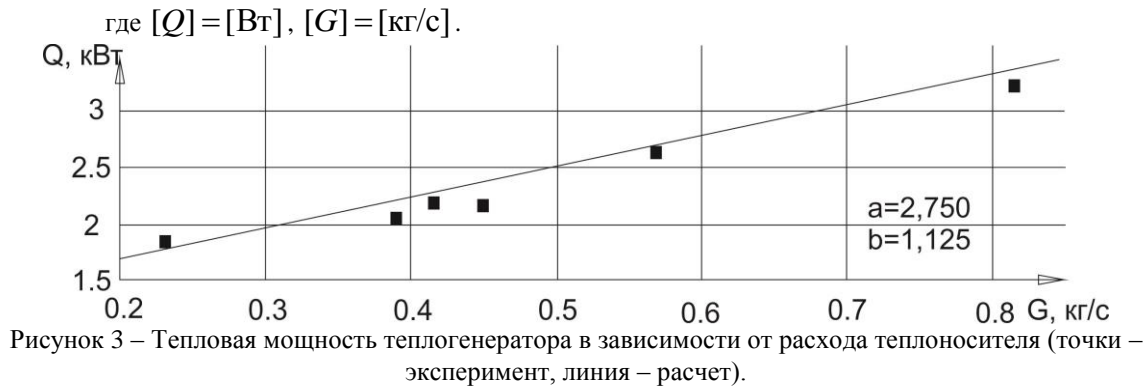
Здесь  $Q_3$  – потребляемая электрическая мощность, кВт;  $\eta$  – КПД теплогенератора, %, определялся по формуле:  $\eta = (Q / Q_3) \cdot 100\%$ .

Результаты расчета и измеренных значений тепловыделений  $Q$  приведены на рис. 3. Относительная погрешность измерения  $Q$  (характеризующая отклонение опытных данных) составляет не более 2%.

Аппроксимация опытных данных проводилась методом наименьших квадратов с использованием линейной зависимости:

$$Q = a \cdot G + b, \text{ Вт,}$$





Анализ полученных результатов показал, что с увеличением расхода теплоносителя тепловая мощность теплогенератора возрастает за счет кинетической энергии, энергии, передаваемой теплоносителю статором и ротором (ростом сдвиговых напряжений между жидкостью и поверхностью) и потерь энергии, происходящими при движении жидкости от входного до выходного сечения (роста потерь давления).

Выводы:

Предложена методика расчета тепловыделения в жидкости в кавитационном теплогенераторе. Получены результаты расчета тепловыделения в зависимости от расхода теплоносителя. Отклонение расчетных данных от экспериментальных составляет 9%.

Увеличение  $G$  приводит к увеличению  $Q$  за счет роста потерь давления и возросших сдвиговых напряжений в зазоре между жидкостью, статором и ротором дискового кавитационного теплогенератора.

Коэффициент полезного действия теплогенератора не превышает 86% и растет по мере роста снимаемой тепловой мощности.

#### Список литературы:

1. Байков О.В. Вихревые гидравлические машины. М.: Машиностроение, 1981. – 111 с.
2. Материалы сайта ОАО «Тепловые эффективные системы»: <http://www.ecoteplo.ru/>.
3. Роторный насос-теплогенератор. Патент RU 2159901, 2000 г.
4. Турбины тепловых и атомных электрических станций: Учебник для вузов./ А.Г.Костюк, В. В. Фролов, А. Е. Булкин, А. Д. Трухний. – М.: Издательство МЭИ, 2001 – 488 с.
5. Чугаер Р.Р. Гидравлика: Учебник для ВУЗов. – Л.: Энергоиздат, 1982. 672 с.
6. Основы теории и расчета деталей роторного аппарата: Учебное пособие / В.М.Червяков, Ю.В. Воробьев. – Тамбов: Изд-во Тамбовского государственного ун-та, 2008 – 386 с.

#### Исследование топочных процессов при сжигании природного газа в камерной топке

*Гиль А.В., Д.В. Лебедь Д.В*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск*

*ОАО «Дальневосточная генерирующая компания», Россия, г. Владивосток*

[andgil@tpu.ru](mailto:andgil@tpu.ru)

Разработка газовых месторождений Сахалина и развитие системы магистральных газопроводов позволяет перевести котельные агрегаты тепловых электрических станций Дальнего Востока и Приморского края на природный газ. Данный вид ископаемого топлива оказывает минимальное воздействие на окружающую среду и требует значительно меньшее количество операций в процессе его подготовки к сжиганию. К тому же на восточном направлении потребление природного газа невелико по отношению к поставкам газа на запад, что отражается на его ценообразовании и соответственно для рассматриваемого природного газа установлена более низкая цена.

В качестве объекта исследования приняты котельные агрегаты БКЗ-210-140 Владивостокской ТЭЦ-2 которые в настоящее время принято перевести с сжигания местных твердых топлив на природный газ. При этом задача перевода сопровождается возможностью, на основании принятой схемы сжигания природного газа, организовать сжигание угля.

Котел БКЗ-210-140Ф вертикально-водотрубный, однопарабанный, с естественной циркуляцией, П-образной компоновки, с твердым шлакоудалением. Топочная камера объемом 1093 м<sup>3</sup> оборудована четырьмя тангенциально установленными прямоточными горелками.

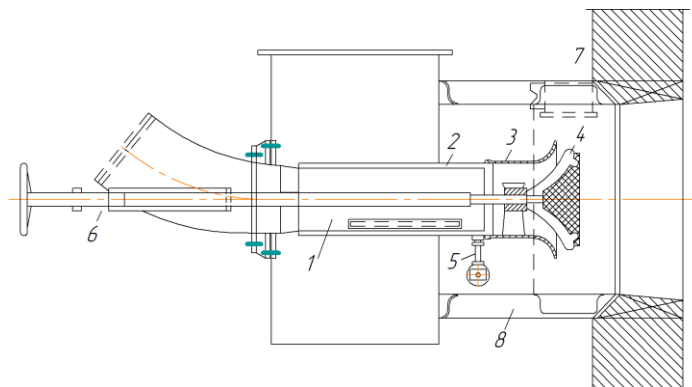
Основные технические характеристики котла БКЗ-210-140Ф: номинальная паропроизводительность 210 т/ч; давление перегретого пара 14 МПа; температура перегретого пара 570 °С; расчетный КПД (брутто) 90,3 %. Проектным топливом является чихезский бурый уголь.

Основные сложности перевода котельных агрегатов подобной конструкции связаны с возможностью оптимального расположения газовых горелок и газопроводов совместно с действующим оборудованием котла с целью достижения полного выгорания топлива и не допущения высоких температурных напряжений на стенах топочной камеры в зоне активного горения топлива.

В данной работе к установке приняты шесть комбинированных пылегазовых горелок с периферийной подачей газа в амбразуру горелки (рис. 1) по схеме треугольником вниз на боковых стенах топки. Поскольку горелки с периферийной подачей газа принципиально лучше, чем с центральной. Так как, в периферии на единицу длины радиуса по сечению горелки приходится большая масса воздуха, чем в центральной части горелки. Поэтому в первую очередь и рекомендуется подавать газ в периферийные слои [1].

Пылепроточная часть горелки выполнена в виде телескопической трубы. Благодаря такому устройству можно втягивать конус - рассекатель и раструб внутрь горелки при работе на газе, предохраняя их от сгорания, и выдвигать их в топку при переходах на сжигание угольной пыли. Передняя часть трубы 1 неподвижная, является направляющей для второй части трубы 2, несущей на конце чугунный раструб 3 и конус 4. Для исключения возможных перекосов и облегчения осевого перемещения подвижная часть трубы опирается на каретку 5 с двумя роликами. При работе котла на пыли подвижная часть трубы 2 выдвигается в топку вращением винта посредством штурвала. Винт, ввинчиваясь в гайку, перемещает при помощи тяги 6 конус и раструб. Чтобы неподвижная часть телескопической трубы не вращалась, к ней приварен палец, который может перемещаться только в осевом направлении в щели, прорезанной в неподвижной части телескопической трубы. Для защиты от угольной пыли в периоды работы на пыли резьба винта заключена в защитное устройство, оканчивающееся сальниковым уплотнением.

Газовая часть горелки состоит из кольцевой камеры 7, приваренной к наружной стороне обечайки воздушного канала 8. В стенке этой обечайки, являющейся стороной газовой камеры, просверлены семь рядов отверстий диаметром 5 мм для выхода газа.



**Рис. 1** Комбинированная пылегазовая горелка с периферийной подачей газа в амбразуру горелки (на базе пылеугольной горелки ОРГРЭС-ТКЗ)

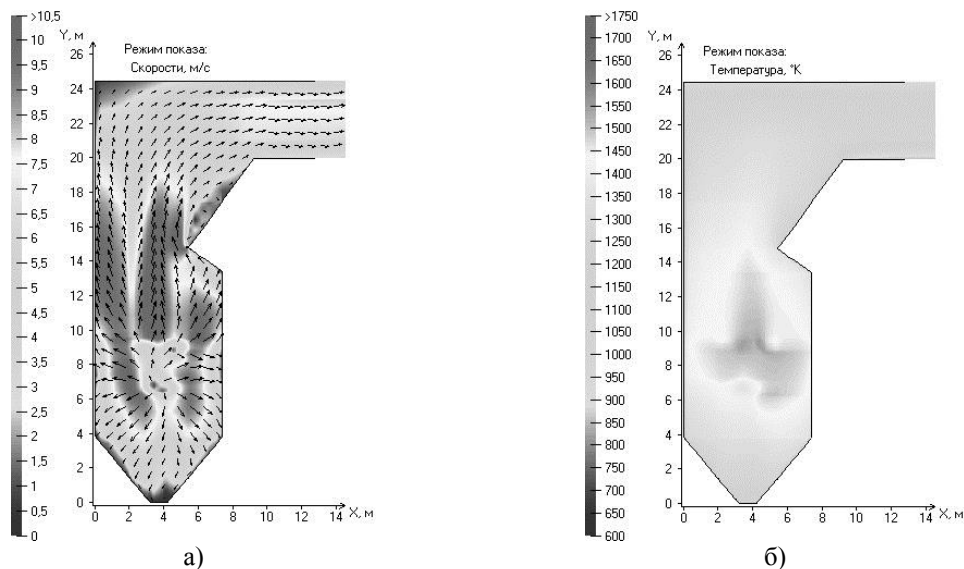
В представляемом исследовании использован Эйлерово способ описания аэротермохимических процессов на базе пакета прикладных программ FIRE 3D [2]. Турбулентные характеристики газа рассчитываются с использованием двухпараметрической «к-ε» модели турбулентности. Радиационный теплообмен представляется в рамках P1 приближения метода сферических гармоник, который показывает.

Поставленная задача решалась численно на неравномерных шахматных сетках в декартовой системе координат методом установления. Дискретизация исходных дифференциальных уравнений осуществлялась с помощью метода контрольного объема. Диффузионные потоки на гранях контрольного объема аппроксимировались центральной разностной схемой, имеющей второй порядок точности. Для определения конвективных потоков использовалась схема монотонизированная противопотоковая схема второго порядка Ван Лира.

На рисунке 2 представлены результаты расчета аэродинамической структуры высокотемпературных потоков и распространения горелочных струй в топочном объеме при сжигании газа в комбинированных пылегазовых горелках в вертикальном сечении по продольной оси котла.

Выше уровня расположения горелочных устройств (рис. 2, а) вследствие выгорания топливно-воздушной смеси и повышения объема продуктов сгорания скорость потока топочной среды у фронтальной и тыльной стены возрастает примерно до 10 м/с, что положительно отразится на теплообмене и в дальнейшем на формировании потока в зоне поворота в горизонтальный газопровод. В поворотной области отсутствуют масштабные зоны рециркуляции, которые могли бы негативно отразиться на равномерности теплообмена в данной области.

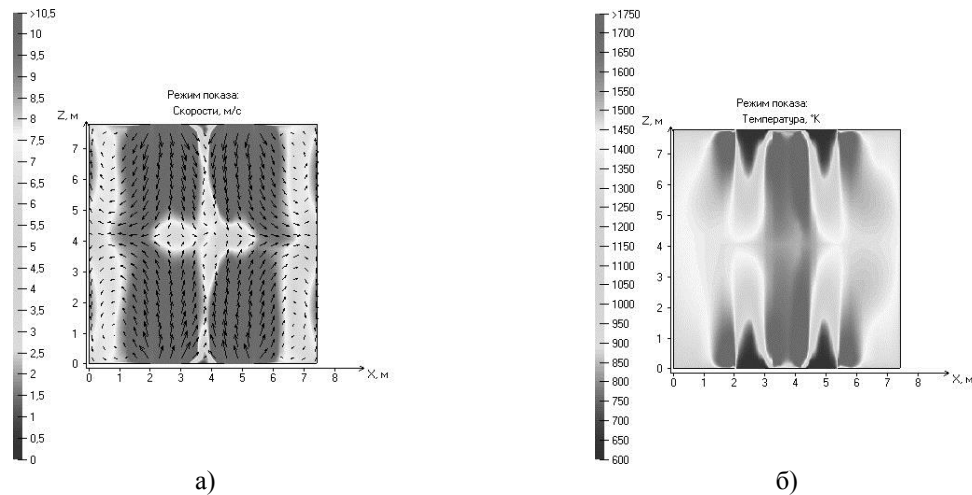
Зона повышенных температур (активного горения) располагается на высоте от 5–15 м (рис. 2, б), что соответствует уровню расположения горелочных устройств. Непосредственный контакт зоны активного горения со стенами топочной камеры отсутствует, а средний пристенный температурный уровень составляет 1200-1300 К.



**Рис. 2** Результаты численного моделирования топочного объема по продольной оси топки: а) аэродинамическая структура потоков; б) температурные поля

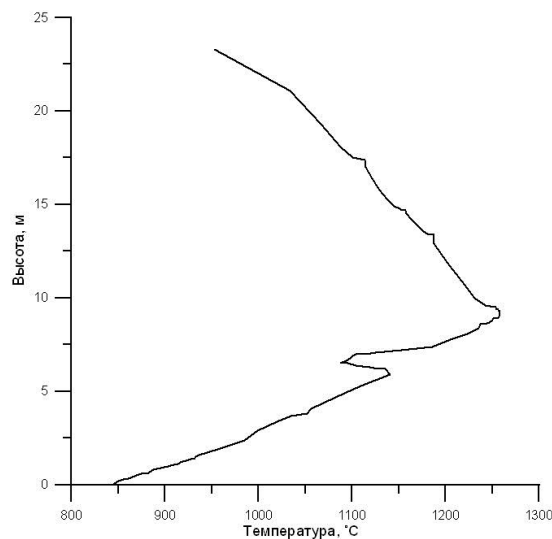
Горелочные струи полноценно распространяются по ширине топочной камеры (рис. 3, а), взаимодействуя в центре топки и, образуя при этом периферийные, относительно факелов, рециркуляционные зоны продуктов сгорания, способствующие воспламенению газозвушной смеси.

Температурные поля на уровне расположения горелочных устройств характерны процессу выгорания газозвушной смеси (рис. 3, б). На выходе из горелочных устройств температуры соответствуют значению температуры горячего воздуха и в дальнейшем температура увеличивается до максимальных значений в процессе окисления горючих веществ.



**Рис. 3** Результаты численного моделирования топочного объема в горизонтальном сечении по оси горелочных устройств: а) аэродинамическая структура потоков; б) температурные поля

По графику температурного уровня по высоте топочной камеры (рис. 4) можно отметить, что на уровне середины холодной воронки температура составляет около  $950\text{ }^{\circ}\text{C}$ . В дальнейшем, значение температур увеличивается и достигает максимального ( $1260\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) на высоте  $9,8\text{ м}$ . Затем температуры снижаются и на выходе из топки составляют  $1050\text{ }^{\circ}\text{C}$ , что согласуется с поверочным расчетом ( $1030\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) по нормативному методу теплового расчета котлов [3].



**Рис. 4** График изменения средне интегральных значений температур по высоте топочной камеры

В заключение можно отметить, что согласно принятой компоновке горелочных устройств распределение топочной среды характеризуется благоприятными условиями теплообмена с экранными поверхностями нагрева, равномерное распределение температурных полей у стен обеспечивает надежность циркуляции.

#### 1. Список литературы:

1. Иванов Ю.В. Основы расчета и проектирования газовых горелок. – М.: Государственное научно-техническое издательство нефтяной и горно-топливной литературы, 1963. – 360 с.
2. Гиль А.В., Старченко А.С. Математическое моделирование физико-химических процессов сжигания углей в камерных топках котельных агрегатов на основе пакета прикладных программ FIRE 3D // Теплофизика и аэромеханика. – 2012. – Т. 19. – № 5. – С. 655–671.
3. Тепловой расчет котлов (Нормативный метод). – СПб.: Изд-во НПО ЦКТИ, 1998. – 256 с.

**Определение экономической эффективности применения энергосберегающего промышленного испарителя сжиженных газов**

*Рулев А.В., Разманов А.А.*

*Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., г. Саратов, Россия*

[nautech@inbox.ru](mailto:nautech@inbox.ru)

Отсутствие надежной информации о ценовой динамике на близлежащую и длительную перспективу, особенно на топливо, тепловую и электрическую энергию, сложность и противоречивость инфляционных процессов, в условиях перехода к устойчивой рыночной экономике, затрудняют применение детерминированных математических моделей, необходимой составляющей которых, является наличие достоверной экономической информации в части стоимостной оценки затрат по системам регазификации сжиженного углеводородного газа (СУГ).

Предлагаемый алгоритм обоснования зон применения конкурирующих вариантов промышленных трубных испарителей (ПТИ) сжиженного углеводородного газа с промежуточной теплопередающей средой (ПТС) получен, согласно основным положениям системного анализа при обосновании теплоэнергетического оборудования [1], для временного интервала  $t = 0, 1, 2 \dots T$  в условиях неопределенности конвертирования ценовых факторов [2]. В качестве критерия оптимальности целевой функции, согласно [2,3], принят минимум интегральных затрат в промышленный регазификатор СУГ:

$$Z_i = \sum_{t=1}^T a_t \cdot C_{it} \cdot Q_{in} \cdot \tau / \eta_{it} + \left[ \sum_{f=1}^F a_f \left( \sum_{p=1}^{p=P_k} K_{ip} + \sum_{p=P_k}^p J(t=0) \cdot K_{ip,доп} \right) + \sum_{t=1}^T a_t \cdot J(t) \sum_{m=1}^M I_{im} \right] = \min \quad (1)$$

$$at = (1 + E) \cdot t; \quad af = (1 + E) \cdot f; \quad i = \overline{1, I}; \quad p = \overline{1, P}; \quad t = \overline{1, T} \quad (2)$$

где  $t$  - расчетный год эксплуатации ПТИ с ПТС;  $T$  - срок службы ПТИ с ПТС, лет; принимается равным сроку службы системы энергоснабжения  $T_{сл} = 25$  лет;  $C_{it}$  - удельная стоимость энергии в пункте отпуска энергоносителя промышленному объекту, руб./МВт·ч;  $Q_{in}$  - общее годовое потребление энергоносителя, полезно используемого  $i$ -м вариантом ПТИ с ПТС, МВт;  $\tau$  - число часов работы ПТИ с ПТС в течение года, ч;  $\eta_{it}$  - коэффициент полезного действия ПТИ с ПТС, д.е;  $f$  - количество замен  $p$ -го элемента в течение срока службы всей системы ПТИ с ПТС,  $f = T/\tau_p$ ;  $\tau_p$  - срок службы  $p$ -го элемента ПТИ с ПТС, год;  $E$  - норма дисконта, 1/год; принимается равной 0,12, то есть средней кредитной ставке банка;  $J(t=0)$ ,  $J(t)$  - коэффициенты относительного удорожания [2], учитывающие удорожание топливно-энергетических ресурсов при переводе последних на мировые цены и характеризующие неопределенность конвертирования цен, соответственно для года сооружения ПТИ с ПТС при  $t = 0$  (2013 г) и для текущего года эксплуатации  $t$ ;  $K_{ip}$ ,  $K_{ip, доп}$  - соответственно, основные и дополнительные капиталовложения в изготовление  $p$ -го элемента  $i$ -го варианта ПТИ с ПТС, руб.;  $I_{im}$  -  $m$ -й вид эксплуатационных затрат  $i$ -го варианта ПТИ с ПТС, руб./год.

Обоснование зон применения конкурирующих вариантов ПТИ с ПТС осуществлялось в детерминированной постановке путем минимизации целевой функции (1) во временной динамике, охватывающей период от начала сооружения (2013 г.) до конца периода эксплуатации (2038 г.) и учитывающей во времени изменение цены на энергоносители, различие в сроках службы отдельных элементов в течение срока службы ПТИ с ПТС.

Для сравнения были отобраны промышленные испарители, обеспечивающие расчетную паропроизводительность  $G$  во всем рассматриваемом диапазоне от 32 до 600 кг/ч. Сравнение конкурирующих вариантов осуществляется с учетом их сопоставимости и в первую очередь по назначению.

Предварительно проведенный анализ показал, что в настоящее время в отечественной и зарубежной практике газоснабжения наиболее технически и экономически целесообразны следующие варианты ПТИ с ПТС: 1) на базе огневого испарителя с жидкой промежуточной теплопередающей средой на основе диэтиленгликоля; 2) на базе электрического испарителя с твердотельной промежуточной теплопередающей средой из алюминия.

Экономический эффект от применения варианта 2 по сравнению с вариантом 1 определяется по графику (см. рисунок) как разность детерминированных затрат  $Z_{p2} - Z_{p1}$ . Так, для электрического регазификатора паропроизводительностью 100 кг/ч (точка 1 на

рисунке) экономический эффект составляет  $\Delta = 589$  тыс. рублей на один испаритель (разность детерминированных затрат между точками 4 и 5 на рисунке).

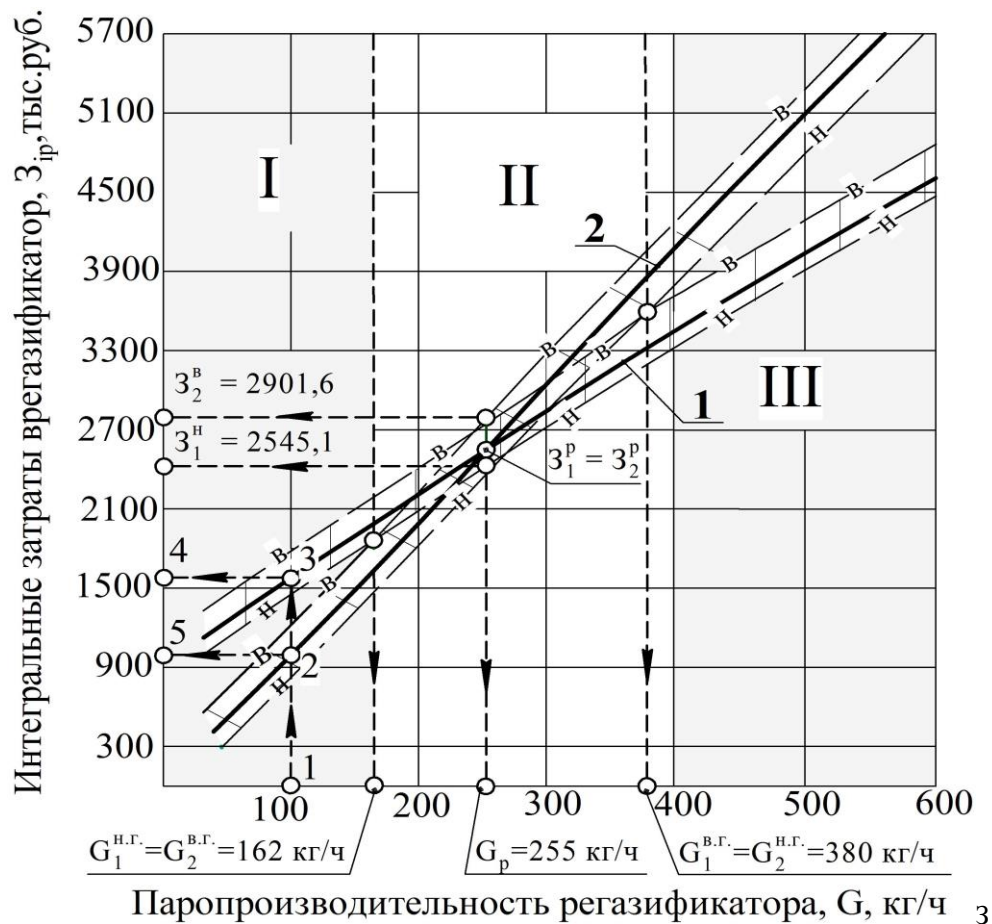


Рис.1. Обоснование границ зон применения конкурирующих вариантов промышленных испарителей СУГ с промежуточной теплопередающей средой

I- зона применения электрического испарителя с твердотельной ПТС; II-зона экономической неопределенности; III- зона применения огневого испарителя с жидкой ПТС.

- 1,2 - конкурирующие варианты;  
 - в - - в - - верхняя (в) граница затрат;  
 - - н - - н - - нижняя (н) граница затрат.

Таким образом, для промышленных объектов с расчетным расходом газа до 380 кг/ч наиболее экономичным является применение установок искусственной регазификации, оснащенных из условия надежности и безопасности двумя электрическими испарителями с твердотельной промежуточной теплопередающей средой из алюминия паропроизводительностью 200 кг/ч каждый.

#### Список литературы:

1. Попырин Л.С. Математическое моделирование и оптимизация теплоэнергетических установок/ Л.С. Попырин.– М.: Энергия, 1978. – 416 с.
2. Системные исследования по повышению интенсивности теплообмена регазификаторов сжиженного углеводородного газа: монография/ А.П. Усачев, Шурайц А.Л., А.В. Рулев и др. – Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2010. – 244 с.
3. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов. Утв. Минэкономики РФ, Минфином РФ и Госстроем РФ от 21 июня 1999 г. N ВК 477. – М.: Информэлектро, 1999. – 84 с.

### Математическое моделирование зажигания водоугольной частицы с учетом пиролиза угольной компоненты топлива

Сыродой С.В.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск  
[ssyrodoy@yandex.ru](mailto:ssyrodoy@yandex.ru)

В связи с Энергетической стратегией развития энергетики России до 2030 гг. планируется возврат к широкомасштабному использованию низкосортных и низкокачественных углей для тепло-электрогенерации [1]. В результате возникают проблемы разработки новых инновационных технологий по переработке и сжиганию такого «грязного» топлива. Одной из них является технология водоугольного топлива.

Однако, несмотря на проведенные теоретические и экспериментальные исследования по зажиганию частицы ВУТ, на сегодняшний день воспламенение остается слабо разработанной проблемой, связанной с построением более строгой математической модели, в полной мере описывающей весь комплекс гетерогенных и гомогенных процессов сопровождающих зажигание частиц ВУТ. Существующие модели зажигания частицы ВУТ, содержат в своей основе ряд существенных допущений, связанных с разделением процесса на отдельные стадии [2-6]. В данной работе был осуществлен поиск более точных параметров зажигания частицы ВУТ с учетом испарения влаги и термического разложения горючей части угольного топлива.

#### Постановка задачи

Задача зажигания частицы ВУТ решалась в рамках одномерной модели теплопереноса (Рис.1.) исходя из типичных условий топочного пространства энергетического котла.

Предполагается что, в начальный момент времени ( $\tau = 0$ ) частица ВУТ попадает в высокотемпературную среду, интенсифицирующей процесс испарения влаги, фронт которого продвигается вглубь частицы. Испарившаяся влага вследствие перепада давления фильтруется сквозь образовавшийся пористый углеродистый каркас, охлаждая его за счет конвекции и эндотермической реакции ( $C + H_2O = CO + H_2 - 118,485M18$ ). Дальнейший прогрев частицы приводит термическому разложению обезвоженной угольной компоненты топлива с выделением летучих. Продукты термической деструкции и реакции химического взаимодействия водяного пара с углеродом выходят на поверхность, формируя газовую смесь, воспламеняющуюся при достижении критических значений температуры и концентрации. Таким образом, область решения можно условно разделить на две зоны — сухую и влажную (рис.1).

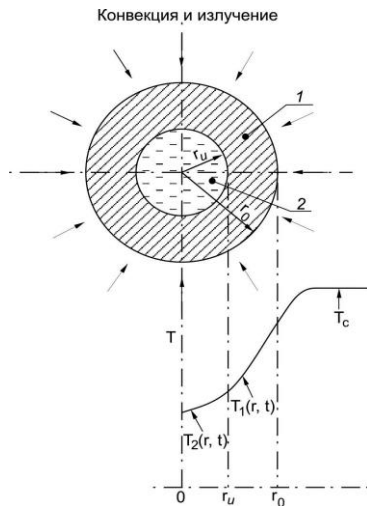


Рис. 1. Схема области решения задачи зажигания частицы ВУТ

Зона сухого остатка фильтруемая водяным паром

Зона исходного топлива

При постановке задачи для упрощения модели принимались следующие допущения:

- Теплофизические свойства топлива не зависят от температуры.
- Тепло к частице подводится совместно конвекцией и излучением.
- В качестве критерия регистрации зажигания являлось установление нулевого температурного градиента на границе системы «частицы ВУТ—высокотемпературная среда».

#### Математическая модель и методы решения

Система нестационарных дифференциальных уравнений соответствующая вышеизложенной физической модели имеет следующий вид:

$$t > 0, r_{II} < r < r_0, T \geq T_{II} \quad \frac{\partial T_1(r,t)}{\partial t} = a_1 \cdot \left[ \frac{\partial^2 T_1(r,t)}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \cdot \frac{\partial T_1(r,t)}{\partial r} \right] + \sum Q_{хим} \cdot W - v_p C p_p \cdot \rho_p \frac{\partial T_1(r,t)}{\partial r} \quad (1)$$

$$t > 0, 0 < r < r_{II}, T \leq T_{II}; \quad \frac{\partial T_2(r,t)}{\partial t} = a_2 \left[ \frac{\partial^2 T_2(r,t)}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \cdot \frac{\partial T_2(r,t)}{\partial r} \right] \quad (2)$$

$$t > 0, r_{\xi} < r < r_0, \quad \frac{\partial \eta_1(r,t)}{\partial t} = (1 - \eta(r,t)) \frac{k_0}{C_{p1}} \cdot \exp\left(-\frac{E}{R \cdot T_1(r,t)}\right) \quad (3)$$

$$t > 0, r_{\xi} < r < r_0, \quad \frac{\partial P_p(r,t)}{\partial t} = \frac{m \cdot \xi \cdot Z}{K_p} \left( \frac{\partial P_p^2(r,t)}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial P_p(r,t)}{\partial r} \right) \quad (4)$$

$$t > 0, r_{II} < r < r_0, \quad v_p = -\frac{K_p}{\xi} \frac{\partial P_p}{\partial r} \quad (5)$$

$$\lambda_1 \frac{\partial T_1(r,t)}{\partial r} \Big|_{r=r_u+0} - \lambda_2 \frac{\partial T_2(r,t)}{\partial r} \Big|_{r=r_u-0} = Q_{ucn} \cdot W_{ucn}; \quad T_1(r_u, t) = T_2(r_u, t) = T_u; \quad r = r_{II}$$

Система уравнений (1-5) решалась при следующих замыкающих соотношениях:

$$0 < r < r_0; \quad T(r,0) = T_0; \quad P(r,0) = P_0; \quad \eta(r,0) = \eta_0;$$

$$-\lambda_1 \frac{\partial T_1(r_0,t)}{\partial r} = \alpha \cdot [T_c - T_1(r_0,t)] + \varepsilon \cdot \sigma \cdot [T_c^4 - T_1^4(r_0,t)] + \sum Q_i \cdot W_i \quad (6)$$

$$\frac{\partial T_2(0,t)}{\partial r} = 0 \quad \frac{\partial P(r_{II},t)}{\partial r} = \frac{K_p}{\mu} V_p(r_{II};t) \quad P(r_0;t) = P_{атм} \quad (7)$$

Скорость реакции типа (C + H<sub>2</sub>O) по аналогии с [6] из следующего выражения:

$$W = 3.79 \cdot 10^4 \cdot c_i \cdot \rho_p \cdot \exp\left(-\frac{36207}{T_1(r;t)}\right) \quad (8)$$

Скорость пиролиза углеродистого остатка определяется из выражения:

$$W = (1 - \eta(r,t)) \cdot k_0 \cdot \rho_2 \cdot \exp\left(-\frac{E}{R \cdot T_1(r,t)}\right) \quad (9)$$

Для определения скоростей реакций окисления горючих компонентов использовалась Аррениусовская зависимость:

$$W = k_0 \cdot c_i \cdot \rho_3 \cdot \exp\left(-\frac{E}{R \cdot T_1(r,t)}\right) \quad (10)$$

$\rho$  — плотность газообразных компонентов находилась из уравнения состояния:

$$\rho = \frac{P \cdot \mu}{T(r_0;t) \cdot R} \quad (11)$$

Координата границы испарения находилась из решения системы уравнений (1)-(11) по формуле:

$$r_{II} = r_0 - \int v_{ж} \cdot d\tau$$

$$\text{Где: } v_{ж} = \frac{W_{исп}}{\rho_{ж}} - \text{линейная скорость продвижения фронта испарения } \frac{м}{с}.$$

Массовая скорость испарения находилась из выражения [7]:

$$W_{исп} = V_0 \cdot \exp\left(\frac{Q_{исп} \cdot \mu \cdot (T_1 - T_0)}{R \cdot T_0 \cdot T_1}\right)$$

Полученные результаты и их обсуждение

Дадим оценку временам основных стадий сопровождающих воспламенение частицы ВУТ различного форсуночного распыла от 100÷900мкм выполненной из антрацита Листвянского



месторождения [8], сравнив полученные данные при использовании разработанной математической модели и экспериментальные данные, приведенные в изданной литературе [9].

На рис.2. приведены результаты сопоставления характеристик зажигания для системы «частица ВУТ—высокотемпературная среда», полученных из численного решения системы (1-11) и имеющихся экспериментальных данных.

Как можно констатировать отклонение времени задержки зажигания при варьировании диаметра распыла в пределах  $700 \div 900 \mu\text{м}$  не выходит за рамки погрешности эксперимента. Однако частиц диаметром  $< 700 \mu\text{м}$  отклонения результатов выходят за рамки допустимой погрешности. Таким образом, мы можем констатировать, что представленная математическая модель может использоваться для расчёта временных характеристик зажигания достаточно крупных водоугольных частиц.

На рис.2. показано, что отсутствие учета эндотермических эффектов термического разложения и испарения воды приводит к существенному ускорению зажигания частицы, что в свою очередь приводит к серьёзному искажению результата. Полученные результаты теоритических исследований представленные на рис.2 позволяют сделать вывод о том, что применение для описания процессов теплопереноса во водоугольной частице в типичных условиях топочногo пространства упрощенных моделей испарения воды и термического разложения угольной компоненты топлива может привести к достаточно большим ошибкам в определении характеристик зажигания. Образовавшийся в результате испарения пористый угольный каркас, фильтруемый водяным паром, препятствует продвижению теплового потока, тем самым замедляя процессы испарения и термического разложения, или другими словами существенно затягивает пиролиз угля и достижения высоких температур поверхностью частицы.

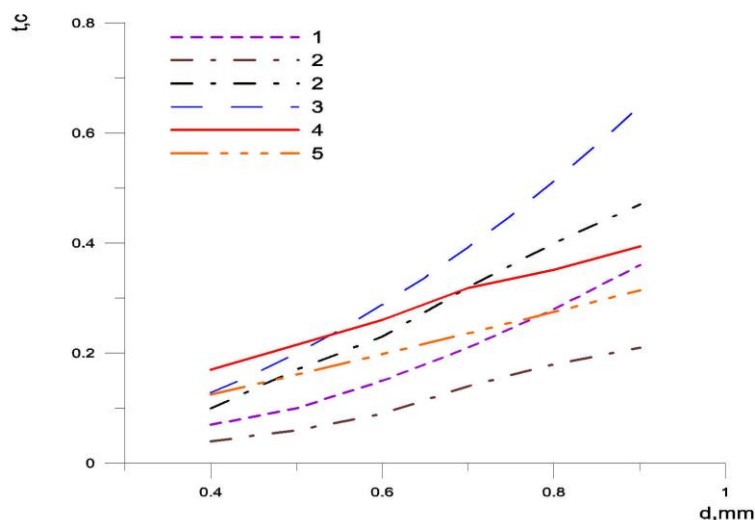


Рис.3. Зависимость времени задержки зажигания частиц от характерного размера распыленных частиц:

- 1 – время задержки зажигания частиц ВУТ, полученное экспериментально в [12];
- 2 – кривые характеризующие предел разброс экспериментальных данных [12].
- 3 – время задержки зажигания, определенное по эмпирическим формулам, приведенным в [12];
- 4 – время задержки зажигания, найденное из численного расчета системы (1-11).
- 5 – время задержки зажигания частицы ВУТ без учета экзотермических эффектов испарения влаги и пиролиза сухой части топлива.

В заключение необходимо отметить, что впервые для описания воспламенения частицы ВУТ была представлена математическая модель, учитывающая фронтальную природу испарения влаги, внутренний теплоперенос, химическое взаимодействие водяных паров с пористым угольным каркасом и так же термическую деструкцию угля.

#### Список литературы:

1. Саломатов В.В. Состояние и перспективы угольной и ядерной энергетик России // Теплофизика и аэромеханика. – 2009. – Т.16, №4. – С. 531-544.
2. Делягин Г.Н. Вопросы теории воспламенения и горения распыленной водоугольной суспензии //

- В кн.: Кинетика и аэродинамика процессов горения топлива. – М.: Наука, 1969. – С. 111-127.
3. Саломатов В.В, Кравченко И.В. Теоретическое исследование горения капли водоугольного топлива // Горение и плазмохимия: – ч. 1, 2007, вып. 3, с. 178-188; – ч. II, 2007, вып. 3, С. 187-197; – ч. III, 2008, вып. 1, С. 56-59; – ч.IV, 2008, вып. 4, с. 178-187.
  4. Huang Z. et all. Theoretical analysis on CWM drop combustion history // Proc. 8-th Intern. Symp. Coal Slurry Fuels Preparation and Utilization. USA, Orlando. Part 1. – 1986. – p. 343-358.
  5. Matthews K.J., Jones A.R. The effect of coal composition on coal-water slurry combustion and ash deposition characteristics // Proc. 8-th Intern. Symp. Coal Slurry Fuels Preparation and Utilization. USA, Orlando. Part 1. 1986. – p. 388-407.
  6. Гремячкин В.М. О взаимодействие пористой частицы углерода с водяным паром// Химическая физика. Т.26, – №5, – 2007, – С. 26-33.
  7. Френкель Я.И Кинетическая теория жидкости, Л., 1975.
  8. Антрациты Листвянского месторождения – коллект. Монография / под ред. Юдницкого Г.Е. – М.: Недра, 1999. – 207 с.
  9. Бабий, В.И. Воспламенение и горение капель водоугольной суспензии / В.И. Бабий, В.М. Барабаш, А.М. Хидиятов, В.А. Степашина // Мат. 9 Всерос. симп. по горению и взрыву. – Черногловка. – 1989. – С. 56 – 59.

**Определение характеристик конструкционных материалов с целью уточнения параметров объектов теплоэнергетики в процессе эксплуатации**

**Троицкий О.Ю., Медведев В.В.**

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск*

[tor\\_43@mail.ru](mailto:tor_43@mail.ru)

[atptef@tpu.ru](mailto:atptef@tpu.ru)

Изменение характеристик конструкционных материалов в процессе эксплуатации приводит к значительным изменениям тепловых потоков в технологическом оборудовании и трубопроводных системах объектов теплоэнергетики. Наличие эффекта тепловой усталости, приводящего к изменениям значений теплофизических характеристик (ТФХ) конструкционных материалов (в некоторых случаях до двукратного), вызывает необходимость периодического уточнения этих характеристик. Традиционные экспериментальные калориметрические методы определения ТФХ [1] требуют длительного периода подготовки и проведения эксперимента. Для многослойных материалов, к которым можно отнести конструкционные материалы объектов теплоэнергетики с упрочняющими и защитными покрытиями, которые получают все большее распространение, а также для материалов, имеющих высокую теплопроводность и/или малую толщину традиционные методы имеют существенные погрешности определения ТФХ, достигающие 50 % от действительного значения ТФХ.

Для оперативного определения ТФХ конструкционных материалов объектов теплоэнергетики предпочтительно использование импульсного теплового метода. Модификации импульсного теплового метода, а именно, двухсторонний метод, в котором температура измеряется на поверхности, противоположной поверхности, на которую направлен тепловой поток источника импульсного нагрева (лазера или другого источника нагрева) и односторонний импульсный тепловой метод, в котором температура измеряется на той же поверхности, на которую направлен тепловой поток от источника нагрева, позволяют значительно ускорить процесс определения ТФХ и снизить его погрешности. Импульсный тепловой метод позволяет оперативно производить определение ТФХ непосредственно на технологическом объекте. Этот метод позволяет также определять ТФХ многослойных конструкционных материалов.

Основной задачей при определении момента времени начала обработки температурной кривой, характеризующей изменения температуры поверхности исследуемого объекта, является нахождение момента времени начала регуляризации температурного режима, т. е. такого момента времени, после которого определение теплофизических характеристик материала объекта контроля, являющееся решением обратной задачи теплопроводности, сводится к простейшим математическим соотношениям.

Определение ТФХ производится путем измерения длительностей временных интервалов от момента времени окончания импульса нагрева до моментов времени, соответствующих характерным точкам температурной кривой, описывающей изменение температуры поверхности

объекта контроля. После определения соответствующих интервалов времени производится или непосредственный расчет ТФХ, или производятся дополнительные вычисления, в частности, определяется шаг интегрирования температурной кривой, характеризующей изменение температуры поверхности исследуемого объекта после наступления момента регуляризации температурного режима, а затем вычисляются значения теплофизических характеристик. В частности, для помехозащищенного метода «пошагового интегрирования» [2] вычисление значений ТФХ производят по формулам:

$$a = \frac{L^2}{\pi^2 \Delta \tau} \ln \frac{I_2 - I_1}{I_3 - I_2}, \quad \gamma = \frac{Q \Delta \tau (2I_2 - I_1 - I_3)}{L(I_2^2 - I_1 I_3)}, \quad \lambda = a \gamma,$$

где  $a$  - коэффициент температуропроводности материала;  $L$  - толщина материала;  $\Delta \tau$  - шаг интегрирования температурной кривой,  $\Delta \tau = 0,1 \Delta t$ ,  $\Delta t = t^* - t_0$ ;  $t^*$  - момент времени начала регуляризации температурного режима;  $t_0$  - момент времени окончания импульса нагрева;

$$I_1 = \int_{t^*}^{t_1} T dt, \quad I_2 = \int_{t_1}^{t_2} T dt, \quad I_3 = \int_{t_2}^{t_3} T dt;$$

$T$  - избыточная температура поверхности материала;  $\gamma$  - объемная теплоемкость материала;  $Q$  - количество поглощенной энергии;  $\lambda$  - коэффициент теплопроводности материала.

Для конструкционных материалов с упрочняющими или защитными покрытиями после определения ТФХ покрытий из условия  $F_0 \geq 0,25$ ,  $F_0 = a_1 t / L_1^2$ , где  $a_1$  - коэффициент температуропроводности материала покрытия,  $t$  - интервал времени от момента окончания импульса нагрева до текущего момента времени,  $L_1$  - толщина покрытия, определяется момент времени  $t_{12} = 0,25 L_1^2 / a_1$  начала обработки информации об избыточной температуре поверхности материала, необходимой для вычисления с помощью метода «пошагового интегрирования» совместных (эффективных) ТФХ  $\lambda_{12}$ ,  $\gamma_{12}$ ,  $a_{12}$  для покрытий и основных конструкционных материалов. Затем определяют ТФХ основного конструкционного материала по соотношениям:

$$\lambda_2 = \frac{m}{\frac{1}{\lambda_{12}} - \frac{1-m}{\lambda_1}}, \quad \gamma_2 = \frac{\gamma_{12} - (1-m)\gamma_1}{m}, \quad a_2 = \frac{\lambda_2}{\gamma_2};$$

где  $m = L_2 / (L_1 + L_2)$ ,  $L_2$  - толщина основного конструкционного материала.

Моменты времени начала регуляризации температурного режима при использовании одностороннего импульсного теплового метода определяются с помощью метода «скользящей касательной» [3], в котором нахождение момента времени регуляризации температурного режима сводится к нахождению момента времени равенства нулю функции

$$F = T + k \Delta t T^1,$$

где  $k$  - постоянный коэффициент,  $\Delta t$  - интервал времени от момента времени окончания импульса нагрева до текущего момента времени,  $T^1$  - первая производная от избыточной температуры поверхности материала по времени.

В случае фронтального мониторинга на участке регуляризации температурного режима решение прямой задачи теплопроводности для исследуемого материала сводится к соотношению

$$T = \frac{Q}{\gamma L} [1 + 2k_1 \exp(-\pi^2 a t / L^2)]$$

где  $L$  - толщина материала,  $k_1$  - постоянный коэффициент, определяемый из начальных условий;

а ТФХ материала определяют по формулам:

$$a = -L^2 \frac{\ln F}{\pi^2 \Delta \tau}, \quad \gamma = \frac{Q(1-F)}{LD};$$

где  $F$  и  $D$  - функционалы, значения которых вычисляются на основании измерений избыточной температуры поверхности материала через интервалы времени  $\Delta\tau$  после момента времени начала регуляризации температурного режима.

В процессе эксплуатации неизвестны с достаточной точностью структуры и характеристики конструкционных материалов технологических объектов. Для таких объектов необходимо одновременное определение ТФХ конструкционных материалов и их толщины. Невозможность одновременного определения вышеуказанных величин имеет две причины: теоретическую и экспериментальную. Экспериментальные проблемы тесно связаны с теоретическими, поскольку отсутствуют алгоритмы одновременного определения искомого величин. Теоретические проблемы вызваны тем, что искомые величины входят в состав решения дифференциальных уравнений теплообмена в виде сомножителей и их сложно разделить. Экспериментальные проблемы, которые необходимо решить при наличии готовых алгоритмов, связаны с метрологическими характеристиками инструментальных средств эксперимента, поскольку требуется высокоскоростное измерение температуры поверхности конструкционных материалов.

Предлагаемый подход к решению указанной проблемы, основанный на использовании импульсного теплового метода, заключается в следующем. Для анизотропных материалов с температуропроводностью  $a$  аксиальная компонента  $a_x$  может быть найдена по формуле [4]:

$$a_x = -\frac{b^2 \ln F}{\Delta\tau\pi^2}, \quad F = \frac{\sum_{k=1}^n T^k \sum_{k=1}^n T^{k-1} - n \sum_{k=1}^n T^k T^{k-1}}{(\sum_{k=1}^n T^{k-1})^2 - n \sum_{k=1}^n (T^{k-1})^2}, \quad (1)$$

где  $T_k$  - температура, измеренная в момент времени  $t_k$  в центре пятна нагрева;  $n$  - число измерений температуры, проведенных в той же точке с шагом по времени  $\Delta\tau$ ;  $b$  - толщина слоя исследуемого материала.

Радиальную компоненту  $a_r$  определяют с использованием соотношения [5]:

$$a_r = \frac{\frac{T_i^k - T_i^{k-1}}{\Delta t}}{\frac{T_{i+1}^k - T_i^{k-1}}{2r_i \Delta r} + \frac{T_{i+1}^k - 2T_i^k + T_{i-1}^k}{(\Delta r)^2}}. \quad (2)$$

В уравнении (2)  $T_{ik}$  представляет собой температуру, измеренную в момент времени  $t_k$  на поверхности исследуемого материала в точках  $r=r_i$ . Временные  $\Delta t$  и пространственные  $\Delta r$  интервалы определяются соотношениями  $\Delta t = t_k - t_{k-1} = t_{k+1} - t_k$ ,  $\Delta r = r_{i+1} - r_i$ . Сведения о точности рассмотренного способа определения ТФХ представлены в работах [4, 5].

Для однородных изотропных конструкционных материалов  $a_x = a_r = a$ , что позволяет составить систему из двух уравнений (1, 2) с двумя неизвестными – температуропроводностью  $a$  и толщиной материала  $b$ . Решая эту систему, определим, в соответствии с соотношением (2), величину  $a = a_r$ , а также толщину конструкционного материала

$$b = \left(-a \frac{\Delta\tau\pi^2}{\ln F}\right)^{0.5}.$$

Таким образом, поставленная задача может быть решена для однослойных конструкционных материалов и материалов с изоляционными или защитными покрытиями. Появляется также возможность определения толщины и ТФХ покрытий и модифицированных поверхностных слоев различных конструкционных материалов, а также возможность определения расположения дефектов. Результаты определения значений ТФХ предложенным способом могут использоваться в расчетах параметров тепловых потоков на объектах теплоэнергетики и диагностике тепловой усталости конструкционных материалов, что повысит эффективность и надежность технологических объектов. По изменениям значений ТФХ в процессе эксплуатации можно судить о термическом старении конструкционных материалов, упрочняющих и защитных покрытий, а также о плотности дефектов в кристаллических структурах конструкционных материалов.

#### Список литературы:

1. Платунов Е. С., Буравой С. В., Курепин В. В. Теплофизические измерения и приборы. – Л.:

- Машиностроение, 1986. – 256 с.
2. Троицкий О.Ю. Импульсный тепловой неразрушающий контроль слоистых материалов // Механика композитных материалов. – 1992. - №6. – С. 843 – 847.
  3. Троицкий О.Ю. Новый подход в импульсном методе при исследовании слоистых материалов // Механика композитных материалов. - 1999. - Т. 35, №3. – С. 393 – 400.
  4. O. Yu. Troitsky, H. Reiss. Remote nondestructive monitoring of coatings and materials by the flash technique//High Temperatures - High Pressures. 2000. V. 32. P. 391 - 395.
  5. O. Yu. Troitsky, H. Reiss. A numerical simulation to propose a flash method for in-situ detection of the thermal diffusivity of anisotropic thin film materials// Int.J.Thermophysics. 2009. V. 30. №4. P.1283-1299.

#### **Автоматизация процесса горения попутного нефтяного газа**

**Хамматова Р.И., Ваньков Ю.В.**

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение Высшего профессионального образования Казанский государственный энергетический университет,  
Россия, г. Казань  
[rezida91@yandex.ru](mailto:rezida91@yandex.ru)*

Попутный нефтяной газ является ценным сырьем для энергетики, благодаря своей высокой теплотворной способности, достигающей 62 МДж/м<sup>3</sup>. Использование нефтяного газа в качестве топлива для выработки электроэнергии и тепла на нефтегазовых месторождениях позволяет не только сократить энергопотребление, но и минимизировать выбросы загрязняющих веществ в атмосферу.

Сегодня подобные проекты реализует большинство крупных представителей нефтегазового комплекса, среди которых: Лукойл, ТНК-ВР, Татнефть, Новатек, Газпром и другие. [1]

При утилизации попутного газа в энергоустановках необходимо тщательное отслеживание качества топливного газа. В отличие от природного газа, нефтяной газ характеризуется повышенным содержанием этана, пропан-бутановых и пентановых фракций, присутствуют гексаны, гептаны и более тяжелые углеводороды. Содержание тяжелых углеводородов в попутных газах достигает 20...40 %, иногда 60...80 %. Неуглеводородные компоненты попутного нефтяного газа представлены азотом и углекислым газом с примесью сероводорода и инертных газов, иногда встречается водород.

В связи с этим, обоснованы следующие требования по подготовке попутного нефтяного газа к сжиганию в энергоустановках:

1. Попутный газ перед поступлением в систему подачи газа в энергоустановку должен быть максимально отсепарирован от примесей и обезвожен. Допустимое значение наличия влаги должно быть не более 9 мг/нм.

2. Очистка газа от сероводорода и двуокиси углерода с целью предотвращения их коррозирующего воздействия на оборудование. Содержание соединений серы должно быть не более 0,2 % (по массе).

3. Отбензинивание газа (полное или частичное) должно быть применено для удаления из газа пропан-бутановых и более тяжелых углеводородных компонентов с целью предотвращения образования жидкостных пробок.

4. Каждая фракция газа имеет свою температуру воспламенения, поэтому появляется неустойчивый режим горения газа (детонационный режим), который определяется минимально допустимым метановым числом, могут быть применены различные способы подготовки газа.

Таким образом, в сравнении со стандартной технологией подготовки газа к сжиганию, добавляется операция по удалению тяжелых фракций углеводорода во избежание налипания этих фракций на поверхностях установок с образованием пробок и поддержания оптимальных условий горения топлива. [2]

Сам процесс горения газа в энергоустановках характеризуется высокой температурой и большой скоростью протекания химических реакций. Для начала горения необходим энергетический импульс, чаще всего нагревание горючего. Для газообразного топлива существует такая температура нагрева, при которой газо-воздушная смесь загорается сама без какого-либо внешнего источника воспламенения. [3]

Топливный газ и воздух подаются в камеру сгорания в определенном соотношении. Как недостаток воздуха, так и его избыток снижают КПД энергоустановки. Низкий коэффициент избытка воздуха приводит к дымлению и загрязнению поверхностей нагрева. При высоком коэффициенте избытка воздуха повышаются потери тепла с химическим недожогом и уходящими газами.

В настоящее время в большинстве используемых установках оптимизация режима горения обеспечивается путем поддержания соотношения давления топлива и воздуха в соответствии с режимной картой. При составлении режимных карт допускают наличие значительного избытка воздуха, чтобы ни при каких условиях не допустить возникновения химического недожога. В результате в некоторых режимах количество воздуха превышает оптимальное значение в 1,5...2 раза, что увеличивает расход электроэнергии на его подачу и приводит к необходимости нагрева избыточно подаваемого воздуха, т.е. к дополнительному расходу топлива. [4]

Современные конструкции газовых горелок и свойства газового топлива создают благоприятные условия для автоматизации процессов сжигания газа. Автоматическое регулирование процесса горения повышает надежность и безопасность эксплуатации газоиспользующих агрегатов и обеспечивает их работу в соответствии с наиболее оптимальным режимом.

Рассмотрим применение автоматического регулирования процесса горения газа в котле. При этом обеспечиваются:

- подача топлива в топку в зависимости от нагрузки котла,
- поддержание оптимального соотношения расходов газ-воздух,
- поддержание устойчивого разрежения в топке.

Для обеспечения сбора значений параметров технологических процессов котельный агрегат и его технологическое оборудование должны быть оснащены датчиками, а для управления параметрами – исполнительными устройствами.

Для осуществления анализа значений контролируемых параметров, формирования управляющих воздействий необходимо вычислительное устройство – автоматический регулятор, обеспечивающий сравнение полученных значений параметров.

При работе котлоагрегата основным возмущением является изменение потребления пара. При сбросе нагрузки, например, давление в барабане растет. Давление пара поддерживается в пределах допустимых отклонений, что обуславливается требованиями заданного режима работы. Давление пара отклоняется от расчетного значения во всех случаях небаланса между количествами потребляемого пара и вырабатываемого и регулируется посредством изменения тепловыделения в топке, т.е. главным образом изменением подачи топлива. [3]

Таким образом, роль регулятора нагрузки выполняет регулятор давления пара в барабане котла, воздействующий на изменение подачи топлива.

Схема включает регулирующий прибор, в который поступает сигнал от датчика регулируемой величины. Датчик — первичный прибор, который воспринимает изменение регулируемого параметра и преобразует его в электрический сигнал. Функция регулирующего прибора — принять команду в виде электрического сигнала от задатчика, сравнить ее с электрическим сигналом датчика, усилить имеющуюся разность электрических сигналов и дать команду на включение исполнительного механизма. Исполнительный механизм воздействует на регулирующий орган. Обратная связь улучшает качество регулирования. [5]

Для конкретных условий сжигания топлива имеется определенное значение коэффициента избытка воздуха, соответствующее минимуму потерь теплоты. Соотношение подач топлива и воздуха в топку должно поддерживаться специальным регулятором с высокой точностью, обеспечивающей максимальный КПД котла и минимум потерь теплоты. [4]

Также для нормального протекания топочного режима в верхней части топки котла поддерживается разрежение. Создание устойчивого разрежения в топке должно осуществляться автоматически в пределах от -20 до -30 Па. В противном случае наблюдается выбивание пламени из топки при уменьшении разрежения или присосы холодного воздуха через кладку топки при увеличении разрежения.

При отклонении разрежения от нормы подается сигнал на контроллер, который воздействует на направляющие аппараты дымососов. Значение разрежения в верхней части топки с датчика разрежения поступает на контроллер, где оно сравнивается с заданным значением и где

формируется закон управления. Управляющий сигнал от контроллера поступает на исполнительное устройство, расположенное на трубопроводе дымовых газов. [3]

В целом, автоматизация процессов горения газов энергоустановках приводит к снижению вредных выбросов, сокращению расхода топлива и электроэнергии, а также повышению безопасности и надежности процесса выработки энергии.

#### Список литературы:

1. Парфенова О.Е., Сердюкова А.А. Энергоэффективные технологии утилизации ПНГ // Экологический вестник России. – 2010. – № 10. – С. 10–15.
2. Ильина М.Н. Требования к подготовке попутного нефтяного газа для малой энергетики // Известия Томского политехнического университета. – 2007. - № 2. – С. 167-171.
3. Волкова П.И., Дмитриева В.В. Разработка комплексной системы регулирования котельного агрегата // Научный вестник Московского государственного горного университета. – 2011. – № 10. – С. 54 – 60.
4. Автоматизация котельных: Обзорная статья // Автоматизация в промышленности. – 2008. – № 3. С. 55–56.
5. Соколов Б. А. Котельные установки и их эксплуатация. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. — 432 с.

### Состояние и перспективы угольных энергоблоков на суперсверхкритические параметры пара

*Цибульский С.А., Галашов Н.Н.*

*Национальный Исследовательский Томский Политехнический Университет, Россия, г. Томск.*

*E-mail: s.tzibulsky@yandex.ru, gal@tpu.ru*

Под суперсверхкритическими параметрами (ССКП) пара принято понимать параметры – давление выше 24,1 МПа и температура выше 565 оС.

Первый в мире котел на суперсверхкритических параметрах пара 60-ОП паропроизводительностью 12 т/ч был пущен в России на ТЭЦ ВТИ в ноябре 1949 г.

Первая энергоустановка ССКП мощностью 325 МВт на начальные давление и температуру острого пара 35,9 МПа 648 оС начала работать в США на Эддинстоун-1 в 1954 г [1].

Примером достижения научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ по увеличению эффективной работы традиционных энергоустановок, работающих на угле, являются технологии применения суперсверхкритических параметров. Данная технология уже подтвердила высокие показатели надежности и эффективности работы на современной японской мощной пылеугольной электростанции бухты Татибана мощностью 1050 МВт на начальные параметры пара перед турбиной 25 МПа, 600 оС, 610 оС [2].

Состояние российской энергетики на данное время требует внедрения комплексных инвестиционных проектов с целью наращивания энергетических мощностей [3].

Повышение эффективности энергоблоков ТЭС – актуальная задача, которая способна в совокупности решить сразу несколько проблем [4]:

увеличение КПД тепловых станций;

уменьшение загрязняющих выбросов в виде оксидов азота, сернистых соединений и углекислого газа;

активное вовлечение в энергетику твердого топлива запасов которого, в отличие от газообразного, хватит на сотни лет.

В настоящее время в европейских странах, Японии, США и Китае действуют более 40 энергоблоков на суперсверхкритические параметры пара, сжигающих угольное топливо. В период до 2015 года в этих странах планируется ввести в эксплуатацию более 50 тепловых энергоагрегатов на угольном топливе мощностью 500 – 1100 МВт [4].

Основным направлением отечественного развития перспективных угольных энергоблоков ССКП является внедрение и освоение унифицированных энергоблоков мощностью 660 МВт с начальными параметрами пара:  $t_0=600$  оС и  $p_0=30$  МПа. Паровой котел разработан ОАО «ЭМАльянс» и ОАО «ВТИ», паровая турбина спроектирована и построена ОАО «Силовые машины». Предполагается достичь экономических показателей блока ССКП: КПД котла до 94 %, КПД турбоустановки на уровне 48 % и КПД блока в итоге до 45 % [5].

Замещение существующих угольных энергоблоков, выработавших свой проектный ресурс, на энергоблоки ССКП технически возможно, экономически и экологически целесообразно, так как обеспечивает:

- максимальное увеличение термодинамического КПД до 15 % (абс);
- сокращение удельного расхода топлива на выработку электроэнергии на 10–20 % (отн);
- снижение концентрации CO<sub>2</sub> в дымовых газах на 90–120 г/кВт·ч;
- максимальное использование инфраструктуры действующей ТЭС с экономией на 30–40 % капитальных затрат и сокращением на 2–3 года срока сооружения по сравнению с сооружением энергоблока на сверхкритические параметры.

В [5] показано, что в России в качестве приоритетного развития энергетики в ближайшем будущем предлагается внедрять унифицированные блоки на суперсверхкритические параметры пара перед турбиной мощностью 330 и 660 МВт (30 МПа, 600 оС). Уже на начальном этапе реализации программы использования ССКП и унификации оборудования можно получить: удельное потребление топлива на выработку электроэнергии ниже на 20 %; снижение себестоимости отпускаемой электроэнергии на 15 %; сокращение выбросов парниковых газов в атмосферу на 20–30 % ниже существующего; соответствие современным требованиям выбросов вредных веществ в окружающую среду.

Центральной проблемой разработки энергоблоков ССКП явилось создание металлов с необходимыми характеристиками работы в экстремальных условиях: длительной прочности, трещиностойкости и малоциклового усталости [6].

Для этого в первую очередь было разработано и освоено производство нового класса жаропрочных материалов, в частности, для таких ответственных высокотемпературных и высоконагруженных элементов оборудования, как роторы паровых турбин, паропроводы, пароперегреватели и коллекторы котельного оборудования.

Конструкционные материалы для этих элементов должны соответствовать следующим требованиям:

- необходимая длительная прочность за ресурс 200 тыс. ч при рабочей температуре 600 оС и выше;
- высокая длительная пластичность;
- оптимальное значение критической температуры хрупкости;
- сохранение высокого уровня пластичности и вязкости материала в течение всего эксплуатационного периода;
- удовлетворительная сопротивляемость коррозионному воздействию высокотемпературной паровой среды, продуктов сгорания топлива (для поверхностей нагрева);
- высокая технологичность в условиях металлургического и машиностроительного передела (при выплавке, ковке, горячей деформации, сварке и термообработке).

При разработке новых материалов применен метод многокомпонентного легирования, который дал возможность получать высокие жаропрочные свойства при минимальном содержании дорогих и дефицитных легирующих элементов. По этому методу разработаны зарубежные и отечественные стали, применяемые для оборудования блоков ССКП: X10CrMoVNb (P-91), 10X9MФБ (Ди 82), X11CrMoWVNb (E-911), X10CrMoWVNbN (P-92) и др.

Разработанные и внедряемые сегодня в зарубежной и отечественной энергетике современные высокожаропрочные хромистые стали мартенситного (мартенситно-ферритного) класса, изготовленные с использованием специальных технологий выплавки, деформации и термической обработки, должны обеспечить следующий уровень требований, предъявляемых к материалу ротора [4]:

- длительная прочность не менее 70–100 МПа при температуре 600–620 оС и ресурсе 100 тыс. ч;
- длительная пластичность не менее 10 %;
- вязкость разрушения не менее 70 МПа·м<sup>2</sup>;
- критическая температура хрупкости не выше 20–40 оС.

С повышением параметров пара помимо технических проблем большое значение приобретает экономический аспект: стоимость элементов конструкций из жаропрочных никелевых сплавов возрастает с повышением жаропрочности экспоненциально и более чем в 10 раз превышает стоимость хромомолибденовых сталей, применяемых на современных котлах с ССКП [7].



Перспективой повышения потенциала рабочей среды в проточной части турбины на энергоблоках ССКП может быть использование второй ступени промперегрева, которая может уменьшить влажность на выхлопе от 15 % до 5 % и капельно-ударный износ рабочих лопаток последних ступеней ЦНД. Такая схема пароводяного цикла на суперсверхкритическое давление с двумя промперегревами реализована на энергоблоке мощностью 375 МВт Nordjylland в Дании. В схеме энергоблока используются также 10 ступеней регенеративного подогрева основного конденсата и питательной воды, которая позволяет нагреть питательную воду до температуры 300 оС. Такая компоновка схемы позволяет достичь КПД до 47 % [8].

Большую роль в повышении экономичности энергоблоков ССКП имеет совершенствование основного и вспомогательного оборудования, в первую очередь, турбин, котлов и насосов.

Так на немецкой ТЭС (г. Боксберг) мощностью 907 МВт были достигнуты рекордные внутренние относительные КПД турбины: ЦВД – 94,2% и ЦСД – 96,1%. Российским заводом ЛМЗ изготавливается турбины, разработанные ОАО «Силловые машины», мощностью 330 и 660 МВт с однопоточным ЦСД [6]. Относительные внутренние КПД ЦВД, ЦСД, ЦНД турбины мощностью 660 МВт находятся на уровне 93%, 94,5%, 88%. Положительный опыт в эксплуатации паровой турбины ЛМЗ К-330-240-2, работающей на ССКП имеет энергоблок №3 Каширской ГРЭС [9]. Предлагается к разработке вариант турбины К-900-30 с одним или двумя четырехступенчатыми ЦНД [10].

При разработке паровых котлов нового поколения большое внимание уделено эффективным способам сжигания угля, так предлагается широкое использование сжигание в циркулирующем кипящем слое (ЦКС), применение газификации угля.

На блоке мощностью 660 МВт по [5] предлагается использовать паровой котел башенной компоновки с системой селективного каталитического восстановления (СКВ), номинальной паропроизводительностью 1750 т/ч. Расчетный КПД котла находится в районе 94,5%. Номинальные параметры пара 29,4 МПа и 610/620 оС. На Каширской ГРЭС применяется двухкорпусный прямоточный паровой котел П-50Р – Пп-1050-25-545 с системой конверсии газов в жидкость (КГЖ), производительностью 1050 т/ч с начальными давлением и температурой пара 25 МПа и 545 оС, принятый в эксплуатацию еще в 1968 году, разработанный ОАО «ЗиО-Подольск» [10].

Для повышения давления до требуемого значения на мощных блоках ССКП разрабатываются насосы нового поколения [11]. Предлагаются инновационные идеи по созданию и совершенствованию конструкций современных питательных и бустерных насосов. В [12] представлена концепция и описание конструкции нового модернизированного питательного турбонасоса ПТН 1150-340-М для применения на блоке 330 МВт.

Перспективным является применение для привода питательных насосов (ПН) газотурбинных двигателей (ГТД) [13, 14], которые достигли эффективного КПД 35–40 %. При этом использование теплоты их уходящих газов в котле или для нагрева питательной воды позволяет увеличить коэффициент использования тепла до 85 %. Кроме того, большой коэффициент избытка воздуха в уходящих газах ГТД позволяет разгрузить на 25–30 % дутьевые вентиляторы. В результате применение ГТД для привода ПН вместо электродвигателей позволяет на 3–3,5 % сократить затраты электроэнергии на собственные нужды энергоблока ССКП, а – вместо парового турбопривода ПН на 2,5–3 % увеличить отпуск электроэнергии. При отсутствии природного газа на ТЭС для привода ГТД потребуется установка газификации угля.

Также перспективным направлением является применение бинарного цикла [15]. При этом верхний цикл работает на водяном паре, а нижний – на низкокипящем веществе (НКВ). Применение НКВ позволяет понизить температуру отвода тепла в конденсаторе и в результате повысить термический КПД цикла, а также существенно уменьшить габариты работающей на НКВ части турбины и конденсатора и отказаться от системы отсоса воздуха из конденсатора.

#### Список литературы:

1. Ильин Е.Т., Тишин С.Г. Опыт использования суперсверхкритических параметров пара. // Перспективные технологии и энергоустановки для производства тепловой и электрической энергии: URL: <http://nst.e-apbe.ru/book/6.1.4.pdf> (дата обращения 12.11.2013).
2. Мураяма Х., Секита М. Опыт эксплуатации электростанций, работающих при сверхкритических параметрах, и опыт применения других передовых технологий. // Энергохозяйство за рубежом. – 2003, – №10. – С. 58–68.
3. Русских Е.Е., Ноздренко Г.В. Определение эффективности строительства новых генерирующих

- мощностей на базе ЦКС – технологий. // Проблемы теплоэнергетики. – 2007, – № 9. – С. 10–19.
4. Дуб А.В., Скоробогатых В.Н. Материаловедческая и технологическая база для создания перспективного теплового энергооборудования. // Теплоэнергетика. – 2012, – №4. – С. 7–13.
  5. Тумановский А.Г., Алтухов М.Ю., Шварц А.Л. Разработка пылеугольного энергоблока на суперкритические параметры пара мощностью 660 МВт. // Электрические станции. – 2010. – №1. – С. 18–27.
  6. Трухний А.Д. Новый энергоблок на суперсверхкритические параметры пара. // Теплоэнергетика. – 1998 – №5. – С. 61–72.
  7. Рогалев Н.Д., Голодницкий А.Э., Тумановский А.Г. Состояние разработок в области создания угольных паротурбинных электростанций с параметрами пара, превышающими 30,5 МПа и 700 оС. // Электрические станции. – 2013. – №3. – С. 12 – 21.
  8. Ковецкий В.М., Ковецкая М.М. Повышение энергоэффективности угольных энергоблоков и уменьшение выбросов CO<sub>2</sub>. // Тепловая энергетика. – 2009. – №8. – С. 21–25.
  9. Торхунов С.Ф., Шварц А.Л., Авруцкий Г.Д. Освоение и эксплуатация блока №3 Каширской ГРЭС. // Электрические станции. – 2012. – №6. – С.13–21.
  10. Хоменок Л.А., Моисеева Л.Н., Бреус В.И., Пичугин И.И. Конструктивные решения по основному и вспомогательному оборудованию для перспективных угольных энергоблоков. // Теплоэнергетика. – 2012. – №6. – С. 3–6.
  11. Моргунов Г.М. Разработка насосов нового поколения питательной системы мощных энергоблоков. // Теплоэнергетика. – 2013. – №2. С. 42–53.
  12. Демьянов В.А. Пылев И.М., Ильин С.Я., Александров В.А. Разработка на ЛМЗ модернизированных питательных насосов для крупных блоков ТЭС. // Вестник Южно-Уральского государственного университета. – 2005. – №1 (41). – С. 47–57.
  13. Галашов Н.Н. Эффективность замены парового турбопривода механизмов собственных нужд энергоблоков ТЭС газотурбинным приводом. // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Том 321. – № 4. – С. 7–11.
  14. Галашов Н.Н. Эффективность использования газотурбинных двигателей для привода механизмов собственных нужд ТЭС. // Электрические станции. – 2013. – №2. – С. 32–35.
  15. Канаев А.А., Копп И.З. Неводяные пары в энергомашиностроении. – Л.: Машиностроение, 1973. – 216 с.

#### **Повышение эффективности систем вентиляции с теплоутилизационными установками**

*Степанова А.А., Таркаева А.Д., Цынаева А.А.*

*Самарский государственный архитектурно-строительный университет, Россия, г. Самара  
[tarkaeva93@mail.ru](mailto:tarkaeva93@mail.ru)*

На современном этапе развития экономики все чаще поднимается вопрос об энергоэффективности [1]. В системах вентиляции и кондиционирования этот вопрос так же актуален. Посредством вытяжной системы вентиляции удаляется воздух из здания. Как правило, температура удаляемого воздуха намного больше, чем температура воздуха из окружающей среды. Т.е. энергия затрачивается на нагрев приточного воздуха, поступающего в помещение, а затем выбрасывается в атмосферу вместе с удаляемым вытяжным воздухом.

Для возврата и полезного использования этой энергии существует несколько способов. Например, устройство системы вентиляции с рециркуляцией. Однако такие системы возможны только в зданиях, где нет значительного выделения вредных веществ. Это связано с достаточно большими затратами на очистку вытяжного воздуха перед смешением с наружным [2].

В качестве другого метода утилизации тепла в вентиляции может использоваться рекуперация [2,3].

В настоящее время к наиболее распространенным теплообменникам можно отнести: роторные, пластинчатые, рекуператоры с промежуточным теплоносителем, камерные рекуператоры, установки с тепловыми трубами [4].

Для систем вентиляции наиболее эффективными оказываются роторные теплообменники (рис. 1), которые включают в себя камеру, ротор, выполняемый, как правило, из алюминия [6].

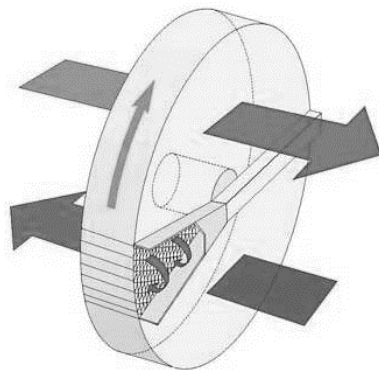


Рис. 1. Принцип работы роторного рекуператора

Роторный теплообменник с развитой поверхностью теплообмена, структура которой представлена на рис. 2, приводится в движение мотором-редуктором с возможностью реализации частотного регулирования. Сам роторный теплообменник представляет собой цилиндр, внутри которого располагаются слои гофрированной алюминиевой фольги, чередующиеся со слоем гладкой фольги [7]. Своеобразные каналы, по которым проходит воздух, могут быть различной геометрии, что зависит от высоты волны алюминиевой фольги (рис. 3). Роторный теплообменник является противоточным теплообменником. Между встречными потоками воздуха происходит теплообмен по регенеративному принципу. Вытяжной воздух, проходя через сектор роторного теплообменника, отдает тепло сектору насадки (слоям алюминиевой фольги). При вращении вала роторного теплообменника нагретый сектор насадки попадает во встречный поток наружного воздуха. При взаимодействии с которым, этот сектор насадки роторного теплообменника охлаждается, отдавая свое тепло воздуху, поступающему в помещение.

Чем мельче каналы (рис. 2), тем больше площадь поверхности теплообмена, а, значит, выше значение передаваемого теплового потока от удаляемого воздуха к приточному. Однако, при этом происходит значительный рост гидравлического сопротивления устройства.

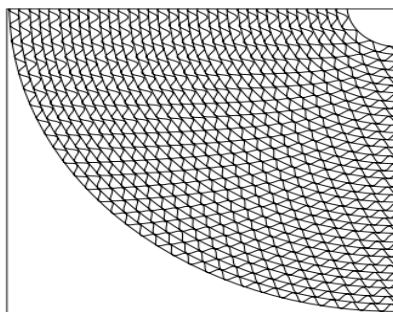


Рис. 2. Геометрическая структура насадки роторного теплообменника

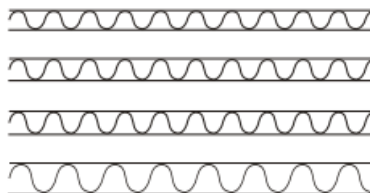


Рис. 3. Волны фольги

Высота волн (рис. 3) зависит от условий использования роторного теплообменника, определяется в зависимости от загрязненности удаляемого из помещений воздуха и уровня температур вытяжного и приточного воздуха.

В настоящее время предполагается проведение исследования, цель которых заключается в повышении эффективности систем вентиляции и установок для них.

Для повышения эффективности роторных теплообменников в системах вентиляции предлагается выполнять поверхность алюминиевой насадки с лунками овально удлиненного

профиля [5]. В результате исследований [5] обнаружено, что при определенных параметрах воздуха и геометрических размеров углублений сопротивление облученной поверхности может быть таким же, как сопротивление гладкой поверхности. Нашей исследовательской группой в дальнейшем предполагается проведение экспериментальных и численных исследований характеристик гидравлического сопротивления и теплообмена облученной поверхности для параметров, реализуемых в системах вентиляции общественных и промышленных зданий.

#### Список литературы:

1. Федеральный закон от 23.11.2009 N 261-ФЗ (ред. от 02.07.2013) «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_148960/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_148960/)
2. Каменев П.Н., Тертичник Е.И. Вентиляция. – М.: Изд. АСВ, 2008. – 624 с.
3. Назмеев Ю.Г., Лавыгин В.М. Теплообменные аппараты ТЭС: Учеб. пособие для ВУЗов. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 288 с.
4. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: Учебник для вузов. – 9-е изд., стереот. – М.: Изд. МЭИ, 2010. – 472 с.
5. Титов А. А. Экспериментальное исследование влияния поверхностных углублений на теплообмен и сопротивление в потоке сжимаемого газа // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. – М.: Изд. ОИВТ РАН, 2010. – 20 с.
6. <http://nrgsaver.ru/vse-o-teplovyh-nasosah/rekuperacija-tepla.html>
7. <http://www.c-o-k.ru>

#### Повышение коэффициента использования топлива котельными установками за счет снижения потерь с уходящими газами

*Тарабрина О.М., Цынаева А.А.*

*Самарский государственный архитектурно-строительный университет, Россия, г. Самара*  
[olechka.1692.92@mail.ru](mailto:olechka.1692.92@mail.ru)

В настоящее время температура уходящих дымовых газов за котельным агрегатом обуславливается следующими факторами: необходимостью увеличения естественной тяги для предотвращения конденсации водяных паров, негативно отражающейся величине напора дымососа и резерве работы оборудования. Эту температура принимают порядка 120...130 °С при сжигании природного газа [1]. При этом теплота уходящих газов и скрытая теплота парообразования (конденсации) водяных паров может быть полезно использована за счет метода глубокой утилизации теплоты уходящих дымовых газов. Такой метод позволяет увеличить КПД котельной установки на 2... 7% [1,3].

Данная тема является актуальной, так как большое количество тепла выбрасывается в атмосферу с уходящими с дымовыми газами. Для снижения теплового загрязнения окружающей среды предлагаются различные решения, позволяющие полезно использовать эту теплоту. В работе предлагается рассмотреть ряд подобных разработок, проанализировать их работу, сравнить возможности, выявить преимущества и недостатки.

Метод глубокого охлаждения дымовых газов с использованием контактных теплоутилизаторов-экономайзеров получил значительное распространение [1,2].

Принцип действия таких экономайзеров (рис. 1) заключается в следующем: холодная вода, подаваемая в экономайзер, охлаждает уходящие от котлов дымовые газы, проходя через слой пассивной насадки [1], стекая по ней в виде тонкой пленки. На поверхности пленки происходит теплообмен между холодной водой и горячими дымовыми газами. В нижней части экономайзера скапливается нагретая вода, и направляется на производственные нужды, а охлажденные дымовые газы отводятся из верхней части экономайзера.

Рассматриваемый теплоутилизатор-экономайзер обладает достаточно высокой тепловой эффективностью, однако имеет и свои особенности. Одна из основных особенностей, заключается в том, что качество нагретой воды не соответствует требованиям ГОСТ 51232 – 98 к питьевой воде. Так, как вода в процессе контактного подогрева в теплоутилизаторе насыщается различными соединениями (в том числе, токсичными), входящими в состав дымовых газов. В этой связи, такую воду можно использовать исключительно на производственные нужды (на собственные нужды котельной, на нужды промышленных предприятий).

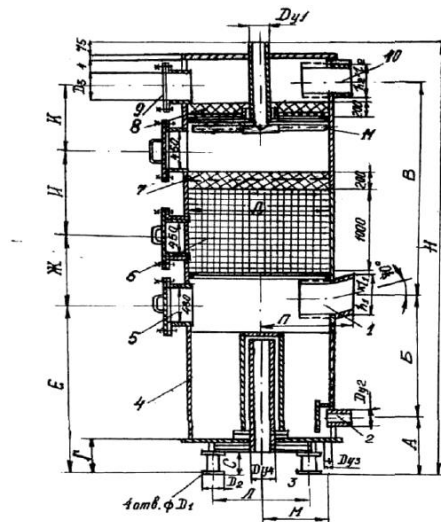


Рис. 1. Схема блочного контактного экономайзера: 1 – входной патрубок горячих газов; 2 – штуцер для отвода горячей воды; 3 – переливной патрубок; 4 – корпус; 5 – люк; 6 – слой кольцевых насадок; 7 – слой кольцевых насадок, загруженных навалом; 8 – капле улавливающий насадочный слой; 9 – люк; 10 – патрубок для отвода охлажденных газов; 11 – водораспределитель

В настоящее время получают распространение когенерационные системы (рис.2) на основе паровой котельной установки [4] с использованием теплоты уходящих газов.

Рассматриваемая система (рис.2) предназначена для одновременной выработки электроэнергии и тепла. Принцип действия системы заключается в том, что вырабатываемый пар из котла, под высоким давлением проходит через паровую турбину, где за счет вращения лопаток турбины производится механическая энергия, преобразуемая в электрическую электрогенератором.

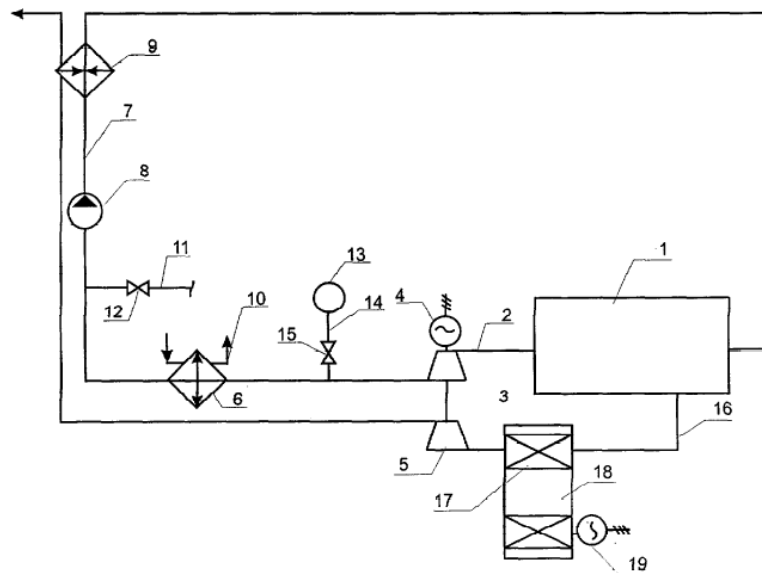


Рис. 2. Схема когенерационной системы: 1 – паровой котел; 2 – линия пара; 3 – турбина; 4 – электрогенератор; 5 – компрессор уходящих дымовых газов; 6 – конденсатор пара; 7 – линия конденсата; 8 – циркуляционный насос; 9 – теплообменник – подогреватель; 10 – система внешнего теплоснабжения; 11 – регулирующий вентиль; 12 – регулировочный вентиль; 13 – потребитель пара; 14 – линия; 15 – регулирующий вентиль; 16 – дымоход; 17 – нагреватель; 18 – Двигатель Стирлинга; 19 – электрогенератор

Отличительная особенность установки заключается в следующем: энергия дымовых газов на выходе из котла используется для работы двигателя Стерлинга, а энергия пара, срабатываемая в турбине, расходуется на работу привода компрессора для сжатия удаляемых дымовых газов после двигателя Стерлинга. Таким образом, параметры уходящих дымовых газов увеличиваются (давление и температура). После компрессора дымовые газы направляются в теплообменник-подогреватель, в котором за счет теплообмена с уходящими дымовыми газами происходит нагрев подпиточной воды и конденсата.

Такая система имеет ряд преимуществ: автономность; достаточно высокая эффективность использования топлива; снижение затрат на передачу электрической энергии; размещение непосредственно у потребителя.

Основные недостатки системы (рис. 2) заключаются в ограничении мощности, наличии установок с вращающимися элементами с высокой величиной износа, необходимость привлечения высококвалифицированного персонала для обслуживания установки (рис. 2). Путем решения проблемы ограниченной мощности может служить установка нескольких когенерационных установок, в том числе резервных установок, которые будут обеспечивать бесперебойную и надежную работу системы. Остальные недостатки могут быть скомпенсированы преимуществами таких когенерационных систем.

На (рис.3) представлена котельная установка [3], используемая для теплоснабжения предприятий, за счет установленной системы газолучистого отопления с излучающими панелями. В данной установке осуществляется утилизация теплоты уходящих дымовых газов.

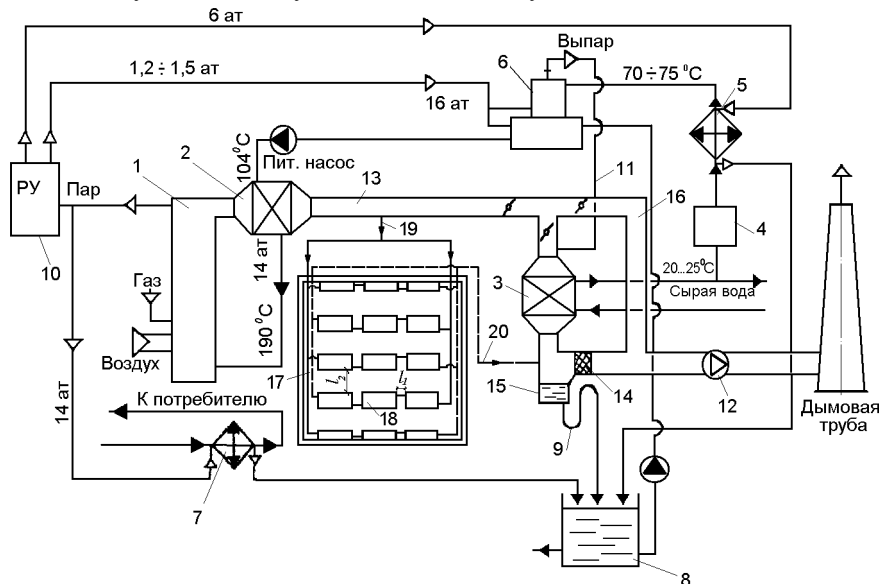


Рис. 3. Котельная установка: 1 – паровой котел; 2 – водяной экономайзер; 3 – теплоутилизатор; 4 – теплообменник химически очищенной воды; 5 – теплообменник; 6 – термический деаэратор; 7 – теплообменник; 8 – сборный конденсатный бак; 9 – гидравлический затвор; 10 – редуцирующая установка; 11 – трубопровод выпара; 12 – дымосос; 13 – основной газоход; 14 – сепарационное устройство; 15 – сборник конденсата; 16 – байпасный газоход; 17 – система газолучистого отопления; 18 – излучающие панели; 19 – отвод; 20 – обратный газоход

Вода изначально поступает в теплоутилизатор, где она подогревается, затем направляется в систему химводоочистки (ХВО). После чего, вода поступает в теплообменник, где происходит ее нагрев. Нагретая вода поступает в термический деаэратор, затем в экономайзер для дальнейшего подогрева, а далее направляется в котел. Выработываемый в котле пар поступает в теплообменник, где конденсируется. Полученный конденсат отводится в конденсатный бак, а пар направляется на нужды потребителей. Часть пара из котла подается в редукционную установку, где происходит снижение давления пара. Этот пар подается в теплообменник в качестве греющего теплоносителя, а так же в термический деаэратор для деаэрации воды из подпиточного бака.

Для создания тяги в дымовой трубе при выбросе дымовых газов в атмосферу используется дымосос. Дымовые газы из парового котла направляются в водяной экономайзер, где охлаждаются. Этот поток дымовых газов далее направляется по основному газоходу, разделяясь на три части. Первая часть дымовых газов поступает в теплоутилизатор, вторая часть движется по байпасному газоходу, не охлаждаясь, а третья часть подается в систему газолучистого отопления с излучающими панелями. В теплоутилизаторе происходит передача тепла исходной воде, при этом часть дымовых газов охлаждается вместе с выпаром из термического деаэратора, и направляется в сепарационное устройство. Поток дымовых газов, поступивший в систему газолучистого отопления, охлаждается за счет передачи тепла излучением помещению промышленного цеха. Благодаря такой системе отопления достигаются комфортные условия в помещении промышленного цеха. По обратному газоходу из системы газолучистого отопления в сепарационное устройство подается поток охлажденных дымовых газов. Охлажденные дымовые газы после смешиваются с неохлажденными дымовыми газами, проходящими по байпасному газоходу, что позволяет предотвратить выпадение конденсата на поверхностях газохода и дымовой трубы. Дымовые газы дымососом отводятся через дымовую трубу в атмосферу. Таким образом, обеспечивается эффективное охлаждение дымовых газов за счет утилизации тепла в теплоутилизаторе и в системе лучистого отопления, и снижаются затраты на отопление промышленного предприятия.

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод о том, что очевидная необходимость повышения эффективности энергетических установок [6] делает востребованным использование установок, способствующих глубокому охлаждению дымовых газов. Так как, на сегодняшний день подавляющее большинство паровых и водогрейных котельных агрегатов, сжигающих природный газ, не оснащены установками, использующими скрытую теплоту парообразования водяных паров, это тепло теряется вместе с уходящими газами.

Рассмотренные выше установки могут значительно увеличить КПД. Помимо повышения КПД, установки могут выполнять другие полезные функции, например, такие как: выработка электроэнергии, отопление помещений промышленных объектов и т.д.

Кроме того, при использовании таких установок происходит уменьшение выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. Это будет способствовать повышению экологической безопасности энергетической отрасли.

#### Список литературы:

1. Кудинов А.А. Энергосбережение в теплогенерирующих установках. – Ульяновск: УлГТУ, 2000. – 139 с.
2. Аронов И.З. Контактный нагрев воды продуктами сгорания природного газа – 2 – е изд., перераб. и доп. – Л. : Недра, 1990. – 280 с.
3. Голдарев С.В., Дюкарев И.Е. Об эффективности применения теплоутилизаторов в теплотехнике // Электронное издание <http://www.lib.tpu.ru/fulltext/c/2012/C03/036.pdf>.
4. Котельная установка: пат. 2334913 Рос. Федерация. № 2007106471/06; заявл. 20.02.2007; опубл. 20.02.2007, Бюл. № 27. – 6 с.
5. Когенерационная система на основе паровой котельной установки с использованием теплоты уходящих газов: пат. № 2278279 Рос. Федерация. № 2004112207/06; заявл. 21.04.2004; опубл. 21.04.2004, Бюл №17. – 5 с.
6. Федеральный закон от 23.11.2009 N 261-ФЗ (ред. от 02.07.2013) «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_148960/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_148960/).

#### Повышение эффективности работы питательных насосов производственно-отопительных котельных

*Салов А.Г., Гаврилова А.А., Штыкова Н.В., Петрова К.Н.*

*Самарский государственный архитектурно-строительный университет, Россия, г. Самара  
natylichka.smile@bk.ru*

Повышение энергоэффективности в настоящее время определено важнейшим среди основных приоритетов модернизации и технологического развития экономики страны. Это направление является системообразующим, оно взаимосвязано со всеми остальными сферами

деятельности и в определяющей степени влияет на результативность работы в других важнейших направлениях экономического развития.

Энергоэффективность экономики России является весьма низкой, и после 1990 года она продолжает падать. Удельные энергетические затраты российской экономики возросли с 1990 до 2008 года в 1,45 раза. В настоящее время энергоёмкость российского валового внутреннего продукта выше, чем в передовых экономически развитых странах, в 2,5-3,5 раза.

Такие высокие энергетические затраты значительно уменьшают конкурентоспособность российской экономики, что дополнительно ухудшает экономическую обстановку в стране в период мирового системного кризиса. Повышаются тарифы на тепловую и электрическую энергию, снижается жизненный уровень населения, исчезают стимулы к развитию реального производства, к вложению инвестиций в инновационные проекты, как в сфере энергосбережения, так и в других отраслях.

Потенциал энергосбережения в России огромен. Затраты на реализацию энергосберегающих мероприятий в три раза меньше, чем альтернативные капитальные вложения, требуемые для наращивания производства такого же количества энергии.

В сфере производства тепловой энергии снижение эффективности связано, главным образом, с кризисным поведением промышленного производства, вызвавшим значительное сокращение объёмов и изменение структуры выработки как тепловой, так и электрической энергии. При этом нарушились нормативные производственные технологии, и энергетическое оборудование стало вынужденно работать в нерасчетных режимах.

В результате структурных перестроек промышленного производства отдельных отраслей промышленности одна из производственно-отопительных котельных после 2000 года превратилась в отопительную котельную. Общая нагрузка котельной упала почти до 50%, а в течение летнего сезона, когда отопительная нагрузка отсутствует, она вырабатывает не более 15% от максимальной нагрузки.

В этих условиях долее чем в два раза выросли относительные затраты электрической энергии на привод вспомогательного оборудования котельной. В общей структуре затрат электрической энергии на собственные нужды котельной 30-40% составляет привод питательных насосов [1].

В данной работе приводится оценка эффективности применения регулируемого привода питательных насосов котельной.

На рисунке 1 приведены графики изменения потребляемой электрической энергии электродвигателем питательного при регулировании его производительности напорной задвижкой (кривая 1) и частотно-регулируемым приводом (кривая 2).

Из приведённых зависимостей видно, что при нагрузках в диапазоне от 30% до 80% частотное регулирование даёт существенное снижение потребляемой электрической энергии.

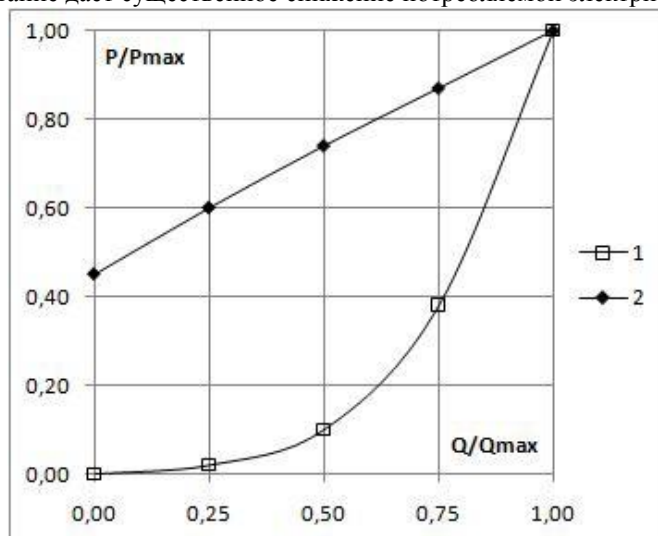


Рисунок 1. Зависимость энергозатрат при регулировании расхода питательного насоса. 1 – регулирование производительности задвижкой на напоре, 2 – регулирование производительности насоса частотно-регулируемым приводом.



В работе приводится оценка эффективности применения частотно-регулируемого привода питательным насосом котельной. Три питательных насоса работают параллельно, поэтому на одном из них предлагается установить частотно-регулируемый привод, и этот насос будет работать в режиме регулирования на пониженных нагрузках.

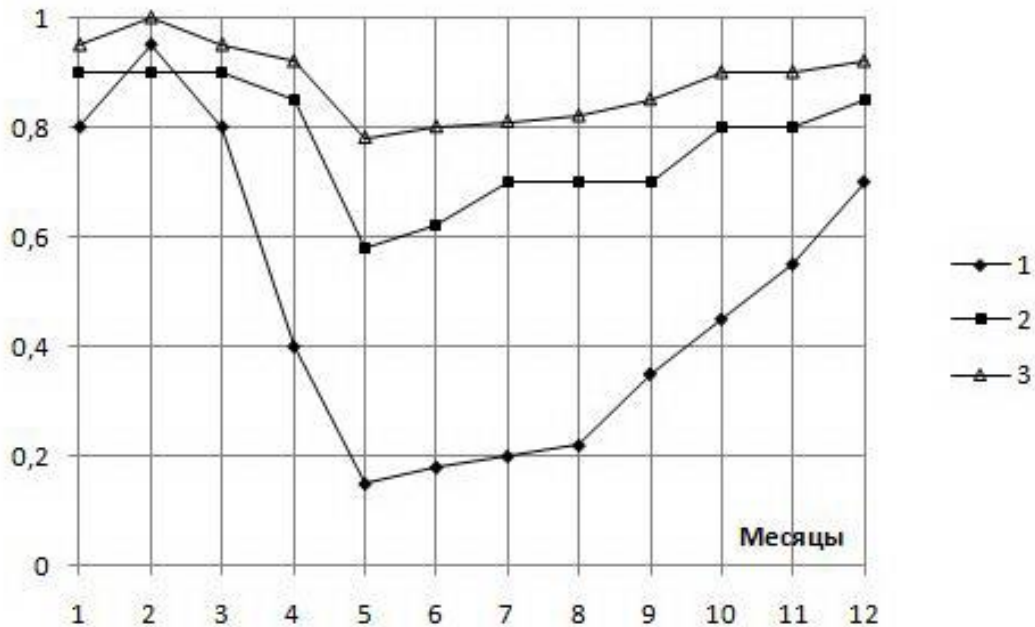


Рисунок 2. Графики изменения среднемесячной производительности питательного насоса, среднемесячных относительных величин потребляемой энергии при различных способах регулирования. 1- график потребления энергии при регулировании задвижкой на напоре, 2 – график изменения среднемесячной производительности питательного насоса, 3 - график потребления энергии при регулировании производительности частотным приводом.

Из анализа режимов работы питательного насоса за предыдущий календарный год оценивается среднемесячная его нагрузка. Динамика изменения нагрузки питательного насоса в относительных величинах приведена на рисунке 2 (кривая 2).

Из приведенной зависимости видно, что питательный насос в течение всего года работает с пониженной нагрузкой. В летний период нагрузка питательного насоса снижается до 60-65%. При такой производительности имеет место значительный перерасход электрической энергии, как следует из сопоставления кривых 1 и 2 на рисунке 1.

По рассчитанным нагрузкам определяем электрическая мощность двигателя насоса для каждого месяца при регулировании его производительности задвижкой на напоре по следующей формуле [2]:

$$P_э = \frac{Q_H \cdot H_H}{3600 \cdot 102 \eta}, \text{ кВт,}$$

где  $Q_H$  - средняя производительность питательного насоса, [м<sup>3</sup>/час];  $H_H$  -напор насоса, [метры водяного столба],  $\eta$  - коэффициент полезного действия насоса.

Результаты расчёта приведены на рисунке 2 (кривая 1). Из анализа зависимостей 1 и 2 следует, что при снижении нагрузки насоса расход электрической энергии снижается незначительно. В мае месяце насос работал с нагрузкой 65% от номинальной, при этом он потребляет 80% электрической энергии.

Оценим потребляемую электрическую энергию насос в случае установки частотно-регулируемого привода при работе на этих же нагрузках по соотношению:

$$P_{\text{чрп}} = P_{\text{max}} \left( \frac{Q_H}{Q_{\text{max}}} \right)^3, \text{ кВт},$$

где  $P_{\text{max}}$  - мощность электродвигателя при номинальной производительности, [кВт];  
 $Q_{\text{max}}$  - номинальная производительность питательного насоса, [м<sup>3</sup>/час];  $Q_H$  - среднемесячная производительность питательного насоса, [м<sup>3</sup>/час].

Результаты расчетов приведены на рисунке 2 (кривые 1 и 2). Анализ этих зависимостей показывает, что при применении частотно-регулируемого привода значительно сокращается расход электрической энергии на собственные нужды вспомогательного оборудования котельной.

#### Список литературы:

1. Гаврилова А.А., Салов А.Г. Направления повышения энергоэффективности теплоэлектроцентралей – Труды пятой международной школы-семинара молодых ученых и специалистов «Энергосбережение Теория и практика. – М.: Издательский дом МЭИ, 2010. – 163-169 с.
2. Тепловой расчет котельных агрегатов (Нормативный метод) – Издательство НПО ЦКТИ, СПб, 1998. – 257 с.

#### Импульсная очистка теплообменного оборудования

*Шумаева Е.А.*

*Казанский Государственный Энергетический Университет, Россия, г. Казань  
 evgenija.shumaeva@rambler.ru*

Система шариковой очистки (сокращенно СШО) - современное техническое решение. Система шариковой очистки предназначена для поддержания в исходно-чистом состоянии как внутренней поверхности трубок теплообменника, так и межтрубного пространства.

Основной причиной ухудшения эксплуатационных свойств теплообменника по сравнению с нормативными значениями (до 90 %) является загрязнение трубок и межтрубного пространства с водяной стороны. Образующиеся отложения ухудшают теплопередачу и являются одной из причин их коррозионного разрушения. Система шариковой очистки – уникальная энергосберегающая технология, дающая быстрый и ощутимый экономический эффект [1].

Предлагается усовершенствование существующей технологии СШО путем создания гидравлических пульсаций. Это усовершенствование позволяет:

- повысить качество очистки
- снизить потребление электроэнергии
- уменьшить время обработки

Устройство шариковой очистки межтрубного пространства теплообменного аппарата представляет собой технологическую систему, присоединяемую к основному тракту охлаждающей воды непосредственно перед и после теплообменника (рис. 1). Пористые резиновые шарики, диаметр которых на 1÷2 мм больше внутреннего диаметра труб теплообменника, вводятся в контур циркуляционной системы в напорный водовод перед теплообменником.

После прохождения через межтрубное пространство теплообменника шарики улавливаются специальной сеткой, установленной в сливном водоводе вблизи выходной водяной камеры теплообменника (или непосредственно в камере). Из выходного патрубка шарикоулавливающей сетки внешним трубопроводом шарики с потоком воды подводятся к водоструйному эжектору (или насосу), который подает шарики снова в напорный патрубок, замыкая контур циркуляции.

Было решено модернизировать данную систему шариковой очистки и установить теплообменный аппарат в рабочей зоне пульсационного аппарата U-образной формы, который состоит из двух колен, с соответствующими площадями поперечного сечения S1 и S2. Условно весь аппарат можно разделить на четыре зоны: пульсационную камеру, загрузочно-транспортную зону, рабочую зону и разделительно-разгрузочную зону.

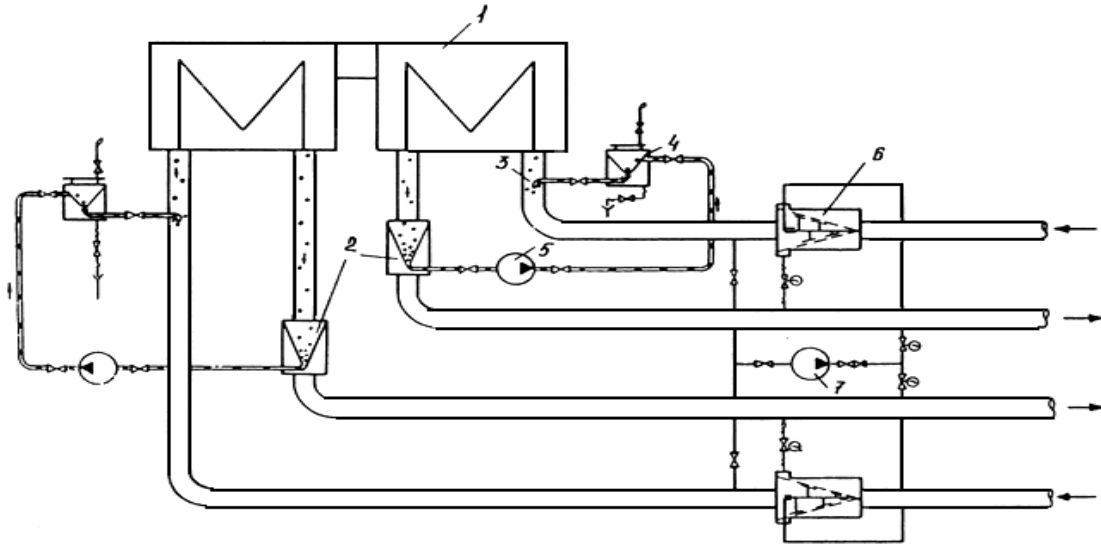


Рис. 1. Принципиальная схема установки шариковой очистки теплообменного аппарата:  
1 - теплообменник; 2 - шарикоулавливающее устройство; 3 - узел ввода шариков в циркуляцию; 4 - загрузочная камера; 5 - насос сортировки шариков; 6 - осевой фильтр предочистки; 7 - насос промывки фильтров

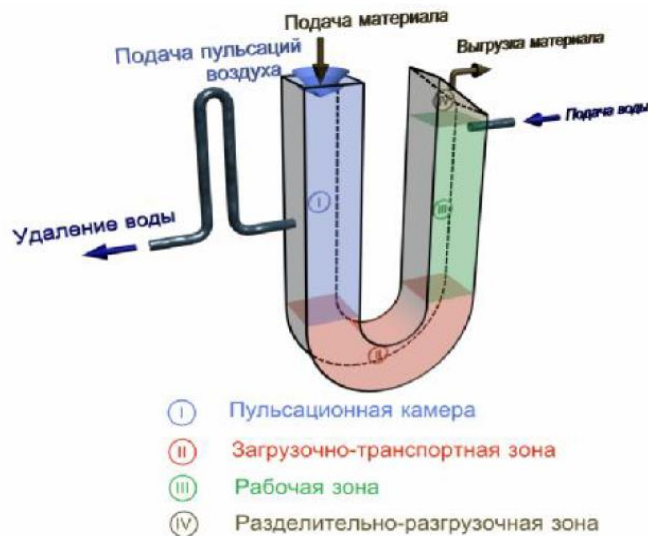


Рис. 2.10. Схема разрабатываемого пульсационного аппарата.

После того, как шарики достигают загрузочно-транспортной зоны 2, в аппарат через колено 1 осуществляется подача пульсаций воздуха. За счет пульсаций, создаваемых компрессором, аппарат работает в непрерывно-периодическом режиме, т.е. пульсационно. Пульсационная пневматическая система, управляемая автоматическим устройством (УВМ) подает воздух через клапан, соединенный с аппаратом в колено 1 в пульсационную камеру. Давление воздуха приводит в движение жидкую фазу, которая, в свою очередь, увлекает за собой шарики. Происходит очистка межтрубного пространства шариками. УВМ регистрирует время длительности периода транспорта, и подает команду о закрытии клапана. После закрытия клапана, давление в колене 1 постепенно срабатывается, и жидкая фаза возвращается в исходное состояние [2]. За отслеживанием состояния воды, к системе прикреплен датчик мутности воды Turbimax CUS65 [3].

Для определения особенностей и режимов движения воды с шариками во время стадии очистки межтрубного пространства теплообменника, гидродинамическую систему можно представить в виде колебательного звена, где возвратно-поступательное движение общей массы

$m = 2\rho SH$  определяется тремя силами: силой трения  $F_{TP} = \xi \frac{2H}{d} \frac{\rho w^2}{2} S$ ; возвращающей силой (за счет веса жидкости без учета давления в воздушной подушке ресивера)  $F_{ВОЗВР} = 2\rho g x S$ ; и внешней силой  $F_{ВНЕШН} = \Delta P \cdot S$ , где  $\Delta P$  - внешнее давление.

Если изменение скорости невелико, то можно принять для  $w^2 = wx'$ , где  $w = x'$  - мгновенная скорость жидкости. В этом случае уравнение движения будет иметь вид вынужденных колебаний:

$$x'' + 2 \cdot \delta(w) \cdot x' + \omega_0^2 \cdot x = \frac{\Delta P \cdot S}{m},$$

$$\delta(w) = \frac{\xi \cdot w}{4 \cdot d}, \quad \omega_0^2 = \frac{g}{H}.$$

где  $\delta(w)$  - параметр трения,  $\omega_0$  - собственная частота колебаний,  $\xi$  - коэффициент трения,  $d$  - диаметр труб,  $H$  - высота столба воды,  $\rho$  - эффективная плотность промывочной жидкости. Все параметры и уравнения записаны из условия, что проходные сечения труб и эффективного сечения межтрубного пространства совпадают.

В решении данного уравнения, параметр  $\delta$  изменяется в зависимости от скорости и гидродинамического режима.

В случае, когда трение не велико  $\omega_0^2 - \delta^2 > 0$ , решение представляет собой затухающие колебания. Степень затухания зависит от  $\delta$ .

При расчете выберем насос для откачивания пористых резиновых шариков при помощи рабочей точки для чистой воды:

$N_{чв} = 24 \text{ м}$  ( $N_{ш} = 23,8$ ) и  $Q = 50 \text{ л/сек}$  [4].

Подобранный насос: HS 5150.300 с двигателем мощностью 35 kW [5]. Погружной насос для перекачки смеси воды с буровой, каменной крошкой или песком. В нашем случае шарики.

Внедрение Системы шариковой очистки полностью заменяет необходимость в других способах очистки, т.е. кроме экономии за счет снижения удельного расхода топлива происходит снижение ремонтно-эксплуатационных затрат [6].

При этом

- Процессы очистки производятся непосредственно во время работы оборудования,
- Нет необходимости полной или частичной остановки энергоблока,
- Снижает затраты ручного труда.
- Снижаются выбросы SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub> вследствие экономии сжигаемого топлива.
- Отсутствует повышенный расход охлаждающей воды,
- Снижается тепловое загрязнение окружающей среды,
- Значительно уменьшается объем хлорирования и другой спецобработки воды.

#### Список литературы:

1. Методические указания по наладке и эксплуатации систем шариковой очистки конденсаторов паровых турбин, РД 34.30.403-93.
2. С.М.Карпачева, Б.Е.Рябчиков. Пульсационная аппаратура в химической технологии (Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии). - М.: «Химия», 1983. - 224с.
3. <http://www.ru.endress.com/eh/sc/europe/ru/ru/home.nsf/#product/CUS65>
4. [http://www.pumpfundamentals.com/slurry/flygt\\_slurry\\_handbook.pdf](http://www.pumpfundamentals.com/slurry/flygt_slurry_handbook.pdf)
5. <http://www.aquanvk.ru/catalog/seriya-h-5100-5150-flygt/>
6. <http://www.findpatent.ru/patent/205/2058008.html>

**Повышение эффективности работы газоперекачивающих агрегатов в жаркое время года  
путем применения впрыска влаги в камеру сгорания**

*Калмыкова Т.П., Антропов П.Г., Соколов А.А.*

*Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Россия, г.*

*Саратов*

[energy77@bk.ru](mailto:energy77@bk.ru)

В летний период в связи с ростом температуры наружного воздуха достаточно существенно снижается мощность газовых турбин. В некоторых случаях задача поддержания мощности в этот период является принципиально важной. Так, например, это касается работы газоперекачивающих агрегатов (ГПА) в период закачки в подземные хранилища, который как раз приходится на период самого жаркого времени года – с мая по сентябрь. Существует много способов поддержания мощности и параметров ГПА в жаркое время года, среди них, такие как пережиг топлива, использование входных направляющих аппаратов, использование впрыска влаги в камеру сгорания (КС).

Использование впрыска влаги в КС ГПА позволяет поднять мощность за счет увеличения теплоемкости рабочего тела газовой турбины (ГТ). Изменение процентного содержания влаги в рабочем теле (дымовых газах) позволяет решить не только задачу повышения мощности ГТ, но и улучшения её экологических показателей [1]. Алгоритм расчета составлен таким образом, что эффективная мощность установки поддерживается на постоянном уровне (8 МВт), вследствие чего, в жаркое время при высоких температурах наружного воздуха, чтобы не допустить снижения мощности, увеличивается подача топлива в КС. Температура газов на входе в газовую турбину (ГТ) задана и постоянна при различных температурах наружного воздуха (1240 К).

Расчет термодинамического цикла ГТУ выполнен по общеизвестному алгоритму [2], позволяющему учитывать влияние температуры наружного воздуха и физических свойств рабочего тела на характеристики ГТУ.

Результаты расчета тепловой схемы при различных температурах наружного воздуха представлены на рисунках 1,2,3,4.

Анализируя результаты, полученные в ходе расчета тепловой схемы ГТУ при различных температурах наружного воздуха, видно, что с увеличением температуры наружного воздуха возрастают теплоперепад в компрессоре  $N_k$ , кДж/кг; мощность турбины  $N_t$ , МВт; мощность компрессора  $N_k$ , МВт; расход топлива  $B$ , кг/с, при этом эффективный КПД ГТУ  $\eta_e$ , % падает.

Впрыск влаги в КС способствует увеличению эффективного КПД и снижению расхода топлива. Это достигается за счет увеличения теплоемкости продуктов сгорания независимо от температуры наружного воздуха.

Увеличение теплоемкости газов приводит к увеличению работы расширения в турбине  $N_t$ , вследствие чего увеличивается эффективная энергия  $Ne$  и, как результат, расход газа через турбину  $G_t$  и расход топлива  $B$  уменьшаются.

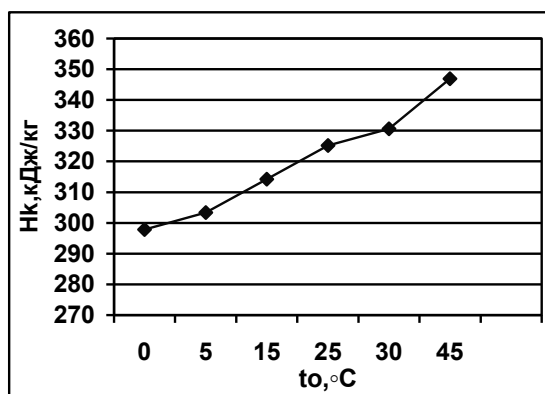


Рис. 1. График зависимости теплоперепада в компрессоре  $N_k$ , кДж/кг от температуры наружного воздуха  $t_o$ ,  $^\circ\text{C}$ .

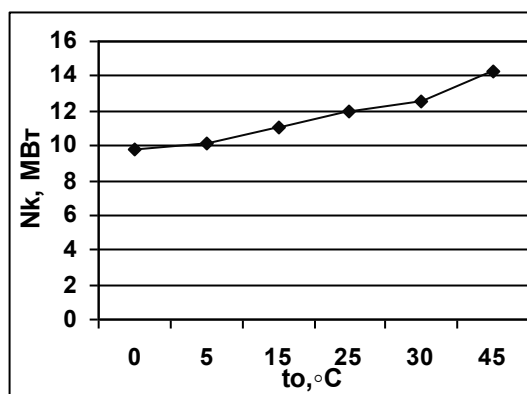


Рис. 2. График зависимости мощности компрессора  $N_k$ , МВт от температуры наружного воздуха  $t_o$ ,  $^\circ\text{C}$ .

Содержание в уходящих газах оксидов азота (NOx), являющихся вредными для экологической ситуации вокруг КС веществами, в два – три раза уменьшается при увеличении доли впрыска. Это обусловлено падением температуры стенки камеры сгорания, в результате которой резко ухудшились условия для реакции получения оксидов азота, т. к. оксиды азота получаются при высоких температурах (порядка 2000 градусов Кельвина).

Для предотвращения заносов проточной части ГТУ солями, содержащимися во влаге, необходимо обеспечить высокое качество питательной воды.

Результаты сравнения эффективного КПД и расхода топлива без впрыска и с впрыском влаги представлены на рисунках 5,6.

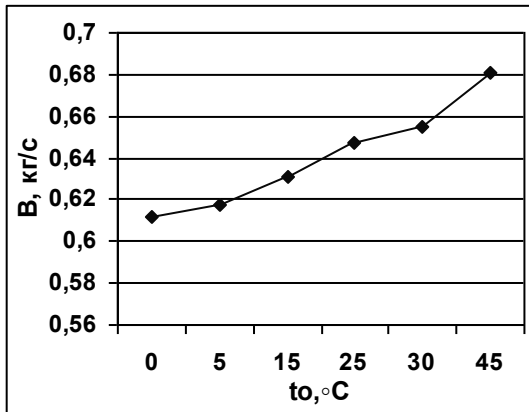


Рис. 3. График зависимости расхода топлива В, кг/с от температуры наружного воздуха to, °C.

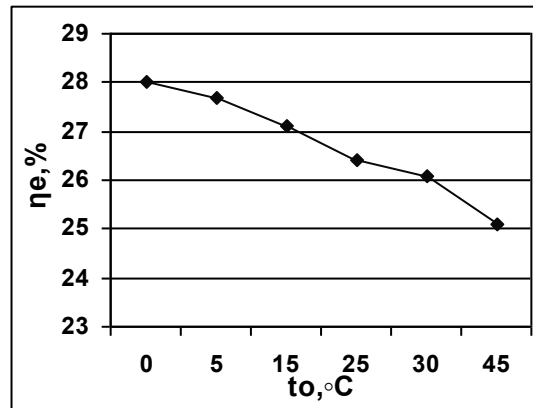


Рис. 4. График зависимости эффективного КПД, % от температуры наружного воздуха to, °C.

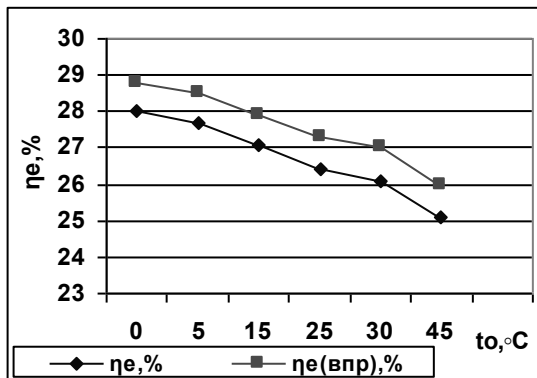


Рис. 5. График сравнения величин эффективного КПД, % и эффективного КПД, % с учетом впрыска влаги от температуры наружного воздуха to, °C.

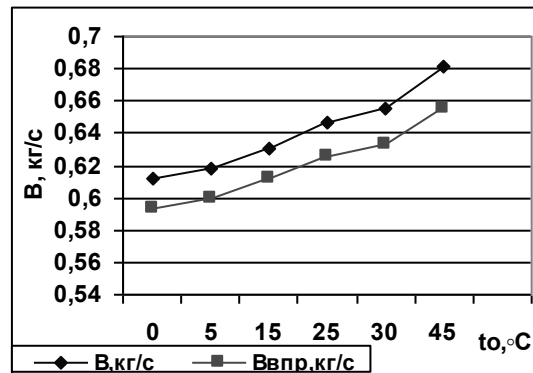


Рис. 6. График сравнения величин расхода топлива без впрыска влаги В, кг/с и с впрыском Ввпр, кг/с от температуры наружного воздуха to, °C.

Впрыск влаги наиболее целесообразно применять в жаркое время года, когда наибольший расход топлива и наименьший КПД, экономия топлива в диапазоне температур +15...+45 °C составляет 0,022 кг/с. В период с мая по сентябрь, компрессорная станция работает 3672 ч, тогда экономия топлива:

$$R_{\text{эпр}} = 3672 \cdot 0,022 \cdot \rho_n \quad \text{м}^3; \quad (22)$$

где  $\rho_n$  - плотность компримируемого газа при 20 °C и 0,1013 МПа, кг/м<sup>3</sup>;

Экономия топлива по одному агрегату в рублях:

$$R = R_{\text{эпр}} \cdot C_{\text{ТГ}}, \quad \text{руб/год}, \quad (23)$$

где  $C_{\text{ТГ}}$  - стоимость топливного газа, руб/м<sup>3</sup>;

Затраты на приготовление воды принимаются из расчета 800 руб/ м<sup>3</sup>.

Анализ представленных результатов указывает на чувствительность мощности, расхода топлива и эффективного КПД к использованию впрыска влаги. Так, в диапазоне температур наружного воздуха +15...+45 °С наблюдается снижение расхода топлива (0,022 кг/с), повышение КПД, что в итоге позволяет поддерживать производительность ГПА на заданном уровне.

Вместе с тем, для принятия обоснованных решений по внедрению впрыска влаги в КС ГПА требуется проведение технико-экономических расчетов, учитывающих безвозвратные потери воды, затраты на водоподготовку, эксплуатационные издержки и т.п. Кроме того, сдерживающими факторами могут оказаться наличие необходимого количества первичной воды вблизи компрессорной станции, её химический состав и др.

Проведенный предварительный технико-экономический расчет для климатических условий Ставрополя. Применение впрыска на уровне 5 % в КС агрегатов типа ГПА-Ц-8 в период закачки позволяет сэкономить 0,022 кг/с топливного газа. Ожидаемый срок окупаемости проекта 7-8 лет.

Дальнейшее повышение эффективности путем установки контактных теплообменников и системы очистки конденсата, улавливающих, конденсирующих и очищающих впрыскиваемую влагу, при рассматриваемой стоимости подготовки воды и времени использования впрыска не будет давать экономический эффект.

#### Список литературы:

1. Черников С.В. Эффективность отопительных газопаровых ТЭЦ в системе теплоэнергоснабжения. // Дисс. на соиск. уч. с. канд. техн. Наук. // Саратов – 2006.
2. Андрющенко П.И., Аминов Р.З., Хлебалин Ю.М. Теплофикационные установки и их использование. // Учебн. пособие для теплоэнергетических специальностей вузов. // М.: Высшая школа, 1989. – 256 с.
3. Рабинович О.М. Сборник задач по технической термодинамике. М., «Машиностроение», 1973, 344с.
4. Костюк А. Г., Шерстюк А. Н. Газотурбинные установки. – М.: Высш. шк., 1979.

#### Использование индивидуального теплового узла с погодным регулированием и закрытой схемой горячего водоснабжения в качестве эффективного теплоэнергетического оборудования

*Королев А.Т.\*, Богомолов А.Р., Новоселов А. С.\**

*\*Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, Россия, Кемерово  
Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, Россия, Новосибирск  
[nc42@mail.ru](mailto:nc42@mail.ru)*

Россия одна из самых расточительных по энергосбережению стран мира. Перспективы энергосбережения огромны, как показывает анализ, это 40-50% от существующего уровня потребления. Утечки тепла в основном из-за износа оборудования и отсутствия в системах теплопотребления должного учета расходов тепла и приборов автоматического регулирования температуры и отпуска тепла.

В учебных заведениях РФ по результатам аналитических исследований 25-45 % всех энергозатрат уходит на теплоснабжение. В результате потенциал экономии составляет 40 % от суммарного уровня потребления ТЭР. Поэтому эта ситуация находится под постоянным контролем Правительства РФ: Закон № 261-ФЗ и Распоряжение № 2446-р от 27.12.10 « Об энергосбережении и повышению энергетической эффективности», в котором рекомендуется учебным заведениям во всех субъектах РФ разрабатывать программы энергосбережения. В итоге за прошедшие годы получен экономический эффект в размере 21494 тыс. руб., при среднем сроке окупаемости 2,5-3 года.

Кузбасс, район Сибири с суровыми климатическими условиями, является одним из энергоемких районов, в котором затрачиваются огромные топливно-энергетические ресурсы для обеспечения, прежде всего, комфортных условий для проживания, работы и технологических процессов. Поэтому здесь уделяется особое внимание вопросам энергосбережения во всех отраслях. Это относится непосредственно и к КузГТУ, который, имея на балансе 132,6 тыс. м<sup>2</sup> учебных, производственных зданий и других вспомогательных помещений, потребляет тепла на отопление и вентиляцию в среднем 3288 тыс. Гкал/год.

Выполняя рекомендации Правительства РФ в КузГТУ, сотрудники кафедры теплоэнергетики разработали направления и методику по энергосбережению в вузе.

Проделанная работа дала возможность разработать долгосрочную на 2012-2020 г.г. программу энергосбережения. Для руководства и контроля за выполнением программы создан: «Центр энергосбережения», в который вошли сотрудники и студенты.

Программа состоит из 7 направлений энергосбережения:

- Устройство автоматизированных тепловых пунктов с современными приборами учета потребления и автоматизированного регулирования отпуска тепла в корпусах, что позволит повысить теплосъем от теплоносителя в системах отопления. Ожидаемый экономический эффект от замены тепловых пунктов составит 10-15%.

- Перевод системы теплоснабжения объектов на «дежурный» режим (снижение подачи тепла в ночное время, выходные и праздничные дни с применением приборов автоматического регулирования, например, ECL COMFORT-110) [1].

- Проведение энергоаудита с оформлением энергопаспортов на каждый объект для разработки конкретных мероприятий по энергосбережению.

- Утепление ограждающих конструкций зданий современными теплоизолирующими материалами по новым энергосберегающим технологиям.

- Анализ проведенных авторами исследований в зимний период 2012/2013 гг. показывает, что все здания старой постройки КузГТУ и особенно межкорпусные «переходы» потребляют тепла в 2,5-3 раза больше по сравнению с теплопотреблением зданиями в Северных странах Европы. Выполнение этого пункта плана позволит снизить теплопотери через наружные стены и окна до 30%, через подвалы 30-40%, через кровлю - в 2-3 раза.

- Реконструкция теплосетей: замена теплоизоляции из минеральной ваты на пенополиуретан; осушение каналов теплосетей; восстановление гидроизоляции стыков плит перекрытия подземных каналов; частичная замена подземной прокладки сетей на надземную. Ожидаемый экономический эффект мероприятия составит порядка 40%.

- Установка на всех теплопотребляющих объектах адаптированной компьютерной техники для создания диспетчерского пункта автоматизированной системы управления температурными режимами «АСУ-ТП» КузГТУ [2, 3]. Создание системы АСУ с погодным и пофасадным регулированием отпуска тепла позволит снизить на 10-15% общее потребление тепла за отопительный период.

Внедрение технологий и схем утилизации тепла с удаляемого воздуха систем вентиляции помещений.

Разработанные мероприятия снижения теплотрат в КузГТУ совпадают с целевыми программами Правительства, Минобрнауки РФ, Администрации Кемеровской области.

В текущем 2013 году из намеченного плана приступили к выполнению 1-ой и 7-ой позиций плановых энергосберегающих технологий.

Для исследования эффективности от внедрения ИТП проведена реконструкция теплового пункта с современным оборудованием в корпусе столовой КузГТУ (рис. 1).



Рис.1. Тепловой пункт в корпусе столовой КузГТУ

Современное оборудование узла, такие как электронные регуляторы температуры серии ECL, регулирующие клапаны с электроприводами, гидравлические регуляторы температуры, составные регуляторы серии AFP/VFG2, AFPQ4/VFQ2 и AFPQ/VFQ2; пластинчатый теплообменник, который был рассчитан при помощи расчетной программы Danfoss HEX, бак-аккумулятор позволяют выполнять следующие задачи:



- поддерживать постоянные перепады давлений теплоносителя на исполнительных механизмах регулирующих устройств систем теплоснабжения;
- обеспечивать давление теплоносителя в трубопроводах в пределах, допустимых для элементов систем и самого теплового пункта;
- гарантировать заполнение систем теплоносителем и защищать их от опорожнения;
- обеспечивать «невскипание» перегретого теплоносителя в верхних точках систем теплоснабжения;
- при необходимости ограничивать предельный расход теплоносителя;
- осуществлять автоматическую гидравлическую балансировку тепловых сетей.

Что представляет собой столовая: это двухэтажное панельное здание, объемом 12894 м<sup>3</sup> и 2905 м<sup>2</sup> подключенное к тепловым сетям города Кемерово.

Для примера в табл. 1 приведены параметры теплоносителя по тепловому узлу и в помещениях столовой.

Таблица 1

Дата	Расход теплоносителя, м <sup>3</sup> /час		Температура прямого теплоносителя, °С		Температура обратного теплоносителя, °С		Средняя температура в помещении, °С		Наружная температура воздуха, °С
	1 этаж	2 этаж	1 этаж	2 этаж	1 этаж	2 этаж	1 этаж	2 этаж	
27.09.13	1,59	2,7	47,9	47,9	39,8	39,8	22	23	+13,1
12.11.13	1,97	3,09	49,6	49,6	44	47	20,5	20	+2
15.11.13	1,97	3,09	52	52	44	47	21,5	22	+2

Расчеты показывают, что удельная тепловая мощность, подаваемая 12 ноября на отопление помещений столовой 1 и 2-го этажей, составляла 7,6 Вт/м<sup>2</sup>, а 15 ноября – 13,9 Вт/м<sup>2</sup>. При одинаковой температуре окружающего воздуха средняя температура в помещениях столовой была ниже на 1-2°С меньше для случая меньшей тепловой мощности. 27 октября при температуре окружающего воздуха +13,1°С удельная тепловая мощность составляла 13,9 Вт/м<sup>2</sup>.

Система вентиляции присоединяется к трубопроводам теплового пункта по зависимой схеме. Без изменения параметров теплоносителя. Для поддержания температуры теплоносителя используется циркуляционный насос с использованием электронного регулятора температуры. Система горячего водоснабжения здания столовой принята закрытой. Нагрев водопроводной воды для горячего водоснабжения (ГВС) производится в скоростных водоподогревателях. В качестве водоподогревателей используются пластинчатые водоподогреватели компании «Данфос». Скоростные водоподогреватели присоединяются к системе теплоснабжения по одноступенчатой параллельной схеме. Пластинчатые водоподогреватели способны обеспечить эффективный нагрев воды без повышения температуры теплоносителя, возвращаемого в тепловую сеть. В системе ГВС предусматривается циркуляция воды в трубопроводе, ее нагрев при отсутствии водопотребления с целью обеспечения требуемой температур в любой момент времени и каждого водоразборного крана. В закрытой системе теплоснабжения циркуляция воды через водопроводную систему ГВС и водоподогревателей производится с помощью насоса. Для запаса холодной воды предусматривается бак емкостью 0,5 м<sup>3</sup>. В летний период, когда циркуляция наружных тепловых сетях на период ремонта сетей прекращается, то предусматривается узел разбора горячей воды по открытой схеме. Система отопления принята зависимая схема, она не требует использования дорогого теплотехнического оборудования, главным элементом является насос, который необходим при автоматизации узла. Насос установлен на перемычке между прямым и обратным трубопроводом, он подбирается на расход теплоносителя в системе отопления и при напоре, соответствующем потерям давления и запасом в 10%. Температура теплоносителя поддерживается регулятором температуры, которая работает исходя из температуры теплоносителя и температуры наружного воздуха.

#### Список литературы:

1. Литвак В. В. Основы регионального энергосбережения (научно-технические и производственные аспекты). Монография/ В. В. Литвак. – Томск, изд-во НТЛ, 2002.-300 с.
2. Невский В.В. Применение средств автоматизации Danfoss в тепловых пунктах систем централизованного теплоснабжения зданий. – М.: ООО «Данфосс», 2011.-60с

## Анализ устойчивости критериев экономической эффективности ПГУ-ТЭЦ

Ларин Е.А., Соколов А.А.

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Россия, г.

Саратов

[energy77@bk.ru](mailto:energy77@bk.ru)

Условия неопределенности исходной технико-экономической информации по основным факторам, влияющим на эффективность применения ПГУ-ТЭЦ в системах теплоэнергоснабжения, диктуют необходимость проведения анализа чувствительности полученных критериев эффективности по отношению к основным факторам, определяющим экономическую целесообразность создания и функционирования ТЭЦ.

На рисунках 1 и 2 показано влияние изменения уровня капиталовложений и цен на основные показатели проекта - ЧДД и дисконтированный срок окупаемости проекта. Анализ неопределенностей проведен для схемы ПГУ-ТЭЦ с противодавленческой турбиной и последовательным соединением сетевого подогревателя паровой турбины и сетевого подогревателя котла утилизатора (СПКУ) с отключением одной ГТУ в каждом блоке в летний период и использовании дожигающего устройства в зимний [1].

Показатели проекта существенно зависят от объемов производства электрической и тепловой энергии и цен на энергоносители, в меньшей степени - от изменения капитальных вложений. Так, из рисунка 1 видно, что увеличение затрат в строительство теплофикационной ТЭЦ на 10% приводит к снижению ЧДД не более чем на 5-6%. Вместе с тем, рост объемов реализации или рост тарифа на выработанную электроэнергию приводит к росту этого показателя в 1,75 - 2,05 раза. В большей степени на величину ЧДД оказывает неопределенность информации по реализации или тарифу на тепловую энергию. Этот факт указывает на необходимость более тщательного расчета вырабатываемой электрической и тепловой энергии, т.е. на тщательный учет климатических и режимных факторов при анализе покрытия реальных графиков электрической и тепловой нагрузки.

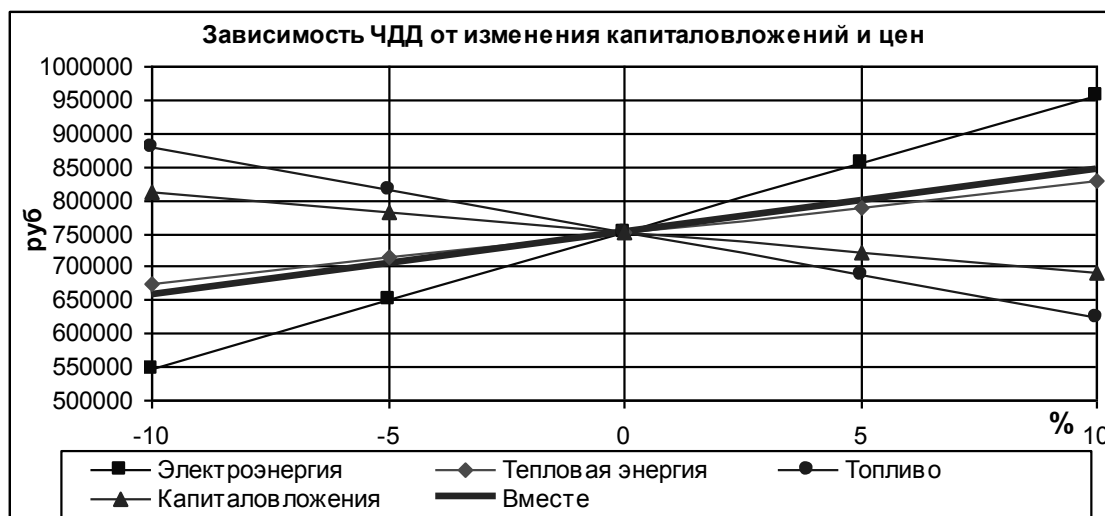


Рис. 1. Зависимость изменения ЧДД от изменения цен на топливо, тепловую и электроэнергию и капиталовложений

Из рисунка 2 видно влияние неопределенности в исходной информации на расчетное значение дисконтированного срока окупаемости инвестиций в строительство теплофикационной ПГУ. Следует отметить, что значение дисконтированного срока окупаемости определено от начала реализации проекта, т.е. от момента начала строительства ТЭЦ. Из рисунка видно, что определяющее влияние на величину срока окупаемости оказывают стоимость используемого топлива и тарифы на электрическую и тепловую энергию.

Кроме того, проведен анализ изменения коэффициентов чувствительности рассчитываемых показателей эффективности к изменению отдельных технико-экономических факторов. Под коэффициентом чувствительности понимается отношение относительного

изменения исследуемого критерия эффективности к относительному изменению какого-либо фактора, т.е.

$$\alpha = \frac{\partial R}{R} \cdot \frac{X}{\partial X}, \quad (1)$$

где R – какой-либо критерий эффективности; X- фактор, влияющий на значение этого показателя эффективности.

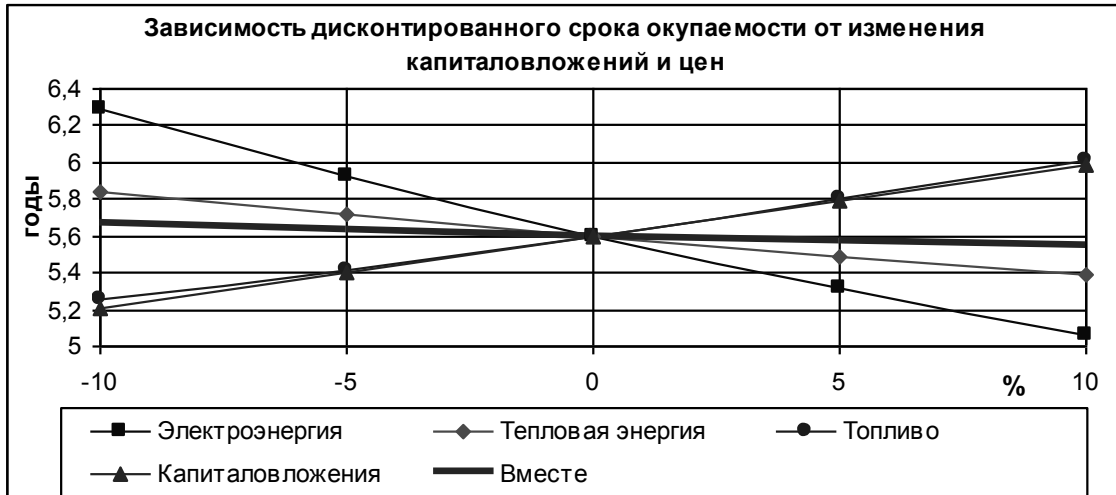


Рис. 2. Зависимость изменения дисконтированного срока окупаемости от изменения цен на топливо, тарифов и капиталовложений

Абсолютные значения величины  $\alpha$  определяет уровень влияния фактора на показатель эффективности, а знак величины  $\alpha$  определяет направление влияния.

В таблицах 1 и 2 приведены значения коэффициентов чувствительности величин ЧДД и дисконтированного срока окупаемости инвестиций по отношению к изменению цен на топливо и тарифов на электрическую и тепловую энергию и величине капитальных вложений в строительство ПГУ-ТЭЦ.

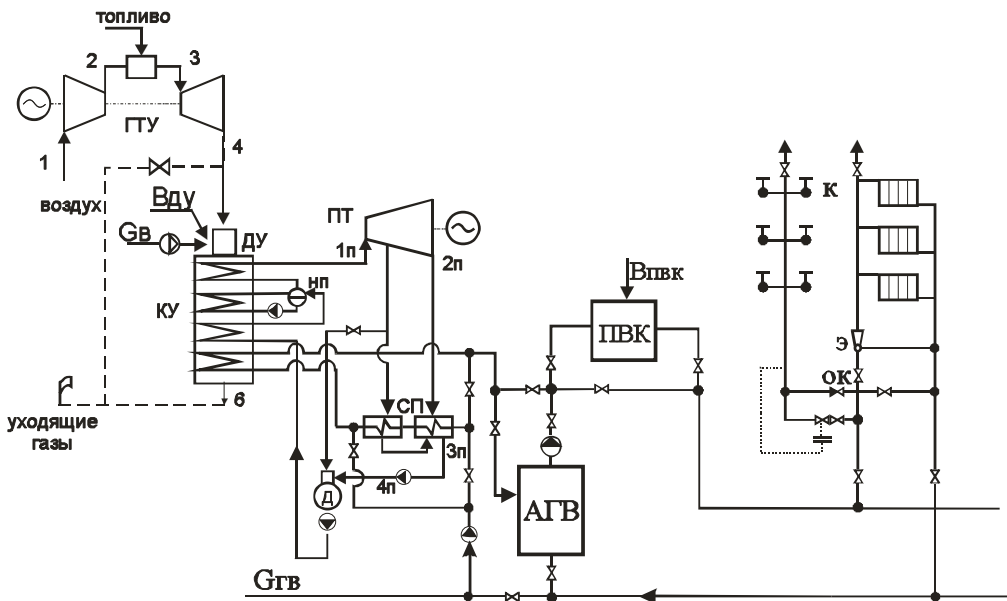


Рис. 3. Принципиальная тепловая схема отопительной ПГУ с последовательным или параллельным включением сетевых подогревателей турбины и СПКУ

В качестве объектов исследования приняты 5 схем (а,б,в,г,д) отопительных ПГУ-ТЭЦ, состоящими из 2-х ГТУ, 1-й ПТУ и КУ, и различающихся элементами утилизационных частей и способами их соединения:

- а) ПГУ с теплофикационной турбиной с последовательным включением сетевого подогревателя паровой турбины и СПКУ;
- б) ПГУ с теплофикационной турбиной с параллельным включением сетевого подогревателя паровой турбины и СПКУ;
- в) ПГУ с противодавленческой турбиной с параллельным включением сетевого подогревателя паровой турбины и СПКУ;
- г) ПГУ с противодавленческой турбиной с последовательным включением сетевого подогревателя паровой турбины и СПКУ;
- д) ПГУ с конденсационной паровой турбиной и СПКУ.

Принципиальная схема рассматриваемых вариантов ПГУ-ТЭЦ, приведенная на рисунке 3, является наиболее общей, сочетающей в себе преимущества различных способов повышения эффективности.

Таблица 1. Коэффициенты чувствительности для дисконтированного срока окупаемости

Рассматриваемая схема	а	б	в	г	д
Тариф на электроэнергию	-1,234	-1,242	-1,017	-1,031	-1,573
Тариф на тепловую энергию	-0,289	-0,297	-0,389	-0,391	-0,104
Цена на топливо	0,849	0,866	0,703	0,720	1,057
Инвестиции	0,701	0,700	0,696	0,699	0,700
Совместное влияние факторов	-0,108	-0,109	-0,093	-0,094	-0,125

Таблица 2. Коэффициенты чувствительности для ЧДД

Рассматриваемая схема	а	б	в	г	д
Тариф на электроэнергию	4,172	4,330	2,730	2,845	8,229
Тариф на тепловую энергию	0,936	0,985	1,010	1,041	0,498
Цена на топливо	-2,515	-2,641	-1,694	-1,781	-4,713
Инвестиции	-1,251	-1,315	-0,822	-0,869	-2,409
Совместное влияние факторов	1,342	1,359	1,225	1,237	1,625

Из приведенных данных следует, что наибольшие абсолютные значения коэффициентов чувствительности характерны для тарифов на электроэнергию и топливо.

Таким образом, наиболее важным фактором, определяющим экономическую эффективность создания ПГУ-ТЭЦ, является прогнозирование и обоснование режимов работы ТЭЦ. Это обстоятельство обуславливает необходимость тщательного моделирования и оптимизации режимов работы ПГУ-ТЭЦ и обоснование надежности их работы в системах теплоснабжения.

#### Список литературы:

1. Соколов, А.А. Экономическая эффективность ПГУ-ТЭЦ на базе ГТУ малой и средней мощности /А.А. Соколов, Е.А. Ларин, А.В. Чикалкин./ Проблемы электроэнергетики: сборник научных трудов Саратов – СГТУ- 2009 – с. 76-81.

#### Практическое применение критериев статической устойчивости на примере одномашинной энергосистемы

*Д.Ф. Мавлетчина*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск  
[danyasemsk@gmail.com](mailto:danyasemsk@gmail.com)*

Теория статической устойчивости электрических систем основывается на методах приближения Ляпунова и сводится к исследованию устойчивости систем дифференциальных уравнений, описывающих исследуемые энергосистемы.

Для исследования статической устойчивости необходимо [1]: составить математическое описание переходных процессов в изучаемой системе в виде нелинейных дифференциальных

уравнений; провести линейризацию уравнений по первому приближению и получить систему линейризованных уравнений; составить характеристический определитель; вычислить частные производные для исследуемого режима; определить устойчивость с помощью методов, выявляющих знак действительных корней характеристического уравнения.

При высокой степени характеристического уравнения вычисление его корней является весьма трудоёмкой операцией, поэтому часто используют некоторые математические условия, которые позволяют без вычисления корней определять наличие или отсутствие положительных знаков у их вещественных частей. В электроэнергетике эти условия называются математическими критериями статической устойчивости энергосистем, из которых выделяют алгебраические (критерии Рауса, Гурвица) и частотные (методы D-разбиения, критерии Михайлова, Найквиста) [1].

Практическим применением определения статической устойчивости энергосистемы на основе данных критериев явилась разработка части лабораторного практикума по дисциплине «Методы расчёта устойчивости энергосистем». В лабораторной работе №1 для одномашинной энергосистемы требуется осуществить выбор параметров по условиям статической устойчивости с использованием метода D-разбиения, частотных и алгебраических критериев устойчивости, применяя в качестве инструментального средства систему компьютерной математики Mathcad.

Алгоритм выполнения лабораторной работы следующий. На примере одномашинной энергосистемы с заданными параметрами и с фиксированными коэффициентами усиления АРВ по напряжению, производится расчёт частных коэффициентов характеристического уравнения, с помощью которых вычисляются координаты точек кривой D-разбиения.

Соответственно далее следует построение области D-разбиения в плоскости двух параметров (рис.1), параметрами являются коэффициенты АРВ СД по частоте.

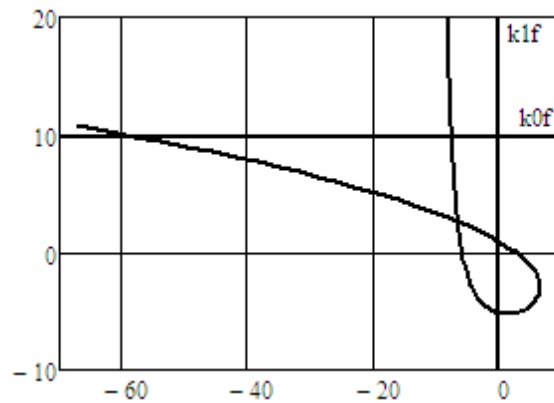


Рисунок 1 – Область D-разбиения

Далее осуществляется выбор области-претендента на устойчивость, из области произвольно выбирается точка и осуществляется проверка области-претендента по критериям устойчивости Рауса, Гурвица и Михайлова.

Примем  $k_{0f} = -2,5, k_{1f} = -2,5$ , произведем расчет коэффициентов и составим характеристическое уравнение в форме полинома:

$$D_1(p) = 0,00458 \cdot p^5 + 0,05 \cdot p^4 + 0,236 \cdot p^3 + 1,601 \cdot p^2 + 1,33 \cdot p + 5,848 = 0 \quad 1)$$

Проверим эту точку на устойчивость по критериям Рауса, Гурвица и Михайлова.

Критерий Гурвица формулируется следующим образом: для выполнения устойчивости и, следовательно, для расположения всех корней в левой полуплоскости необходимо и достаточно, чтобы все  $n$  диагональных миноров матрицы (2) были положительными. [2]

Составим матрицу Гурвица и вычислим определители для рассматриваемого примера:

$$\Delta_1 = a_1 = 0,05 ; \quad \Delta_2 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix} = 0,0044 ; \quad \Delta_3 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 \\ a_0 & a_2 & a_4 \\ 0 & a_1 & a_3 \end{vmatrix} = 0,0052 ;$$

$$\Delta_4 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 & a_5 \\ 0 & a_0 & a_2 & a_4 \end{vmatrix} = 0,0017;$$

$$\Delta\Gamma = \Delta 5 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 & 0 & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 & 0 & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 & a_5 & 0 \\ 0 & a_0 & a_2 & a_4 & 0 \\ 0 & 0 & a_1 & a_3 & a_5 \end{vmatrix} = 0,01 \quad (2)$$

Ряд определителей Гурвица:

$$a_0 = 0,00458; \Delta_1 = 0,05; \frac{\Delta_2}{\Delta_1} = 0,088; \frac{\Delta_3}{\Delta_2} = 1,168; \frac{\Delta_4}{\Delta_3} = 0,341; \frac{\Delta_5}{\Delta_4} = 5,68.$$

Можно сделать вывод, что система устойчива, так как в ряде нет ни одной смены знака.

Критерий устойчивости Михайлова принадлежит к числу частотных критериев и позволяет оценивать устойчивость замкнутой системы по виду годографа, который может быть получен из характеристического уравнения [2].

Заменив в уравнении (1) переменную  $p$  величиной  $j\omega$ , т.е. положим  $p = j\omega$ . Тогда получим

$$D(j\omega) = 0,00458 \cdot (j\omega)^5 + 0,05 \cdot (j\omega)^4 + 0,236 \cdot (j\omega)^3 + 1,601 \cdot (j\omega)^2 + 1,33 \cdot (j\omega) + 5,848 = 0 \quad (3)$$

Расчет статической устойчивости по критерию Михайлова:

$$\operatorname{Re} D(\omega) = a_1 \cdot \omega^4 - a_3 \cdot \omega^2 + a_5;$$

$$\operatorname{Im} D(\omega) = a_0 \cdot \omega^5 - a_2 \cdot \omega^3 + a_4 \cdot \omega.$$

Пример расчета при  $\omega = 0,1$ :

$$\operatorname{Re} D(\omega) = 0,05 \cdot 0,1^4 - 1,601 \cdot 0,1^2 + 5,848 = 5,832;$$

$$\operatorname{Im} D(\omega) = 0,00458 \cdot 0,1^5 - 0,236 \cdot 0,1^3 + 1,33 \cdot 0,1 = 0,133.$$

При  $\omega = 7$ :

$$\operatorname{Re} D(\omega) = 0,05 \cdot 7^4 - 1,601 \cdot 7^2 + 5,848 = 47,218;$$

$$\operatorname{Im} D(\omega) = 0,00458 \cdot 7^5 - 0,236 \cdot 7^3 + 1,33 \cdot 7 = 5,31.$$

Результат расчета представлен на рисунке 2.

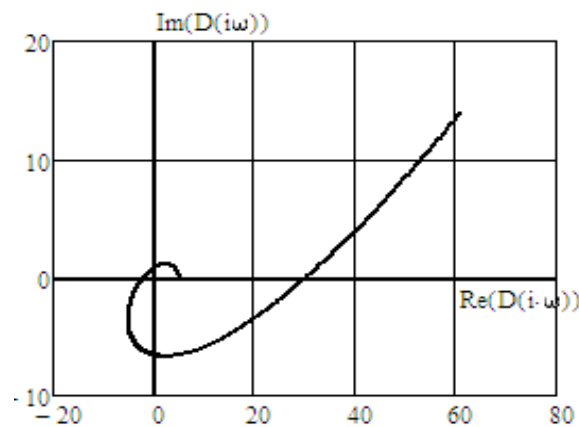


Рисунок 2 – Годограф Михайлова

По критерию Михайлова для устойчивости системы в замкнутом состоянии необходимо и достаточно, чтобы вектор  $D(j\omega)$ , описывающий своим концом кривую Михайлова при изменении  $\omega$  от 0 до  $+\infty$ , начав свое движение с положительной действительной оси и вращаясь против часовой стрелки, последовательно проходил  $n$  квадрантов, нигде не обращаясь в нуль [4].

По данной характеристике видно, что годограф последовательно проходит против хода часовой стрелки через I, II, III, IV и снова I квадранты ( $n=5$ ), при этом вектор нигде не обращается в нуль. Следовательно, по критерию Михайлова, исследуемая система устойчива.

Применение критерия Рауса требует составления таблицы Рауса (табл. 1). Элементами её первой строки являются чётные коэффициенты характеристического уравнения (1) начиная с  $a_0$ . Элементы второй строки – нечётные коэффициенты начиная с  $a_1$ . Элементы последующих строк вычисляются по приведённым в табл. 1 формулам.

Таблица 1 – таблица Рауса

Вспомогательные коэффициенты	№ строки	№ столбца		
		1	2	3
–	1	$c_{11} = a_0 =$ $= 4,581 \cdot 10^{-3}$	$c_{12} = a_2 =$ $= 0,236$	$c_{13} = a_4 =$ $= 1,33$

Продолжение таблицы 1

–	2	$c_{21} = a_1 =$ $= 0,05$	$c_{22} = a_3 =$ $= 1,601$	$c_{23} = a_5 =$ $= 5,848$
$r_3 = c_{11}/c_{21} =$ $= 0,092$	3	$c_{31} = c_{12} - r_3 c_{22} =$ $= 0,089$	$c_{32} = c_{13} - r_3 c_{23} =$ $= 0,793$	–
$r_3 = c_{11}/c_{21} =$ $= 0,56$	4	$c_{31} = c_{12} - r_3 c_{22} =$ $= 1,157$	–	–

Согласно критерию Рауса, для устойчивости энергосистемы необходимо и достаточно, чтобы элементы первого столбца таблицы Рауса имели одинаковый знак [3]. Как видно из таблицы изменение знака не наблюдается, соответственно можно сделать вывод, что система статически устойчива.

Исследование статической устойчивости на примере одномашинной энергосистемы позволяет изучить применение алгебраических и частотных критериев и освоить методологию выбора параметров регулируемых энергосистем по условиям их статической устойчивости. Поскольку все вычисления производятся в программном комплексе Mathcad, студенты имеют возможность наглядно представить свои расчёты.

#### Список литературы:

1. Веников В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических энергосистемах: Учеб. для электроэнергет. спец. вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш.шк., 1985. – 536 с. ил.
2. Хрущев Ю.В. Методы расчёта устойчивости энергосистем. Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2005. – 176 с.
3. Макаров И.М., Менский Б.М. Линейные автоматические системы (элементы теории, методы расчёта и справочный материал). – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1982. – 504 с., ил.
4. Воронов А.А. Основы теории автоматического регулирования и управления. Учебное пособие для вузов. – М.: Высш.шк., 1977. – 519 с. ил.

**Анализ средств повышения эффективности энергетической утилизации древесных отходов***Голдаев С. Помыткин Д.А.**Национальный исследовательский Томский политехнический университет ЭНИИ, Россия г. Томск  
E-mail: SVGoldaev.tpu@.ru*

Сжигание – распространенный способ термической переработки отходов. Он реализуется при температурах более 600°C и относится к окислительным термическим процессам автогенного характера, т.е. дополнительного топлива для этого не требуется [1].

Существенной проблемой лесопромышленного комплекса при существующем уровне развития является проблема низкой эффективности использования сырьевых ресурсов. В процессе переработки значительная доля древесной биомассы выходит из производственного оборота в виде отходов лесозаготовок, деревообработки или остается вовсе непригодной для переработки с применением существующих технологий лесопиления. При уровне заготовки древесины в размере 178 млн. м<sup>3</sup> ежегодное количество только отходов деревообработки составляет более 70 млн. м<sup>3</sup> [1]. Постоянное недоиспользование расчетной лесосеки приводит к накоплению невостребованной низкокачественной древесины, большая часть которой ухудшает экологическую обстановку, повышает пожарную опасность. С другой стороны, в связи с нестабильностью мировых цен на ископаемые энергоносители возникает задача о вовлечении в сырьевую базу химических производств и топливно-энергетический комплекс альтернативных возобновляемых ресурсов, одним из которых является биомасса древесины. Однако использование биомассы в качестве топлива и химического сырья в ряде случаев малоэффективно ввиду того, что она имеет малую транспортную плотность и практически не приспособлена к существующей технологии, ориентированной на использование ископаемых ресурсов. Уменьшить негативное влияние данных факторов возможно с помощью предварительной децентрализованной переработки растительной биомассы в промежуточные продукты с более высокой плотностью, которые в дальнейшем перерабатываются в промышленных центрах с получением конечных продуктов нефтехимии. В зависимости от внешних условий и свойств сырья состав и количество продуктов термического разложения изменяются, что, в свою очередь, влияет на эффективность термохимических процессов. Интенсификация процессов, сопровождаемых при пиролизной переработке древесины, открывает широкие перспективы в области повышения эффективности промышленной технологии.

Наиболее существенным недостатком древесных отходов как топлива является их нестабильное влагосодержание, которое в зависимости от вида древесных отходов колеблется в пределах от 8 до 80% [2].

Для повышения эффективности процесса сжигания, рассмотрена возможность предварительной сушки древесных отходов топочными газами котельной установки [3]. Соответствующая технологическая схема процесса получения тепловой энергии имеет такие стадии. Древесные отходы с повышенным влагосодержанием загружаются в бункер, где происходит процесс сушки древесных отходов топочными газами, поступающими из котла. Высушенные древесные частицы дозатором транспортируются в топку. Образовавшиеся при их сжигании газы из топки подаются в котел для утилизации теплоты. Охлажденные в котле топочные газы поступают в сушильный бункер, откуда через дымовую трубу выбрасываются в атмосферу.

С учетом того, что в большинстве случаев в конструкции предлагаемых для деревообрабатывающих предприятий котлов заложены слоевые методы сжигания топлива, отличающиеся своей простотой и надежностью при низких капитальных вложениях, механизм сжигания древесной частицы в противоточном слое можно представить как совокупность процессов удаления влаги, термоллиза (выхода летучих) и выгорания коксового остатка частицы.

При прохождении топочного газа сквозь слой дисперсного материала в сушильном бункере, вследствие тепло-массообмена, происходит изменение влагосодержания и температуры топочного газа по высоте слоя, которые можно определить из уравнений материального и теплового балансов [3,5].

Одновременно с этими процессами вследствие теплопроводности происходит изменение влажности и температуры внутри древесной частицы, которые в условиях сушильного бункера, при отсутствии общего градиента давления и фазовых превращений внутри древесной частицы, можно определить с помощью системы дифференциальных уравнений теплопереноса [3].



Температура топочного газа на выходе из сушильного бункера определяется из технологических соображений при заданной степени насыщения топочного газа водяными парами [3]. Сушилка позволяет при использовании окружающего воздуха без подогрева достаточно эффективно сушить отходы древесины (от влажности 70...75% до влажности ~ 30%). Это позволяет повысить эффективность подготовки древесных отходов к использованию в производстве строительных материалов, и в качестве топлива.

При выборе оборудования учитываются вид топлива, его состав, влажность.

Сжигание древесных отходов осуществляется по следующим технологиям.

Прямое сжигание древесного топлива с высокой влажностью в виде кусковых и длинномерных отходов, щепы, коры, опилок, топливных брикетов, гранул и т.д. происходит в топках с горизонтальной, конусообразной, наклонной или подвижной колосниковой решеткой [4]. Оно используется в водогрейных котлах малой мощности (менее 20 МВт) для обогрева производственных или жилых помещений.

Сжигание в кипящем циркулирующем слое позволяет достичь большей эффективности и экономичности за счет почти 100%-го сгорания топлива при меньшем уровне эмиссии отходов горения по сравнению с прямым сжиганием [4]. При реализации данного метода измельченное древесное топливо подается в «кипящий» слой, созданный путем продувания воздуха через слой топлива.

Подходящий вид древесного топлива – щепа с размером кусков 30...150 мм или любые другие отходы производства с аналогичным фракционным составом и влажностью до 55...57%, содержащие не более 30...35% мелких фракций.

Газификация представляет собой двухэтапный процесс. На первом этапе топливо подается шнековым питателем на колосниковую решетку в первичной камере (предтопке), где оно нагревается до температуры, при которой происходит процесс газификации. Перегретый и смешанный с вторичным воздухом древесный газ сгорает во вторичной камере практически без остатка. Продукты сгорания используются в котле или печи для получения горячей воды, пара или горячего воздуха. Диапазон мощностей систем сжигания такого рода от 500 кВт до 30 МВт [4].

Топка газогенераторная, немеханизованная, с оперативным бункером для обеспечения непрерывности работы. В ней можно сжигать различные по фракционному составу древесные отходы: от мелких опил (отходы ленточно-пильных станков) до кусковых отходов.

Древесные отходы загружаются в бункер. Под действием силы тяжести, по мере сгорания, топливо постепенно опускается вниз, проходя последовательно зоны: подсушки, пиролиза, газификации и горения. Образующаяся зола просыпается через колосник в зольник, куда также первоначально поступает воздух для горения.

В процессе брикетирования происходит увеличение плотности брикета до 900-1100 кг/куб.м. При влажности 10-12% брикеты имеют теплотворную способность 3500-4500 ккал/кг [4]. Таким образом объем древесных отходов сокращается в 2-7 раз. Теплотворная способность брикетов по сравнению с древесными отходами возрастает в 2-3 раза и приближается к теплотворности каменного угля.

Преимуществом использования древесины в качестве топлива являются [6] уменьшение объема золы при сжигании: бурого угля образуются золы до 40% от веса сжигаемого топлива; каменного угля – около 20%; древесины – 0,5...3%.

При этом золу от сжигания древесного топлива возможно использовать как минеральное удобрение, а шлаки от сжигания угля содержат тяжелые металлы и обладают хотя и слабой, но повышенной радиоактивностью [6]. Уменьшение выбросов в атмосферу.

Выделение углекислого газа при сжигании больше чем при использовании древесного топлива: газа – в 15 раз; дизельного топлива – в 20 раз; кокса – в 30 раз; угля – в 50 раз.

Приведенные данные показывают, что древесное топливо является экологически более чистым, чем уголь, причем предпочтение, по-видимому, должно быть отдано установкам газификации.

Быстрый пиролиз представляет собой процесс, при котором сухие (<10% влажности), измельченные в порошок древесные отходы, включая опилки, кору и т.д., быстро нагреваются в кипящем слое инертного материала внутри реактора до температуры 450 ... 500°C при отсутствии воздуха [6]. Продуктами пиролиза являются частицы древесного угля, неконденсирующийся газ, конденсирующиеся пары и аэрозоли. Частицы древесного угля отделяются в циклоне, а летучие вещества подвергаются быстрому охлаждению, в результате которого образуется жидкость – синтетическое жидкое топливо (пиротопливо), поступающее в накопительный резервуар. Оно

имеет калорийность, составляющую примерно 55% от калорийности дизельного топлива. Используется путем сжигания в газотурбинных установках (ГТУ) или дизельных двигателях. Несмотря на высокую эффективность и удобство использования жидкого синтетического топлива, отсутствие отходов, пиролиз только недавно вышел из стадии исследований и опытных разработок (максимальная производительность действующей пилотной установки составляет 10 тонн в сутки) [6], что обуславливает высокую стоимость используемого оборудования.

#### Список литературы:

1. Основы практической теории горения: / В.В. Померанцев, К.М. Арефьев, Д.Б. Ахмедов и др. – Л.: Энергоатомиздат. 1986.
2. Пурим, В. Р. Твердые бытовые отходы – топливо для ТЭС малой мощности / В. Р. Пурим, А. Н. Тугов // Акватерм. – 2001. – Июль. – С. 91–93.
3. Грачев, А.Н. Предварительная сушка как средство повышения эффективности энергетической переработки древесных отходов / А.Н. Грачев, В.Н. Башкиров, Р.Г. Сафин // Электронный журнал «Исследовано в России». – 2006. – № 64. – С. 635–645.
4. Тимербаев, Н.Ф. Пути повышения эффективности установок для сжигания биомассы / Н.Ф. Тимербаев, А.Н. Грачев, Р.Г. Сафин // Труды VI Международного симпозиума «Ресурсоэффективность и энергосбережение» / Казань: КГУ, 2006. – С. 335–336.
5. Забелкин, С.А. Математическое моделирование процесса горения жидких продуктов быстрого пиролиза отходов деревообработки / С.А. Забелкин, А.Н. Грачев, В.Н. Башкиров // Вестник Казанского технологического университета. – 2011. – №10. – С. 86–91.
6. Головков С.И. Энергетическое использование древесных отходов. – М.: Лесная промышленность, 1987. – 224 с.

#### Тарифообразование и оптимизация в теплоснабжении

*Соломин И.Н., Даминов А.З.*

*Исследовательский центр проблем энергетики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Казанского научного центра Российской академии наук, Россия, г. Казань [solil1@yandex.ru](mailto:solil1@yandex.ru)*

Анализируя современное состояние теплоснабжающего сектора энергетики можно отметить тот факт, что городские системы централизованного теплоснабжения работают в неоптимальных режимах, что ведет к увеличению относительных потерь тепловой энергии в системах теплоснабжения [1].

Среди основных причин такого положения с потерями в теплосетях:

- несовершенство и износ теплоизоляции теплопроводов;
- утечки теплоносителя в тепловых сетях;
- недоиспользование пропускной способности трубопроводов вследствие завышения расчётных тепловых нагрузок потребителей;
- излишняя централизация теплоснабжения в случаях подключения к системам теплоснабжения микрорайонов с малоэтажной жилой застройкой, имеющих низкую плотность тепловых нагрузок.

Наряду с технологическими причинами недостаточной эффективности имеют место недостатки в тарифной политике. В настоящее время установление тарифов является одной из главных проблем в отрасли тепловой энергетики.

Рассмотрим влияние механизма тарифообразования на энергосберегающие мероприятия и оптимизацию действующей системы теплоснабжения от котельной Сыртлановой, 27 МУП ПО «Казэнерго».

До настоящего времени тарифообразование для теплоснабжающей компании МУП ПО «Казэнерго» производится по системе «затраты плюс». При данном методе тариф формировался исходя из фактических затрат компании за предыдущий год и ее инвестиционной программы. При применении метода «затраты плюс» тарифы устанавливаются ежегодно, исходя из объема средств, которые региональная энергетическая комиссия (РЭК) включил в состав необходимой валовой выручки организации для осуществления ее деятельности в следующем году. Основными составляющими необходимой валовой выручки (НВВ) являются операционные расходы компании, расходы на выплату процентов, налогов, дивидендов и капитальные вложения. Данная методика устарела, поскольку при рыночном ценообразовании в условиях конкуренции все хозяйствующие

субъекты стремятся к уменьшению затрат, а при регулировании по системе «затраты плюс» такой заинтересованности у объекта регулирования нет. Ведь его затраты в полной мере учитываются в тарифе. Более того, метод «затраты плюс» не предусматривает никакой взаимозависимости между ценой услуги и ее качеством. В итоге тарифы постоянно растут, а средств для инвестирования в развитие системы теплоснабжения постоянно не хватает. Поэтому в настоящее время метод «затраты плюс» значительно тормозит развитие компании и практически не стимулирует проведения энергосберегающих и оптимизационных мероприятий, т.к. вся экономия от них сохраняется на период регулирования, т.е. на один год.

Примером может вступать тепловые потери через изоляционные конструкции трубопроводов тепловых сетей. В определенной мере сверхнормативные потери будут присутствовать всегда, что определяется их двойственным происхождением – несовершенством теплоизоляции и недоиспользованием пропускной способности теплопроводов. Первую из двух составляющую можно устранить путём применения новейших технологий, в частности, теплопроводов с пенополиуретановой теплоизоляцией. Вторая же с развитием рыночных отношений в теплоснабжении подобным методом неустранима.

Нормативными считаются тепловые потери, которые неизбежны при современном уровне технического прогресса. Данные потери являются невозвратными и определяют расход тепла на транспорт тепловой энергии, подлежащий оплате потребителем через устанавливаемые тарифы. Норматив на тепловые потери устанавливается исходя из оптимального соотношения цены и качества мероприятий, направленных на снижение тепловых потерь.

Сверхнормативные потери, обусловленные недоиспользованием пропускной способности тепловых сетей возможно снизить путем нахождения оптимальных диаметров участков тепловой сети при замене и капитальном ремонте, а также определения оптимальных расходов теплоносителя на данных участках. Оптимальные параметры функционирования системы теплоснабжения определяются из условия минимума затрат в тепловой сети. При этом достигается снижение потребления энергоресурсов и, соответственно, конечной стоимости единицы тепловой энергии. Поэтому данные мероприятия могут быть определены как энерго- и ресурсосберегающими и иметь место в инвестиционных программах теплоснабжающих компаний. Все оптимизационные мероприятия в тепловых сетях в силу немалых капитальных затрат должны планироваться в среднесрочной и долгосрочной перспективе. А в результате их проведения теплоснабжающая компания должна получить прибыль (экономии) от снижения эксплуатационных затрат, поэтому для осуществления инвестиционной программы и получения максимальной прибыли от оптимизации более всего подходит RAB-регулирование (Regulatory Asset Base – регулируемая база инвестиционного капитала) тарифообразования.

Под показателем энергосбережения понимается качественная и/или количественная характеристика проектируемых или реализуемых мер по энергосбережению, которая определяет:

- фактическую экономию топливно-энергетических ресурсов;
- снижение потерь топливно-энергетических ресурсов, в т.ч. за счет оптимизации режимных параметров теплоснабжения;
- снижения себестоимости производства тепловой энергии.

Показатели экономичности энергопотребления могут быть выражены в абсолютной или удельной форме. Абсолютная форма характеризует расход топливно-энергетических ресурсов в регламентированных условиях (режимах) работы. В нормативной документации на продукт, потребляющие одновременно различные виды топлива и энергии, должны устанавливаться показатели энергопотребления по всем видам энергии в сумме в пересчете к одному виду единиц измерения. Поэтому, для сравнения эффективности работы системы теплоснабжения до и после внедрения энергосберегающих мероприятий наиболее показательными являются удельные затраты энергии в системе теплоснабжения на транспорт и распределение тепловой энергии [2]. Удельные энергетические затраты определяются путем суммирования годового объема потребления каждого вида ресурса, в данном случае природного газа и электроэнергии, с учетом стоимостных коэффициентов каждого из них и отнесения суммы к полезно распределенной и потребленной тепловой энергии:

$$C_{\text{уд}} = \frac{1}{9,81 \rho c (t_{\text{вв}} - t_{\text{ад}})} \sum_i^n \left( \frac{k_o A_n G_i^2 (l_i + l_{\text{яв}})}{\eta_{\text{с}} d_i^{5,25}} + \frac{3600 q_{\text{д}} l_i \beta_i}{G_i} \right), \quad (1)$$

где  $\eta_{\text{ш}}$  – КПД сетевых насосов;  $G_i$  – расход теплоносителя на участке, м<sup>3</sup>/ч;  $A_{ri}$  – коэффициент, зависящий от шероховатости участка трубопровода и плотности теплоносителя, м<sup>3</sup>,25/кг;  $l_i$  – длина участка трубопровода, м;  $l_{\text{экв}}$  – эквивалентная длина участка, м;  $d_i$  – диаметр участка, м;  $q_{d_i}$  – плотность теплового потока через тепловую изоляцию, Вт/м;  $\beta_i$  – коэффициент, учитывающий тепловые потери запорной арматурой;  $n$  – число участков тепловой сети;  $\rho$  – плотность теплоносителя, кг/м<sup>3</sup>;  $C$  – удельная теплоемкость теплоносителя, ккал/(кгК);  $t_{i\dot{a}}$ ,  $t_{i\dot{a}d}$  – расчетные температуры теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах соответственно, °С;

$$k_{\dot{o}} = \frac{T_{\dot{y}}}{T_{\dot{o}}}$$

– коэффициент соотношения тарифов тепловой и электроэнергетики.

В выражении (1) коэффициент  $k_{\dot{o}}$  к количественной характеристике удельных затрат в тепловой сети добавляет качественную составляющую, оценивающую разницу в тарифах на различные виды ресурсов. Выбор энергетических затрат в качестве целевой функции при оптимизации параметров систем теплоснабжения обусловлен определяющей долей этих затрат в эксплуатационных расходах. На соотношение эксплуатационных расходов котельными существенное значение оказывают установленные цены на энергоресурсы. Основными энергоресурсами для выработки тепловой энергии являются природный газ и электроэнергия. Расходы на данные ресурсы в структуре тарифа на тепловую энергию лежат в пределах 53-55% и 10-15% соответственно.

При определении оптимальных параметров системы теплоснабжения необходимо учитывать значения тарифов на энергоресурсы и с учетом этого определять резервы и издержки для их экономии. Соответственно максимальная экономия энергоресурсов будет зависеть не только от сэкономленного количества, но и от цены (табл.1).

Выражение оптимального диаметра участка тепловой сети:

$$d_{i\dot{o}} = \sqrt[6,25]{\frac{5,25k_{\dot{o}}A_rG^3(l+l_{\text{э\ddot{a}}})}{3600\eta_i l\beta a}}$$

Для оптимального расхода выражение имеет вид:

$$G_{i\dot{o}} = \sqrt[3]{\frac{3600(ad+b)l\beta\eta_{\text{ш}}d^{5,25}}{2A_Rk_{\dot{o}}(l+l_{\text{э\ddot{a}}})}}$$

При введении в зависимости определения оптимальных диаметров участков тепловой сети и расходов теплоносителя коэффициента соотношения тарифов добавляется некоторое условие перераспределения долей затрат той или иной энергии в зависимости от их текущих цен.

Анализируя состояние цен и тарифов на энергоресурсы за последнее время можно отметить, что, совершенно естественно, неизменным остается превосходство тарифа на электроэнергию над тарифом на тепловую (рис.2).

Таблица 1. Значения тарифов на энергоресурсы по годам

Год	тариф на электроэнергию, руб./кВт	тариф на тепловую энергию, руб./Гкал	коэффициент соотношения тарифов
2006	1.52	482.60	2.708
2008	2.33	655.00	3.059
2010	3.10	846.90	3.147
2012	3.60	990.90	3.124
2013	3.87	1139.80	2.919

Из графика (рис. 2) видно, что в период 2010-2012 года разница за единицу энергии электрической и тепловой имеет свое максимальное значение. При этом в данный период было выгодно проводить энергосберегающие мероприятия с целью экономии электроэнергии и

изыскивать резервы по снижению ее потребления. В последнее время наметилась тенденция снижения разницы в тарифах за счет удорожания стоимости тепловой энергии. В таких условиях сбережение тепловой энергией ведет к значительной экономии в системе теплоснабжения наряду с электроэнергией.

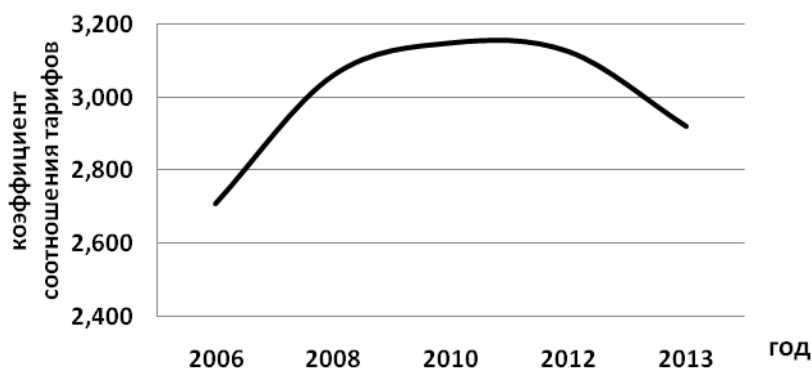


Рис 2. Значение коэффициента соотношения тарифов по годам.

На рис.3. представлена графическая зависимость значений оптимального расхода теплоносителя на участке действующей сети от котельной Сыртлановой, 27 диаметром 480 мм длиной 85 м канальной прокладки от коэффициента соотношения тарифов.

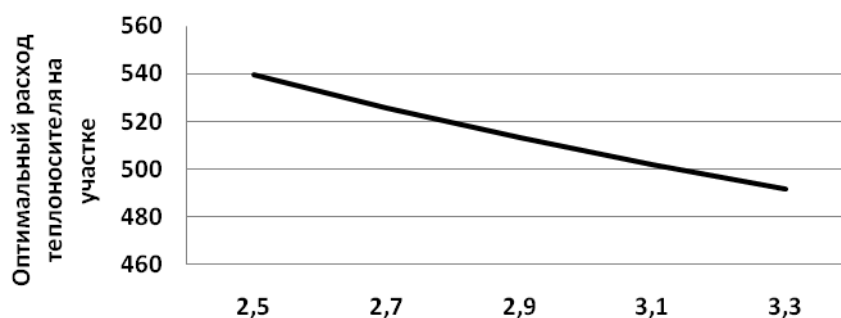


Рис. 3. Зависимость значений оптимального расхода на участке тепловой сети от коэффициента соотношения тарифов.

Из рис.3 видно, что при повышении коэффициента соотношения тарифов значение оптимального расхода снижается. Это объясняется высокой ценой на электроэнергию, что создает предпосылки ее экономии посредством снижения скорости движения теплоносителя по трубопроводу, а, следовательно, и снижением сопротивления сети.

Значения оптимальных диаметров в меньшей степени зависят от данного коэффициента, но также существует тенденция к увеличению пропускной способности трубопровода с ростом тарифа на электроэнергию.

Таким образом, применяя зависимости для определения оптимальных значений расходов и диаметров при условии минимума удельных затрат, необходимо учитывать разность в тарифах на энергоресурсы, т.к. данное условие позволяет скорректировать данные значения в зависимости от ценности и стоимости тепловой и электроэнергии для теплоснабжающей организации.

#### Список литературы:

1. Трутаев В.И., Сыропушинский В.М. Сверхнормативные потери теплоэнергии в теплосетях: вопросы учёта и распределения // Энергия и менеджмент. – 2011. – №5. – С. 2-10.
2. Авсюкевич А.Д. Энергоэффективность и энергосбережение в системах теплоснабжения // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2013. – №2. – С. 40-54.

**Перспективы применения газотурбинных двигателей на ТЭС в качестве привода  
питательных насосов**

**Цибульский С.А., Галашов Н.Н.**

*Национальный Исследовательский Томский Политехнический Университет, Россия, г. Томск.*

*E-mail: s.tzibulsky@yandex.ru, gal@tpu.ru*

В настоящее время газотурбинные двигатели (ГТД) нашли широкое применение в различных отраслях техники в качестве силовых установок, в основном, за счет конвертирования авиационных двигателей в ГТД наземного типа [1]. Современное газотурбинное оборудование изготавливается на ряде отечественных преимущественно авиационных заводов. Стоимость 1 кВт установленной мощности варьирует в пределах 200–500 USD. В настоящее время большой спрос на рынке на газотурбинное оборудование и большая конкуренция заставляет совершенствовать технологии газотурбинных двигателей.

Наиболее широкое применение стационарные ГТД нашли на магистральных газопроводах, где они служат для привода центробежных нагнетателей газа на газоперекачивающих компрессорных станциях. Нагнетатели вместе с ГТД составляют газоперекачивающий агрегат (ГПА). Первый ГПА типа ГТ-700-4 был изготовлен в 1957 г. ГТД могут применяться в качестве приводных не только на газопроводах, но и на нефтепроводах для перекачки нефти.

ГТД также применяются в качестве главных судовых энергоустановок, при этом по основным экономическим показателям они успешно конкурируют с дизелями и паровыми турбинами, а по удельной массе, стоимости, ремонтпригодности, приспособленности к автоматизации превосходят их [2]. Основными факторами, сдерживающими применение газотурбинных двигателей на коммерческих судах, являются высокие расходы на топливо, связанные с повышенными требованиями к его качеству и сравнительно высокий удельный расход топлива. Применение ГТД позволяет существенно снизить количество вредных выбросов при работе судовой энергетической установки [3].

В отличие от газоперекачивающих и судовых ГТД на локомотивах нашли значительно меньшее применение. Технико-экономическая эффективность применения турбопоездов на отечественных железных дорогах обоснована исследованиями ЦНИИ МПС; показана целесообразность применения турбопоездов на некоторых железнодорожных магистралях. Наиболее целесообразным оказывается применение ГТД при больших скоростях движения.

Преимуществами автомобильных ГТД по сравнению с дизелями являются их высокая удельная мощность, хорошие тяговые свойства, простота конструкции, меньшая токсичность отработавших газов, более высокая надежность при некоторых условиях эксплуатации [2].

К основным привлекательным достоинствам современных газотурбинных двигателей можно отнести: короткий период пуска (от 2 до 10 минут), достаточно низкую вибрацию при работе, слабую эмиссию вредных веществ в атмосферу, отсутствие требований по охлаждению водой.

Комплексное использование ГТД в данных направлениях, огромный опыт эксплуатации, модернизации и совершенствования позволяет рассмотреть перспективы применения их для привода механизмов собственных нужд на электростанциях, где в качестве привода в основном используются асинхронные электродвигатели и, в ряде случаев, для мощных механизмов – паровой турбопривод. Эти виды привода в настоящее время имеют эффективный КПД не выше 40 %.

Современные газотурбинные двигатели уже имеют КПД до 40–45 % благодаря большой степени повышения давления в компрессоре (30 для наземных и 40 для авиационных) и высоким температурам газа перед турбиной (1450 °С).

Значительный прогресс в газотурбинных двигателях достигнут за счет разработки новых жаропрочных материалов и покрытий, а также способов охлаждения горячих элементов двигателей.

Одним из перспективных направлений применения ГТД на ТЭС является замена ими электродвигателя или парового турбопривода питательных насосов (ПН). Проведенные теоретические исследования такой замены [4–6] показали, что при определенных удельных капитальных затратах в ГТД и соотношениях стоимости электроэнергии и топлива можно получить приемлемый срок окупаемости инвестиций.

Основными недостатками газотурбинных двигателей являются:

- высокое давление сжигаемого газа, что требует установки дожимных компрессоров;
- зависимость КПД ГТД от нагрузки и температуры наружного воздуха;
- существенные габариты газодяных теплообменников и газотводящих трактов, что усложняет компоновку оборудования на ТЭС;
- необходимость сжигания только газообразного или жидкого топлива.
- При эксплуатации ГТД в качестве привода на ТЭС возникает ряд проблем:
- понижение мощности по мере роста температуры наружного воздуха, особенно при температурах выше +15 °С;
- короткий срок службы элементов камер сгорания (в среднем 20–25 тыс. часов);
- помпаж в компрессоре, возникающий при высокой степени сжатия из-за отложений на рабочих лопатках;
- чрезмерный износ торцов рабочих лопаток компрессора из-за малых радиальных зазоров между корпусом и лопатками;
- уменьшение проектной мощности из-за увеличения сопротивления на всасе компрессора;
- повышение рабочих температур перед газовой турбиной приводит к появлению характерных дефектов на кромках и в основании направляющих лопаток, а также к повышению оксидов азота в выхлопных газах;
- необходимость подвода к электростанции газопровода или монтаж установки газификации угля.

У выпускаемых современных газотурбинных двигателей уже решен ряд проблем в работе и эксплуатации. Так все современные ГТД имеют сухие малоэмиссионные камеры сгорания, что обеспечивает их надежную работу по экологическим требованиям. Интенсивно разрабатываются способы газификации угля [7], что позволит применять ГТД на угольных ТЭС.

В настоящее время наиболее полно свои технические и термодинамические возможности газотурбинные двигатели реализуют в энергетических парогазовых установках (ПГУ). В сложном совмещенном термодинамическом цикле Брайтона-Ренкина наиболее эффективно энергетически используются возможности высокотемпературного подвода тепловой энергии к рабочей среде и низкотемпературный его отвод в паровой части при конденсации водяного пара. Такие энергетические установки при оптимизации параметров обеих частей термодинамического цикла в конденсационном режиме работы при номинальной мощности могут иметь КПД более 60 %, что недостижимо в отдельности ни газотурбинной, ни паротурбинной установками [8, 9].

Возможным направлением совершенствования современных пылеугольных энергоблоков большой мощности может стать внедрение газотурбинных двигателей в качестве привода питательного насоса.

Это направление подразумевает замену существующего электропривода или парового турбопривода ПН газотурбинным двигателем, что позволит устранить комплекс проблем, возникающих при использовании существующих приводов.

В качестве основных преимуществ использования газотурбинного привода ПН по сравнению с паровым турбоприводом можно выделить следующие:

- эффективный КПД современных ГТД достиг 35–45 %, а при использовании теплоты уходящих газов коэффициент использования теплоты топлива достигает 80–85 %;
- устранение недовыработки мощности энергоблока с паровым турбоприводом ПН вследствие пропуска пара турбопривода через проточную часть основной паровой турбины позволяет до 3 % увеличить выработку электроэнергии;
- упрощенная и более надежная схема энергоблока (независимая работа ГТД от главной паровой турбины);
- возможность использования тепла и кислорода выхлопных газов в котле: повышает КПД блока и уменьшает расход воздуха, что ведет к разгрузке дутьевых вентиляторов и уменьшению расхода электроэнергии на собственные нужды;
- повышенная маневренность газовой турбины по сравнению с паровой;
- практически не требуется охлаждающая вода;
- значительно меньше стоимость газотурбинного оборудования по сравнению с паротурбинным.

Проведенный ряд исследований по замене парового турбопривода ПН газотурбинным двигателем для существующих энергоблоков сверхкритического давления [10, 11] показал высокую эффективность предложенного решения.

С ростом начального давления пара на ТЭС затраты на привод ПН увеличиваются, а основной стратегией развития энергетики на угольной генерации является применение суперкритических и ультракритических параметров пара.

Для доказательства эффективности замены парового турбопривода ПН газотурбинным двигателем для энергоблока на суперкритические параметры пара были проведены расчеты его тепловой схемы с паро- и газотурбинным приводом ПН. За основу был взят пылеугольный энергоблок мощностью 660 МВт на начальные параметры пара 30 МПа и 600 °С [12]. Мощность привода ПН составляет 22 МВт. Рассмотрены два варианта установки ГТД для привода ПН: первый предусматривает установку двух газотурбинных двигателей Siemens Mars 100MD суммарной номинальной мощностью 23,72 МВт, второй – один ГТД Simens Titan 250 мощностью 23,37 МВт. Температура их уходящих газов составляет соответственно 485 °С и 465 °С. Теплота уходящих газов ГТД используется в топке парового котла. Так как уходящие газы на выходе из ГТД имеют высокий коэффициент избытка воздуха, то при сбросе в топку котла они обеспечивают до 25 % уменьшение расхода воздуха, необходимого для сжигания топлива, при этом существенно будут разгружены дутьевые вентиляторы и сокращен расход электроэнергии на привод собственных нужд.

В результате расчета тепловой схемы получены следующие показатели экономичности энергоблока при использовании в качестве привода ГТД Mars 100 MD: КПД блока брутто – 51,86 %; КПД блока нетто – 46,09 %; удельный расход условного топлива по выработке электроэнергии – 260,2 г у.т./кВт·ч. При использовании Titan 250: КПД блока брутто – 52,05 %; КПД блока нетто – 46,26 %; удельный расход условного топлива по выработке электроэнергии – 259,33 г у.т./кВт·ч. По сравнению с паровым турбоприводом прирост КПД блока брутто составил 0,19 % для Mars 100 MD и 0,38 % для Titan 250, а прирост КПД блока нетто – соответственно 0,16 % и 0,34 %. Дополнительно генерируемая электрическая мощность на блоке составила 21,2 МВт.

Полученные результаты позволяют судить о том, что имеется достаточный выигрыш в повышении мощности и тепловой экономичности энергоблока, поэтому закономерна дальнейшая проработка данного вопроса на основе детального технико-экономического анализа.

#### Список литературы:

1. Маркушин А.Н., Бакланов А.В. Этапы модернизации камеры сгорания ГТД со ступенчатым подводом воздуха по длине жаровой трубы. // Вестник двигателестроения. – 2011, – №2, – С. 79–82.
2. Манушин Э.А. Газовые турбины: Проблемы и перспективы. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 168 с.
3. Горбов В.М., Чередниченко А.К. Анализ и перспективы использования отечественных газотурбинных двигателей в судовой энергетике. // Авиационно-космическая техника и технология, – 2008, – №8 (55), – С. 103–107.
4. Галашов Н.Н. Эффективность использования газотурбинных двигателей для привода механизмов собственных нужд ТЭС. // Электрические станции. – 2013, – №2, – С. 32–35.
5. Галашов Н.Н. Эффективность замены парового турбопривода механизмов собственных нужд энергоблоков ТЭС газотурбинным приводом. // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Том 321. – № 4. – С. 7–10.
6. N. N. Galashov. Efficiency of Gas Turbine Engines for Drive of Mechanisms for In-House Needs of Thermal Power Plants1,2. Power Technology and Engineering. October 2013.
7. Цибульский С.А. Газификация углей для теплоэнергетических установок ТЭС. // Сборник трудов XIX Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Современные техника и технологии», – 2013, – т.3, – С. 265–266.
8. Ковецкий В.М., Ковецкая Ю.Ю. Газотурбинные двигатели в энергетике: достижения, особенности, возможности. // Системні дослідження та комплексні проблеми енергетики. – 2008, – №17, – С. 24–30.
9. Галашов Н.Н., Цибульский С.А. Анализ влияния основных параметров паротурбинного цикла на эффективность тринарных парогазовых установок // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Том 323. – № 4. – С. 14–21.
10. Бикбов Т.К., Галашов Н.Н. Модернизация схемы блока К-300-23,5 путем замены парового турбопривода питательных насосов газотурбинным двигателем. // Теплофизические основы энергетических технологий. Сборник научных трудов III Всероссийской научно-практической конференции / под ред. Г.В. Кузнецова, А.С. Заворина, К.В. Бувакова; – С-Петербург: Изд-во Экспресс; – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, – 2012. – С. 172 – 175.



11. Калгин Д.Е., Галашов Н.Н. Анализ замены парового привода питательных насосов блока К-500-24 газотурбинным двигателем. // Труды XVI Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Современные техника и технологии». – Томск: Изд-во Томского политехнического университета. – 2012. – Т2, – С. 185–186.
12. Тумановский А.Г., Алтухов М.Ю., Шварц А.Л. Разработка пылеугольного энергоблока на суперкритические параметры пара мощностью 660 МВт. // Электрические станции. – 2010, – №1, – С.18–27.

#### Анализ показателей энергетической эффективности компрессорной станции

*Шарафиева А.Н., Ахметов Э.А.*

*Казанский Государственный Энергетический Университет, Россия, г. Казань*

[marvellous\\_als@mail.ru](mailto:marvellous_als@mail.ru)

Одними из основных критериев функционирования компрессорных станций, цехов, ЛПУМГ и Общества в целом являются показатели энергетической эффективности.

В соответствии с нормативными документами, показатели энергоэффективности разделяются на системные показатели, определяемые для ЛПУМГ и Общества в целом, и локальные, определяемые для компрессорных цехов и отдельных ГПА.

Было рассмотрено Шеморданское линейное производственное управление магистральных газопроводов. ШЛПУ МГ держит под своим контролем восемь ниток магистральных газопроводов. Восемь газокомпрессорных цехов перекачивают по магистралям ежегодно миллиарды кубометров газа, в том числе и зарубежным потребителям.

Шеморданское ЛПУМГ состоит из семи цехов, включающих компрессорные станции магистральных газопроводов Уренгой – Центр I, Уренгой – Центр II, Уренгой – Ужгород, Ямбург – западная граница (Прогресс), Ямбург – Елец I, Ямбург – Елец II, ГПС-4.

Каждый цех содержит в своем составе от трех до шести различных типов газоперекачивающих агрегатов (ГПА).

Системным показателем энергоэффективности по газу для рассматриваемой организации является удельный расход газа собственных нужд на единицу товаротранспортной работы (мЗ/млн.мЗ·км). Этот показатель рассчитывается по данным расхода газа на собственные технологические нужды организации и по величине товаротранспортной работы.

Товаротранспортная работа характеризует объем производства газопровода (газопроводов) и представляет собой условную работу по перемещению единицы объема транспортируемого газа на единицу длины участка газопровода (газопроводов). Наиболее оптимальные показатели работы достигаются в зимний период, когда увеличивается газотранспортная работа.

Недостатком показателя товаротранспортной работы, является то, что при его расчете не учитываются режимы работы производственных управлений Общества, а учитывается лишь общий режим работы всей газотранспортной системы магистральных газопроводов. Таким образом, указанный системный показатель энергетической эффективности (расход газа собственных нужд, приведенный к объему товаротранспортной работы) не в полной мере отражает эффективность работы предприятий.

Так как в компрессорных цехах кроме расхода газа на СТН имеется расход электрической энергии то, для анализа системных показателей энергетической эффективности рекомендуется использовать удельный показатель эффективности расхода ТЭР на собственные технологические нужды, кг у.т. /млн. мЗ. Наиболее оптимальные значения удельных показателей эффективности расхода ТЭР на собственные технологические нужды достигаются в холодный период года (в I и IV квартале), когда возрастает товаротранспортная работа Объединения в целом.

Локальным показателем энергоэффективности работы компрессорных станций (компрессорных цехов) является удельный расход топливно-энергетических ресурсов на собственные технологические нужды. Удельный расход ТЭР на СТН КС (КЦ) вычисляют по формуле 1:

$$E_{тэр}^{кс} = \frac{B_{тэр}^{кс}}{L_{кс}}, \quad (1)$$

где  $B_{тэп}^{кк}$  – суммарный расход ТЭР КС за расчетный период времени, т.у.т.;  
 $L_{кк}$  – политропная работа сжатия КС за расчетный период времени, тыс. кВт·ч.  
 Суммарный расход ТЭР КС вычисляют по формуле 2:

$$B_{тэп}^{кк} = k_2 \cdot Q_{стн}^{кк} + k_3 \cdot W_{стн}^{кк}, \quad (2)$$

где  $Q_{стн}^{кк}$  – объем природного газа, расходуемого на СТН КС за расчетный период времени, тыс.м<sup>3</sup>;  $W_{стн}^{кк}$  – расход электроэнергии на СТН КС за расчетный период времени, тыс. кВт·ч.

Объем природного газа, расходуемый на СТН КС, вычисляют по формуле 3:

$$Q_{стн}^{кк} = Q_{тг}^{кк} + Q_{нтн}^{кк} + Q_{тп}^{кк}, \quad (3)$$

где  $Q_{тг}^{кк}$  – объем топливного газа КС за расчетный период, тыс.м<sup>3</sup>;  $Q_{нтн}^{кк}$  – объем газа, расходуемый на прочие технологические нужды КС за расчетный период, тыс.м<sup>3</sup>;  $Q_{тп}^{кк}$  – объем технологических потерь газа КС за расчетный период, тыс.м<sup>3</sup>.

Топливный газ КС вычисляют по формуле 4:

$$Q_{тг}^{кк} = \sum_{i=1}^{S_1} Q_{тг_i}^{кк}, \quad (4)$$

где  $S_1$  – количество КЦ с газотурбинным приводом.

Объем газа на прочие технологические нужды КС вычисляют по формуле 5:

$$Q_{нтн}^{кк} = \sum_{i=1}^S (Q_{нтн_i}^{кк} + Q_{эсн_i} + Q_{к_i} + Q_{СОГ_i}), \quad (5)$$

где  $Q_{эсн_i}$  – объем газа на выработку электроэнергии i-той ЭСН за расчетный период, тыс. м<sup>3</sup>, его измеряют;  $Q_{к_i}$  – объем за расчетный период газа на выработку тепла котельной i-той за расчетный период, тыс. м<sup>3</sup>, его измеряют;  $Q_{СОГ_i}$  – объем газа на работу i-той СОГ за расчетный период, тыс. м<sup>3</sup>, его измеряют;  $S$  – количество КЦ.

Технологические потери КС вычисляют по формуле 6:

$$Q_{тп}^{кк} = \sum_{i=1}^S Q_{тп_i}^{кк}, \quad (6)$$

где  $Q_{тп_i}^{кк}$  – технологические потери газа i-го КЦ, тыс.

Динамика производства политропной работы сжатия каждым компрессорным цехом организации в рассмотренный период представлена в таблице 1:

Динамика производства политропной работы сжатия компрессорными цехами организации в течении наблюдений испытывала некоторую неравномерность. В летний период наблюдался спад в производстве политропной работы, что объясняется режимом работы всей газотранспортной системы в целом.

Также важным критерием функционирования компрессорных станций на базе газотурбинных двигателей является такой показатель, как коэффициент полезного действия (КПД) газотурбинной установки.

Для существенного повышения КПД газотурбинной установки на базе авиационных ГТД существуют два основных пути:

- а) повышение температуры газа перед турбиной;
- б) снижение температуры выхлопных газов;

Таблица 1. Производство политропной работы сжатия компрессорными цехами организации

ЛПУ	№ КЦ	Тип ГПА	Тип нагнетателя	Установленная мощность	Политропная работа, тыс. кВт*час			
					1 кв 2010	2 кв 2010	3 кв 2010	4 кв 2010
Шеморданское ЛПУМГ	КЦ 1	ГПА-16 МЖ59.02	650-23-1	48000	38745	19047	27476	38967
	КЦ 2	ГПА-16 МЖ59.02	235-28-1	96000	47076	43025	41094	56046
	КЦ 3	ГТК-25ИР	PCL804-2/36	75000	61768	55079	42295	58607
	КЦ 4	ГТНР-25И	PCL804-2/36/B	75000	47186	41083	63485	63983
	КЦ 5	ГТНР-25И	PCL804-2/36/B	75000	67157	37924	236	64333
	КЦ 6	ГПА-25/76	ЦН650-21-2	75000	59439	17175	23105	23514
	КЦ 7	ГПА-Ц6,3	Н196-1,45	31500	0	0	0	18591,3

Добиться повышения значений газа перед турбиной в уже изготовленных ГТД практически невозможно. Снижения температуры выхлопных газов можно добиться, хотя и со значительными переделками и, следовательно, со значительными дополнительными затратами. Основной путь в этом направлении – установка регенератора, который служит для утилизации теплоты отходящих газов теплотехнических устройств.

#### Список литературы:

1. Отчёт по НИР: Создание информационной базы и разработка рекомендаций по использованию газотурбинных установок производства КМПО для городов Альметьевск, Зеленодольск, Елабуга. Казань, КГЭУ, 2006.
2. С. В. Цанев, В. Д. Буров, А. Н. Ремезов. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций. Изд. МЭИ., 580с., 2009 г.
3. Методика оценки энергоэффективности газотранспортных объектов и систем. – М.: ООО «ИРЦ Газпром», 2007. – 54 с.

#### Влияние порошков железа, титана, бора на энергетические характеристики зажигания высокоэнергетических композиций

*Архипов В.А.\*, Коротких А.Г., Янковский С.А.*

*\*НИИ прикладной математики и механики Томского государственного университета, Россия, г. Томск*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск*  
[jankovsky@tpu.ru](mailto:jankovsky@tpu.ru)

Применение порошка металлов (как правило, алюминия) в качестве горючего в высокоэнергетических композициях (ВЭК) является наиболее энергоэффективным методом позволяющим увеличить температуру, скорость горения смесевых твердых топлив в камере сгорания, удельный импульс тяги двигательных установок [1–5]. Перспективными металлическими горючими считаются смеси порошков алюминия разной дисперсности, а также порошков алюминия с порошками других металлов и их сплавов. Один из известных способов регулирования скорости горения ВЭК – замена штатных микроразмерных порошков алюминия (АСД, Россия) на ультрадисперсный порошок (УДП), например марки (Alex), полученный электровзрывным методом в аргоне или азоте [6].

Анализ результатов исследования [7–9] показал, что основная роль добавок УДП железа и меди заключается в ускорении процессов термического разложения окислителя в прогревом слое

ВЭК. Порошки железа, титана, меди, которые используются для получения интерметаллических соединений, при нагревании с алюминиевой пудрой, реагируют с относительно высоким экзотермическим эффектом [8]. Косвенным подтверждением этого является снижение температуры поверхности пластины, при одинаковых значениях времени задержки зажигания образца при введении в состав ВЭК добавок данных металлических порошков [10]. Кроме того, добавка порошка бора в состав ВЭК [11] позволяет снизить агломерацию алюминиевых частиц на поверхности реакционного слоя и увеличить скорость горения образцов ВЭК.

В работе представлены характеристики процесса зажигания исследуемых составов ВЭК на основе перхлората аммония, бутадиенового каучука и УДП алюминия (Alex) содержащих добавки порошка титана, бора и железа в количестве 2 мас. %. В результате проведенного исследования определены следующие параметры: критические условия воспламенения, тепловой поток, время задержки зажигания и температура поверхности реакционного слоя ВЭК.

При экспериментальном исследовании процессов зажигания ВЭК, содержащих порошок титана, бора и железа, использовали базовый состав твердого топлива на основе на перхлората аммония (ПХА) дисперсностью 160–315 мкм, инертного горючего-связующего – бутадиенового каучука марки СКДМ-80 и УДП алюминия Alex. Составы исследуемых ВЭК представлены в табл. 1.

Таблица 1. Исследуемые образцы ВЭК

№ образца	Содержание компонентов, масс. %					
	ПХА	СКДМ-80	Alex	Ti	B	Fe
1	64.6	19.7	15.7	–	–	–
2	64.6	19.7	13.7	2.0	–	–
3	64.6	19.7	13.7	–	2.0	–
4	64.6	19.7	13.7	–	–	2.0

Образцы ВЭК цилиндрической формы диаметром 10 и высотой 30 мм изготавливали методом механического перемешивания исходных компонентов с последующим проходным прессованием под давлением ~215 МПа и вулканизацией. Плотность отвержденных ВЭК в зависимости от их компонентного состава составляла 1.58–1.61 г/см<sup>3</sup>. При проведении дублирующих опытов для одинаковых составов разброс плотности образцов не превышал 0.02 г/см<sup>3</sup>. Непосредственно перед опытом облучаемую поверхность образца получали путем среза ножом микротомом. Высота исследуемого образца составляла 5 мм. При этом торцевая поверхность была ровной без углублений и выступов.

Зажигание образцов ВЭК осуществлялось с помощью установки на основе одномодового СО<sub>2</sub>-лазера непрерывного действия с длиной волны излучения 10.6 мкм и максимальной мощностью 100 Вт [12]. Время задержки зажигания определяли по сигналам двух фотодиодов, один из которых при открытии затвора включал развертку запоминающего осциллографа Owon PDS 5022 S, второй регистрировал появление пламени образца ВЭК. Относительная погрешность измерений времени задержки зажигания ВЭК при величине доверительной вероятности 0.95 составляла 5–13 %. Мощность лазерного излучения, падающего на образец ВЭК, измерялась измерителем средней мощности излучения марки ИМО-2, с основной приведенной погрешностью 5 %. Измерение температурного поля на поверхности реакционного слоя исследуемых составов ГКС проводили с помощью тепловизора марки Jade J 530 SB с цифровой записью на персональном компьютере. Основная приведенная погрешность измерения температуры поверхности реакционного слоя при частоте кадров 50 Гц составляла не более 10 %. Коэффициент излучения поверхности исследуемых образцов ВЭК, измеренный на шаровом фотометре ФМШ-56М, равен 0.9 и принимался постоянным при лучистом нагреве.

Получены времена задержки зажигания и распределения температуры на поверхности реакционного слоя исследуемых составов ВЭК в зависимости от плотности потока излучения.

Результаты измерения времени задержки зажигания исследуемых образцов ВЭК осредненных по 3–5 дублирующих экспериментов для каждой плотности потока излучения, представлены в табл. 2.

Анализ результатов исследования закономерностей зажигания составов ВЭК, показал, что частичная замена УДП алюминия Alex на порошок железа и бора в базовом образце 1 приводит к снижению времени задержки зажигания в 1.3–1.5 раз в диапазоне плотности потока излучения 58–85 Вт/см<sup>2</sup>, за счет каталитического эффекта термического разложения перхлората аммония при

температурах прогретого слоя до 380 °С и увеличения температурного градиента в реакционном слое ВЭК при лучистом нагреве.

Таблица 2. Время задержки зажигания и эффективность добавки порошка металлов на задержку зажигания ВЭК

q, Вт/см <sup>2</sup>	t <sub>ign</sub> образца 1, мс	Значение $K_{ign} = t_{ign1} / t_{ign2,3,4}$		
		Ti (образец 2)	B (образец 3)	Fe (образец 4)
14	550 ± 26	1.0	0.7	1.5
58	59 ± 7	0.9	1.3	1.3
85	3.0 ± 0.4	0.6	1.5	1.5

При низких значениях плотности потока излучения q = 14 Вт/см<sup>2</sup> частичная замена УДП алюминия Alex на порошок аморфного бора в базовом составе 1, приводит к увеличению времени задержки зажигания на 450 мс. Частичная замена УДП алюминия Alex на порошок титана приводит, к увеличению времени задержки зажигания в 1.1 раза, при q = 58 Вт/см<sup>2</sup> и в 1.7 раза при q = 85 Вт/см<sup>2</sup>, за счет увеличения времени прогрева тугоплавких микроразмерных частиц титана и эффективной теплопроводности образца 2 ВЭК.

Результаты измерения осредненной температуры по поверхности реакционного слоя ВЭК тепловизором при постоянной плотности потока излучения q = 33 Вт/см<sup>2</sup> показали, что частичная замена УДП алюминия Alex в базовом составе 1 ВЭК порошком титана, бора и железа приводит к увеличению температуры поверхности образца в момент появления пламени на ~ 40, 200 и 130 °С соответственно (табл. 3). При увеличении плотности потока излучения до q = 79 Вт/см<sup>2</sup> температура поверхности реакционного слоя базового состава 1 ВЭК с УДП алюминия Alex увеличивается ~130 °С и состава 4 ВЭК с УДП Alex и железа – на 230 °С.

Таблица 3. Температура поверхности реакционного слоя ВЭК

q, Вт/см <sup>2</sup>	Температура поверхности реакционного слоя T <sub>ign</sub> , °С			
	Alex (образец 1)	Ti (образец 2)	B (образец 3)	Fe (образец 4)
33	590 ± 50	630 ± 20	790 ± 80	720 ± 70
79	720 ± 80	–	770 ± 90	950 ± 110

Таким образом, установлено, что частичная замена УДП алюминия Alex порошком титана в количестве 2 масс % в составе ВЭК, приводит к увеличению времени задержки зажигания базового состава ВЭК на основе ПХА и бутадиенового каучука СКДМ-80 при лучистом подводе тепла за счет увеличения времени прогрева, температуры плавления и начала окисления микроразмерных частиц титана, а также уменьшения интенсивности тепловыделения в конденсированной фазе и на поверхности реакционного слоя ВЭК. Частичная замена УДП алюминия Alex порошком бора или железа в составе ВЭК приводит к уменьшению времени задержки зажигания в 1.3–1.5 раза при одинаковых условиях лучистого нагрева за счет увеличения интенсивности тепловыделения на поверхности реакционного слоя образца ВЭК, дополнительного экзотермического эффекта смеси Al+Fe и увеличения скорости окисления, разрушения оксидного слоя наночастиц алюминия при взаимодействии с бором. Косвенным подтверждением этого является увеличение температуры поверхности реакционного слоя базового образца ВЭК на 130–200 °С при добавке порошка бора или железа.

#### Список литературы:

1. Похил П.Ф., Беляев А.Ф., Фролов Ю.В., Логачев В.С., Коротков А.И. Горение порошкообразных металлов в активных средах. – М.: Наука, 1972. – 294 с.
2. Mench M.M., Kuo K.K., Yeb C.L., and Lu Y.C. Comparison of thermal behavior of regular and ultra-fine aluminum powders (Alex) made from plasma explosion process // Combustion Science and Technology. 1998. V. 135. P. 269–292.
3. Ivanov Y.F., Osmonoliev M.N., Sedoi V.S., Arkhipov V.A., Bondarchuk S.S., Vorozhtsov A.B., Korotkikh A.G., Kuznetsov V.T. Productions of ultra-fine powders and their use in high energetic compositions // Propellants, Explosives, Pyrotechnics. 2003. V. 28. P. 319–333.
4. De Luca L.T., Galfetti L., Severini F., Meda L., Marra G., Vorozhtsov A.B., Sedoi V.S., Babuk V.A. Burning of nano-aluminized composite rocket propellants // Combustion, Explosion and Shock Waves. 2005. V. 41. P. 680–692.

5. Попенко Е.М., Громов А.А., Шамина Ю.Ю., Ильин А.П., Сергиенко А.В., Попок Н.И. Влияние добавок сверхтонких порошков алюминия на реологические свойства и скорость горения энергетических конденсированных систем // Физика горения и взрыва. 2007. Т. 43, № 1. С. 54–59.
6. Архипов В.А., Бондарчук С.С., Коротких А.Г., Лернер М.И. Технология получения и дисперсные характеристики нанопорошков алюминия // Горный журнал. 2006. № 4. С. 58–65.
7. Atwood A.I., Ford K.P., Bui D.T., Curran P.O. and Lyle T. Radiant ignition studies of ammonium perchlorate based propellants, Progress in Propulsion Physics. Edited by L. DeLuca, C. Bonnal, O. Haidn, and S. Frolov, TORUS PRESS, Moscow, 2009. P. 121–140.
8. Комарова М.В., Комаров В.Ф., Вакутин А.Г., Яценко А.В. Влияние наноразмерных биметаллических частиц на характеристики горения смесового топлива // Ползуновский Вестник. 2010. № 4. С. 112–116.
9. Архипов В.А., Коротких А.Г., Кузнецов В.Т., Синогина Е.С. Влияние дисперсности порошков металлов на характеристики кондуктивного и лучистого зажигания смесевых композиций // Химическая физика. 2007. Т. 26, № 6. С. 58–67.
10. Архипов В.А., Коротких А.Г., Громов А.А., Кузнецов В.Т., Пестерев А.В., Евсеенко И.А. Влияние каталитических добавок порошков металлов на зажигание высокоэнергетических материалов // Известия вузов. Физика. 2011. Т. 54, № 11/3. С. 299–306.
11. Simonenko V.N., Zarko V.E., Kiskin A.B., Sedoi V.S., Birukov Yu. A. Effect of Alex and Boron Additives on Ignition and Combustion of Al-KNO<sub>3</sub> Mixture, Energetic Materials: Production, Processing and Characterization of the 32<sup>nd</sup> International Annual Conference of ICT, Karlsruhe, Germany, 2001. P. 122-1–122-12.
12. Arkhipov V.A., Korotkikh A.G. The influence of aluminum powder dispersity on composite solid propellants ignitability by laser radiation// Combustion and Flame. 2012. Iss. 159. P. 409–415.

#### Позиционный асинхронный электропривод

*Алеко М. Н., Карачев В. С.*

*Новосибирский государственный технический университет, Россия, г. Новосибирск  
[amn92@mail.ru](mailto:amn92@mail.ru)*

Энергосбережение – рациональное использование электрической энергии – стало в последние годы одним из приоритетных направлений технической политики во всех развитых странах мира. Это обусловлено не только ростом потребления электроэнергии в промышленности и в быту и связанной с ним необходимостью строительства и ввода в эксплуатацию новых энергетических мощностей, но и ограниченностью запасов природных ресурсов [1].

В течение длительного времени в СССР отпускная цена на энергоносители была довольно низкой, что не стимулировало оптимизацию энергопотребления. Последовавший за этим рост стоимости энергоносителей привел к тому, что энергетическая составляющая в себестоимости готовой продукции на предприятиях достигала 20-60 %. На себестоимость продукции также влияет тот факт, что среднее энергопотребление на единицу валового национального продукта в России в 2-3 раза превышает соответствующие показатели передовых стран мира. Поэтому чрезвычайную актуальность приобретает разработка мер, направленных на оптимальное использование энергетических ресурсов.

Широкое внедрение регулируемых электроприводов во всех областях промышленности является одним из способов снижения потребления электрической энергии, ведь, как известно, любой регулируемый ЭП позволяет экономить этот ресурс. Это касается и позиционных электроприводов. Они находят применение в металлообрабатывающих станках и промышленных роботах, в запорно-регулирующей арматуре нефте- и газотрубопроводов, в качестве приводов нажимных винтов прокатных станов, в различных измерительных установках и технологическом оборудовании [2]. К тому же, кроме экономии электроэнергии позиционные ЭП позволяют решать ряд сложностей.

В частности, развитие технологии металлообработки резанием происходит настолько быстрыми темпами, что в связи с этим можно столкнуться с рядом проблем. Зачастую объем выпускаемой на предприятии продукции достигает очень больших масштабов, и человек просто не в состоянии производить такой объем работ на обычных металлообрабатывающих станках. К тому же сложность в производстве продукции может быть настолько высока, что человек также не

способен справиться с поставленной перед ним задачей. Точность обработки материала, обеспечиваемая людьми, не всегда удовлетворяет требованиям, предъявляемым к деталям. В этих случаях на смену станкам с ручным управлением приходят станки с ЧПУ и позиционными электроприводами, которые могут производить обработку металла, в том числе и очень сложную, без вмешательства человека в более высоком темпе и с более высокой степенью точности.

В нефтяной и газовой промышленности использование позиционных электроприводов также имеет большое значение. Кроме очевидного преимущества регулируемого электропривода перед нерегулируемым и существенной экономии энергии в процессе эксплуатации, позиционный ЭП позволяет экономить электроэнергию, необходимую для комфортного проживания людей, ведь часто месторождения нефти и газа находятся за полярным кругом, в условиях очень низких температур.

В качестве преобразователя энергии в проводимой разработке использован асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором, так как он обладает рядом преимуществ, таких как надежность, прочность, высокая производительность, хорошие энергетические показатели, невысокая стоимость и низкая потребность в обслуживании.

Проводимая работа направлена на улучшение точности позиционирования, что, несомненно, ведет к экономии ресурсов, в частности, электрической энергии.

#### Список литературы:

1. Панкратов В.В., Зима Е.А. Энергооптимальное векторное управление асинхронными электроприводами: Учеб. пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2005. – 120 с.
2. Панкратов В.В. Автоматическое управление электроприводами. Часть I. Регулирование координат электроприводов постоянного тока: учеб. пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2013. – 215 с.
3. Зусман В.Г. Автоматизация позиционных электроприводов / В. Г. Зусман, А. М. Мейстель, Ю. И. Херсонский. – М: «Энергия», 1970. – 120 с.

#### Перспективы возобновляемой энергетики в Красноярском крае

*Амузаде А.С., Коваленко И.В.*

*Сибирский федеральный университет, Россия, г. Красноярск  
amuzas@yandex.ru*

Существующие энергодефицитные территории России могут обеспечиваться энергией от децентрализованных систем электроснабжения малой и средней мощности (до 10 МВт). В работе [1] показано, что современные центральные электрические сети для удаленных энергодефицитных территорий характеризуются удельной стоимостью капитальных вложений около 300 тыс. руб/кВт, значительно превышающей удельные капитальные вложения в ветроэнергетические установки (ВЭУ, примерно 60 тыс. руб/кВт).

Поскольку энергия ветра характеризуется непостоянством во времени, для снижения суммарной емкости накопителей энергии в безветренные периоды было принято решение рассмотреть выработку энергии отдельно для ветроэнергетических и фотоэлектрических установок, проанализировав возможность совместной генерации от ветра и Солнца (рис. 1).

Для Красноярска и Железногорска были проведены расчеты с месячной выработкой энергии с ВЭУ и ФЭУ, результаты представлены в виде рисунков 1 и 2. Как видно из приведенных рисунков, расположение оси вращения ВЭУ на высоте минимум 50 м, позволяет получать от одного из источников энергии не менее 0,3 кВт·ч/м<sup>2</sup>/сут в любой месяц года. Полученное значение для Красноярска позволяет оценить соотношение площади ФЭУ и ВЭУ как 0,5 и 0,5 (соответственно,  $m$  и  $n$ , о.е.; при этом  $m+n=1$ ), и получить площадь установки  $S$ , м<sup>2</sup>(ВЭУ и ФЭУ), зная требуемое среднесуточное потребление электроэнергии.

На примере ряда городов Красноярского края было проведено моделирование среднегодовой генерации электроэнергии от энергии Солнца и ветра (табл. 1). Полученные данные позволяют оценить минимальное значение удельной выработки электроэнергии для большинства населенных пунктов от любого из источников энергии на уровне не менее 0,2 кВт·ч/м<sup>2</sup>/сут, кроме северных территорий (г. Норильск и Дудинка), где оптимально применение лишь ВЭУ.

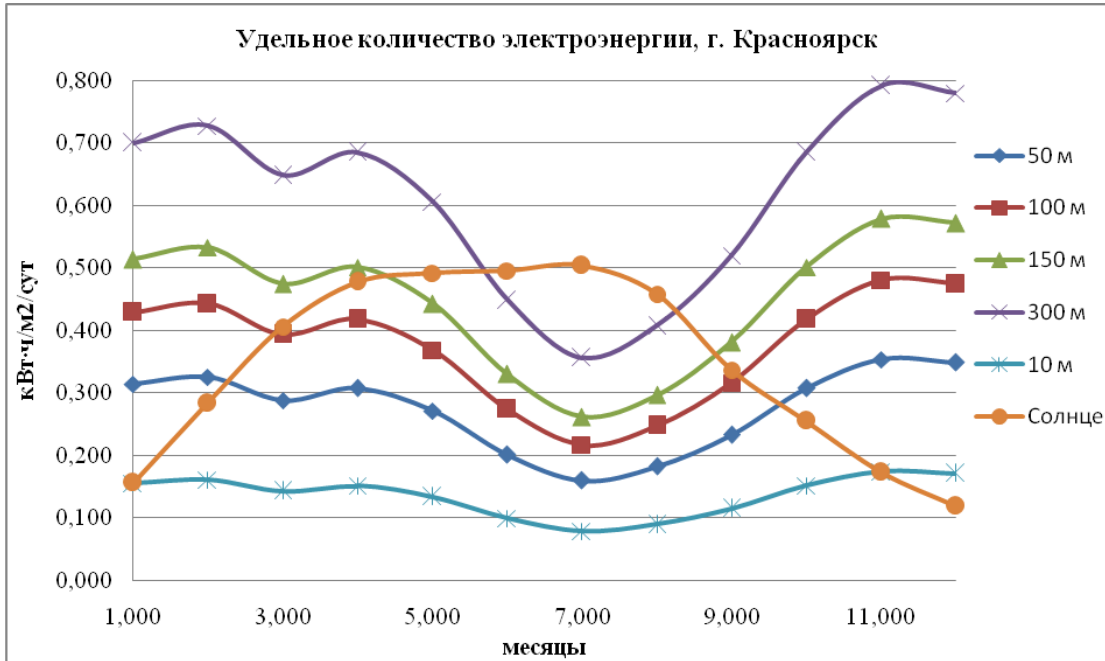


Рис. 1. Помесячная удельная выработка электроэнергии для ФЭУ и разных высот расположения ВЭУ, г. Красноярск

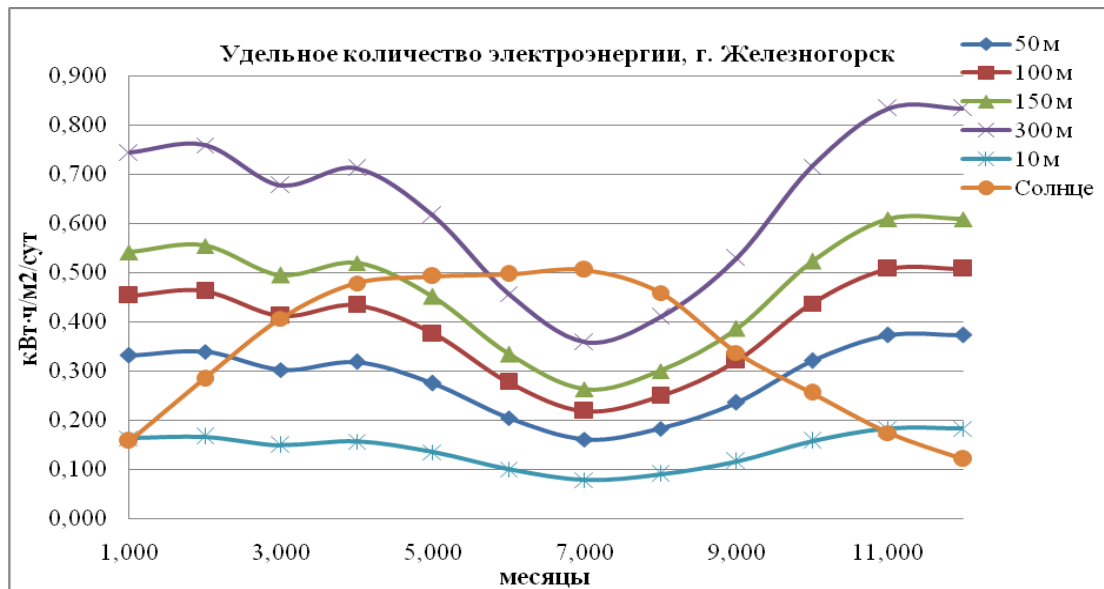


Рис.2. Помесячная удельная выработка электроэнергии для ФЭУ и разных высот расположения ВЭУ, г. Железногорск



Таблица 1. Удельная среднегодовая выработка энергии на ВЭУ и ФЭУ

Название населенного пункта	ВЭУ			ФЭУ		
	Среднегодовая скорость ветра на высоте 50м, м/с	$P_{удВ},$ Вт/м <sup>2</sup>	$W_{удВЭУ},$ кВт·ч/м <sup>2</sup> /сут	Наклон , °	$P_{удС},$ кВт/м <sup>2</sup> /сут	$W_{удФЭУ},$ кВт·ч/м <sup>2</sup> /сут
г. Ачинск	4,02	11,4	0,274	56	3,45	0,345
г. Боготол	4,03	11,49	0,276	56	3,46	0,346
г. Бородино	4,11	12,18	0,292	55	3,54	0,354
г. Дивногорск	4,01	11,32	0,272	55	3,52	0,352
г. Дудинка	5,23	25,11	0,603	69	н/д	н/д
г. Енисейск	3,98	11,06	0,266	58	3,34	0,334
г. Зеленогорск	4,08	11,92	0,286	56	3,48	0,348
г. Иланский	4,15	12,54	0,301	56	3,53	0,353
г. Канск	4,12	12,27	0,295	56	3,39	0,339
г. Кодинск	3,82	9,78	0,235	58	3,46	0,346
г. Лесосибирск	3,98	11,06	0,266	58	3,34	0,334
г. Минусинск	4,1	12,1	0,29	53	3,73	0,373
г. Назарово	4,02	11,4	0,274	56	3,45	0,345
г. Норильск	5,39	27,48	0,66	69	н/д	н/д
г. Сосновоборск	4,04	11,57	0,278	56	3,48	0,348
г. Ужур	4,1	12,1	0,29	55	3,49	0,349
г. Шарыпово	4,1	12,1	0,29	55	3,49	0,349
п. Берёзовка	4,04	11,57	0,278	56	3,48	0,348
п. Курагино	4,01	11,32	0,272	53	3,69	0,369
п. Шушенское	4,1	12,1	0,29	53	3,73	0,373

Представленные результаты позволяют оценить площадь ФЭУ и ВЭУ, исходя из среднесуточного потребления электроэнергии  $W_{потр},$  кВт·ч/сут, согласно формулам (1)-(4). При этом имеется возможность оценить количество вырабатываемой электроэнергии в зависимости от соотношения площади ФЭУ и ВЭУ (m и n).

#### Список литературы:

1. Рекомендации по развитию альтернативных источников энергии для сельских районов Республики Тыва. – Красноярск: WWF России, Oxfam-GB, Aenergy.ru, 2011 г. - 44 с.
2. <https://maps.google.ru/maps/ms?ie=UTF8&t=m&oe=UTF8&msa=0&msid=21316828335728294585.0004b8627a9645eef696f>

#### Экспериментальные исследования переходных процессов при коммутациях вакуумных выключателей 110 кВ.

**Базавлук А.А.**

ООО «Болид», Россия, г. Новосибирск

[nio\\_bolid@ngs.ru](mailto:nio_bolid@ngs.ru)

Вакуум является жесткой дугогасящей средой, что предполагает возможность обрыва дуги тока при высокой ее скорости перехода через нулевое значение и, вследствие этого, возникновение высокочастотных перенапряжений высокой кратности. Таким свойством в меньшей степени обладают элегазовая [1] и масляная дугогасящие среды.

Для защиты оборудования от коммутационных перенапряжений разработаны различные схемные решения с применением защитных аппаратов (разрядники, ОПН, RC-цепи и др.), способные эффективно защитить оборудование сети от перенапряжений [2-6].

По информации эксплуатирующих организаций, при установке вакуумных выключателей значительно повышается количество технологических нарушений, в первую очередь в схемах, где

в соответствии с технологическими режимами коммутации происходят очень часто [7]. Со стороны научной общественности факт возможности возникновения опасных перенапряжений при коммутациях вакуумными выключателями подтверждается множеством теоретических и практических исследований [4,5,6,8].

Таким образом можно сделать вывод о том, что в схемах, где происходят технологические нарушения, связанные с коммутациями вакуумных выключателей, защитные мероприятия либо разработаны не правильно, либо вообще отсутствуют. При проектировании защитных мероприятий для конкретной схемы должны быть учтены технические характеристики коммутационного аппарата [9]. Отсутствие грамотного подхода к выбору защитных мероприятий приводит к тому, что при использовании вакуумных выключателей с низкими техническими характеристиками при коммутациях возникают ВЧ перенапряжения.

В настоящее время в эксплуатации появились вакуумные выключатели на напряжение 110 кВ. Потребность в вакуумной коммутационной аппаратуре в классе 110 кВ и выше существует благодаря целому ряду преимуществ, в числе которых большой коммутационный ресурс, позволяющий использовать ВВ 110 кВ для управления технологическими режимами металлургических предприятий и широкий диапазон рабочих температур, вследствие которого эксплуатация вакуумных выключателей возможна в районах Крайнего Севера.

Существует очевидный дефицит в исследованиях переходных процессов при коммутациях вакуумных выключателей на 110 кВ. Отсутствуют нормативные документы с помощью которых можно грамотно осуществлять выбор вакуумных выключателей и средств защиты. Производители оборудования, которое потенциально может быть установлено в схеме коммутируемой вакуумными выключателями 110 кВ, ограничиваются общим требованием об обязательной установке защитного аппарата. Большинство компаний, производящих коммутационную технику отдают предпочтение в высоких классах напряжения элегазовым выключателям. Одной из причин, по которой вакуумные выключатели достаточно редко устанавливаются в высоких классах напряжения, является «недоверие» многих эксплуатирующих организаций к вакуумным выключателям, как к аппаратам, при коммутации которых возможно возникновение опасных перенапряжений. Существует всего 4 широко известные предприятия, выпускающие вакуумные выключатели высокого класса напряжения: Контакт (г. Саратов, Россия), Высоковольтный союз (г. Екатеринбург, Россия), Элвест (г. Екатеринбург, Россия), Joslin (США).

В Августе 2013 года ООО «БОЛИД» провело экспериментальные исследования переходных процессов при коммутациях печных трансформаторов вакуумными выключателями 110 кВ. Цель экспериментальных исследований: оценка переходных процессов при коммутациях вакуумными выключателями 110 кВ и проверка эффективности защитных мероприятий. В ходе экспериментальных исследований переходных процессов в сети ГПП-3 110 кВ ОАО «ЧЭМК» коммутировались отходящие от ячеек №7 и №12 линии (каждая длиной около 70 м), питающие сталеплавильную печь через печные трансформаторы ЭОДЦНКМ-27000/110-У1. Подача питания осуществляется с помощью вакуумных выключателей ВВЭЛ-110Б-31,5/1000, установленных непосредственно на ГПП. В начале линии установлены ОПН, соединенные по схеме «фаза-земля», в конце – ОПН, соединенные по схеме «фаза-фаза». В ячейке с выключателем на каждой фазе установлены защитные РС-цепи, которые в ряде опытов были отключены. Так же была выделена ячейка №8, в которой устанавливались высоковольтные делители напряжения, и которая на момент экспериментальных исследований была электрически связана с коммутируемой цепью через обходную систему шин (рис.1).

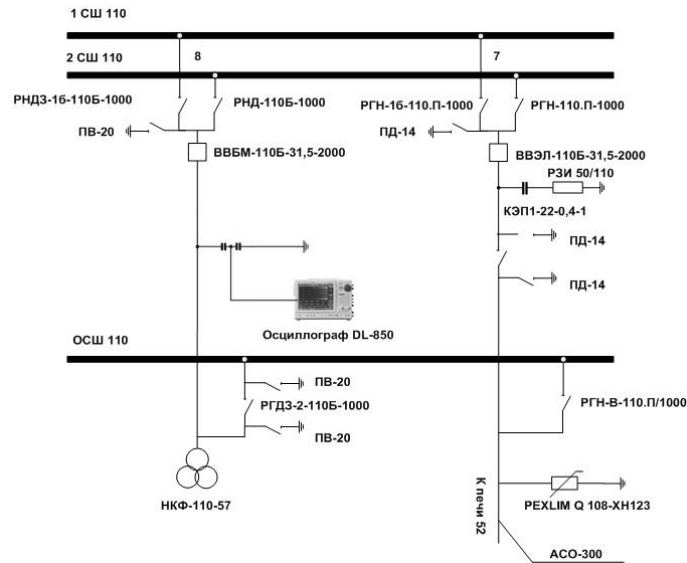


Рис.0 - Схема подключения измерительного оборудования для исследования переходных процессов при коммутациях печного трансформатора вакуумным выключателем 110 кВ.

На рис. 2 и 3 представлены осциллограммы переходных процессов при отключении. При регистрации переходные процессы при включении и отключении характеризуются соответственно наличием предварительных пробоев и повторных зажиганияй в каждом опыте.

Частоты переходных процессов и их амплитуда в осциллограммах опытов с RC-цепью значительно меньше, чем на осциллограммах переходных процессов в опытах, где RC-цепь отсутствовала. Количество повторных зажиганияй и предварительных пробоев при подключенных RC-цепях значительно меньше (от 1 до 9). При отсутствии RC-цепи количество предварительных пробоев при включении в среднем по фазам превышает 48...54, повторных зажиганияй превышает 52...84.

Ни в одном из опытов кратности перенапряжений не достигли уровня ограничения ОПН, установленных, как по схеме «фаза-фаза», так и по схеме «фаза-земля». При отключении максимальная кратность фазных перенапряжения в случае с RC-цепью достигала 1,13 о.е., без RC-цепи – 2,00 о.е. При включении выключателями схемы с RC-цепью фазных и междуфазных перенапряжений не зарегистрировано, без RC-цепи кратности фазных перенапряжений не превышали 1,72 о.е., междуфазных - не превышали 1,44 о.е. При отключении максимальная кратность междуфазных перенапряжения в случае с RC-цепью достигала 1,11 о.е., без RC-цепи – 2,04 о.е. Вместе с тем максимальная величина среза напряжения, воздействующего в виде высокочастотного импульса на обмотки трансформатора, подключенные по схеме «треугольник», достигала при включении без RC-цепи 189,9 кВ, с RC-цепью 53,5 кВ; при отключении без RC-цепи 281,5 кВ, с RC-цепью 77,8 кВ.

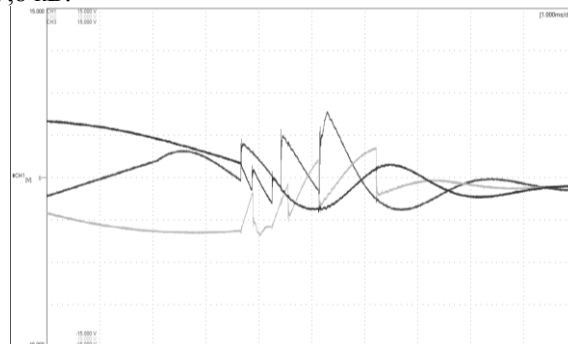


Рис. 2 - Характерная осциллограмма фазных напряжений на коммутируемом присоединении при отключении вакуумного выключателя ВВЭЛ-110Б-31,5/1000 (RC-цепь установлена, цена деления по оси ординат 70,5 кВ, по оси абсцисс 1 мс).

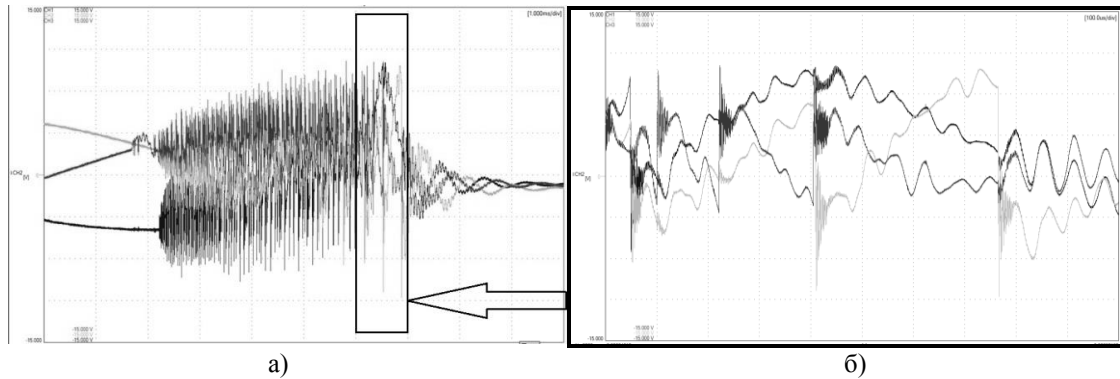


Рис. 3 - Характерные осциллограммы фазных напряжений на коммутируемом присоединении при отключении вакуумного выключателя ВВЭЛ-110Б-31,5/1000 (RC-цепь демонтирована, цена деления по оси ординат 70,5 кВ, по оси абсцисс: а - 1 мс, б - 0,1 мс).

Скорость изменения пробивного напряжения (СИПН) для вакуумных выключателей ВВЭЛ-110Б-31,5/1000 составляет в среднем по фазам 18,6...76,0 кВ/мс при включении и 18,8...60,2 кВ/мс при отключении. Повторные зажигания возникают даже при наличии RC-цепей, вследствие того, что при расчете RC-цепей за расчетное значение для СИПН при отключении принимали 240 кВ/мс, что в 4...12 раз превышает реальные значения. Продолжительность предварительных пробоев и повторных зажиганий соответственно при включении и отключении существенно меньше с RC-цепями (в среднем 1,60...2,51 мс при отключении, 1,09...1,75 мс при включении), чем без RC-цепей (в среднем 2,92...3,95 мс при отключении, 1,98...2,15 мс при включении).

Заключение:

1. Экспериментальные исследования показали техническую возможность измерения высокочастотных переходных процессов с помощью делителей напряжения в классе напряжения 110 кВ (результаты и описание подобных исследований проведенных ранее в литературе не освещались).

2. Зарегистрированные переходные процессы при включении и отключении печного трансформатора вакуумным выключателем 110 кВ сопровождаются соответственно предварительными пробоями и повторными зажиганиями при каждой коммутации.

3. ОПН не способны эффективно защитить витковую изоляцию трансформаторов от воздействия срезов напряжения.

4. Установка RC-цепи позволяет существенно изменить характеристики переходного процесса: повторные пробои сводятся к минимуму либо исключаются полностью, снижая тем самым амплитуду перенапряжений, количество и величину срезов напряжения.

5. Для расчета эффективной защиты коммутируемого оборудования от высокочастотных воздействий требуются достоверные данные о скорости изменения пробивного напряжения выключателя при отключении (в данной схеме RC-цепь не выполняют свою функцию в полной мере – при расчете была существенно завышена СИПН).

6. В классе напряжения 110 кВ продолжительность предварительных пробоев и повторных зажиганий соответственно при включении и отключении, как и частоты предварительных пробоев и повторных зажиганий, на порядок больше, чем в средних классах напряжения.

#### Список литературы:

1. Гуль А., «Сравнение коммутационных перенапряжений выключателей СН, основанное на испытаниях в лабораторных условиях и промышленных сетях», материалы V МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ "ВЫСОКОВОЛЬТНОЕ КОММУТАЦИОННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ", ТРАВЭК 2009, - Москва.
2. Кадомская, К.П. Электрооборудование высокого напряжения нового поколения. Основные характеристики и электромагнитные процессы -Учебник / Ю.А. Лавров, О.И. Лаптев. - Новосибирск: издательство НГТУ, 2008. -343 с.
3. Защита сетей 6-35 кВ от перенапряжений / Ф. Х. Халилов, Г. А. Евдокунин, В. С. Поляков и др. – СПб.: Энергоатомиздат. Санкт-Петербургское отд-ие, 2002. – 272 с.

4. Дегтярев И.Л. Диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук. Теоретическое и экспериментальное исследование процессов, сопровождающих коммутации вакуумными выключателями/ И.Л. Дегтярев. – Новосибирск: НГТУ, 2006.
5. Руководство по защите электрических сетей 6-1150 кВ от грозных и внутренних перенапряжений / Под научной редакцией Н.Н. Тиходеева. – 2 – ое издание. – Санкт – Петербург: ПЭИПК Минтопэнерго РФ, 1999. – 353 стр.
6. Качесов В.Е. Диссертация на соискание ученой степени доктора техн. наук. Однофазные повреждения в сетях среднего и высокого напряжения (теория, меры исследования и меры предотвращения повреждений)/ В.Е. Качесов. – Новосибирск: НГТУ, 2008.
7. Кудрявцев А.А. Исследование аварийности в сетях 6-10 кВ горно-металлургических предприятий.// Новости ЭлектроТехники. – 2009. – №6(60)
8. Евдокунин Г. А. Современная вакуумная коммутационная техника для сетей среднего напряжения / Г. Тиллер. – СПб.: издательство Сизова М.П., 2000. – 114с.
9. Лавров Ю.А. Кабели 6-35 кВ с пластмассовой изоляцией. Особенности проектирования и эксплуатации.//Новости ЭлектроТехники. – 2007. – №1(43)

#### Результаты обследования систем электроснабжения на основе ДЭС в децентрализованных районах

*Л.Л. Булыга, О.К. Муканов, Ю.А. Краснятов*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск*

[emailik88@mail.ru](mailto:emailik88@mail.ru)

Жизненно важной характеристикой энергетики в экстремальных природно-климатических условиях является надежность работы всех звеньев системы топливо - и энергообеспечения. В зависимости от этого находится не только эффективность функционирования отраслей народного хозяйства, но и здоровье, и жизнь людей. В условиях отсутствия электроэнергии становится невозможным эффективное использование труда и создание надежной системы жизнеобеспечения человека. В России насчитывается около 12,8 млн. человек, проживающих в областях, для энергоснабжения которых используются дизельные или бензиновые электростанции, привозной керосин или газ в баллонах, древесное топливо, а часть сезонных потребителей вообще не имеют современных средств энергоснабжения. Для жизнеобеспечения населения в эти районы ежегодно завозят около 7 млн. т нефтепродуктов и свыше 23 млн. т угля.

Сибирский регион является примером энергоснабжения удаленных потребителей. На формирование, развитие и функционирование энергетических объектов в децентрализованных районах области существенное влияние оказывают следующие особенности территории:

- малоосвоенность территории, преобладание малых и средних населенных пунктов;
- обширность территории, вызывающая повышенные затраты на транспортировку электроэнергии, что в сочетании с низкой плотностью электрических нагрузок определяет повышенные затраты на централизованное электроснабжение;
- базирование энергетики отдаленных районов на дальнепривозном жидком топливе; сложность, трудоемкость и сезонность доставки топлива (авиа, речным, и автомобильным видам транспорта), что приводит к росту удельного веса топливной составляющей в эксплуатационных затратах на производство электроэнергии.

Отмеченные региональные особенности определяют условия энергообеспечения децентрализованных районов области, которым присущи следующие черты:

- незначительный уровень электропотребления, что исключает «повсеместное» создание крупных систем электроснабжения;
- низкий технический уровень энергетического хозяйства, характеризующийся высокой степенью морального и физического износа оборудования;
- низкие экономические характеристики автономных энергоисточников (сверхнормативный удельный расход топлива на производство энергии, завышенная стоимость производимой электроэнергии);
- низкий уровень надежности обеспечения потребителей электроэнергией.

Таким образом, оптимизация систем энергообеспечения децентрализованных районов с повышенными требованиями к надежности работы источников энергии и транспорта, является весьма актуальной задачей. Очевидным путем повышения энергоэффективности систем

электроснабжения таких зон является максимальное использование альтернативных и местных энергоресурсов, реализация которого невозможна без комплексного анализа альтернативных вариантов развития энергетики с оценкой их технико-экономической эффективности.

По сообщению О.С.Попеля и В.С.Туманована вопросы о необходимости развития ВИЭ в России и наличии ресурсов ответ был дан еще в 1994 году. [1] В тот период большая группа ученых и специалистов по заданию Министра топлива и энергетики Ю.К. Шафраника разработала «Концепцию развития и использования возможностей малой и нетрадиционной энергетики в энергетическом балансе России», утвержденную Коллегией Министерства 3 ноября 1994 г.

Формулировки «Концепции» к 2002 году были уточнены. Жизнь подтвердила правильность многих положений «Концепции», в частности, еще более актуальными стали проблемы энергоснабжения России, в решении которых ВИЭ могут сыграть важную роль.

Старение основных фондов децентрализованных систем электроснабжения – основная проблема надежности и эффективности их эксплуатации. Ухудшение технического состояния электрических сетей – один из основных факторов нарастания числа случаев нарушения их работы (количество отказов с 1996 по 2003 год увеличилось в 2 раза). [2]

Реконструкция и техническое перевооружение физически изношенного и морально устаревшего оборудования рассматриваются как приоритетные направления инвестиционной политики в электроснабжении потребителей этих районов.

С целью повышения экономичности и эксплуатационной надежности при сооружении и реконструкции воздушных линий электропередач необходимо:

совершенствование нормативно-правовой базы, организация систем мониторинга баланса и потерь;

совершенствование проектных решений путем использования прогрессивных технических решений и современных технологий и материалов, повышающих безотказность, долговечность и ремонтпригодность линий электропередачи;

экономическое обоснование надежности воздушной линии электропередачи с учетом ее назначения.[2]

Особо остро для децентрализованных зон электроснабжения стоит вопрос повышения эффективности работы ДЭС

Основная проблема это коммерческие потери как дизельного топлива так и электрической энергии при эксплуатации ДЭС.

Вторая проблема при эксплуатации ДЭС неиспользование энергии выхлопных газов и систем охлаждения двигателя. При стоимости дизельного топлива 30 рублей за литр, в зависимости от мощности и местностисоставляет 12-16 р/кВт\*ч.

Существуют следующие пути повышения эффективности систем электроснабжения:

- Замена дизель-генераторных агрегатов (ДГА)повышенной мощности на ДГА с мощностью, соответствующе графику суточной нагрузки в зимний и летний периоды работы;

- Строительство мини-ТЭЦ на возобновляемых первичных энергоресурсах, а при наличии первичной переработки древесины в этих населенных пунктах, на отходах деревопереработки.

В настоящее время ДГА выбираются из условия обеспечения максимальной мощности нагрузки электростанции не учитывая, что графики нагрузки ДЭС имеют существенную сезонную и суточную неравномерность.[3]

Для поселка с численностью населения 1300 человек нагрузка в зимний период работы 600 кВт, а в летний 300 кВт.

В данном случае подойдут 3 ДГА на 300 кВт, 2 основных и резервный. Наибольшее снижение расхода топлива происходит при переходе на двухгенераторную ДЭС.[3]

В населенных пунктах, где организована первичная переработка древесины (производство бруса, плахи, заготовок полуфабриката). Особенно важным моментом является сушка древесины до транспортной влажности 20-22%.

Экономически выгодно переводить ДЭС в режим работы мини-ТЭЦ, тепло, которых используется для сушки древесины. Отходы производства деревообрабатывающей промышленности можно использовать для производства электроэнергии.

В населенных пунктах с числом жителей более двух тысяч и имеющие деревообрабатывающие цеха целесообразно использовать мини-ТЭЦ, работающих на древесных отходах. Тепло этих ТЭЦ можно использовать в технологических целях деревообрабатывающих производств. Потребляемая максимальная тепловая мощность ТЭС с учетом потерь в сетях (15%)

и собственных нужд ТЭЦ (6%)  $Q_{ТЭС} = 7,80$  МВт. Средняя в летнем и зимнем периоде тепловая мощность ТЭС с учетом потерь в сетях и собственных нужд ТЭС:  $Q_{ТЭС}^{ЗИМ} = 1,34$  МВт и  $Q_{ТЭС}^{ЗИМ} = 4,58$  МВт.

Годовой расход топлива на выработку теплоты = 20043 т, а годовой объемный расход топлива на выработку теплоты составил 21762 м<sup>3</sup>.

Средняя электрическая мощность ТЭС в зимний период с учетом потребления на собственные нужды  $N_{ТЭС зим} = 703,3$  кВт, а в летний период  $N_{ТЭС лет} = 472$  кВт.

При электрической мощности ТЭС не менее 1200 кВт при напряжении 400 В. Был выбран турбогенератор П 1,5-40/8 КР.

Расход топлива за зимний период 24195 т, а для летнего периода 5416 т. Годовой расход топлива на выработку электроэнергии. Доля затрат теплоты топлива на выработку электроэнергии составляет 0,31, а на выработку тепла - 0,69.

Для выработки пара высокого давления выбран котлоагрегат типа ДКВр-10-39-440-ПМ, в количестве 3х штук с учетом расхода пара на турбины в зависимости спроса потребителей на тепловую и электрическую энергию. Два котла производительностью 10 т/ч обеспечивают необходимый расход пара с запасом не менее 20%.

Технико-экономические расчеты показали, что ТЭЦ, вырабатывающая в год 26788 Гкал теплоты и 5060 тыс. кВтч электроэнергии требует капиталовложений объемом 73499,2 тыс. рублей. При этом себестоимость 1 Гкал теплоты составляет 474 рубля, себестоимость электроэнергии 1.03 рубля. Срок окупаемости такой ТЭЦ порядка 1,5-2 года

#### Список литературы:

1. Попель О.С., Туманов В.Л. Альтернативная энергетика и экология. – 2007. – № 2(46) – С.135–148.
2. Лебедева Ю.В., Шевченко Н.Ю., Бахтиаров К.Н. Техническое состояние электрических сетей России и перспективы их развития. – 2013. – №4. – С. 1–6
3. Гринкруг Я.С., Татарченко О.П. Энергоэнергия: от получения до распределения о эффективного использования: Материалы Всероссийской научно-технической конференции. – Томск. 2006. С. 78–80.

#### Разработка цифрового измерительного трансформатора тока

*Волович Г.И., Топольский Д.В., Топольская И.Г.*

*Национальный исследовательский Южно-Уральский государственный университет, Россия, г. Челябинск*

[irina\\_topol71@mail.ru](mailto:irina_topol71@mail.ru)

Одной из важнейших составляющих реализации государственной энергетической политики является инновационная и научно-техническая политика в энергетике. Стратегической целью данной составляющей государственной энергетической политики является создание устойчивой национальной инновационной системы в сфере энергетики для обеспечения российского топливно-энергетического комплекса высокоэффективными отечественными технологиями и оборудованием, научно-техническими и инновационными решениями в объемах, необходимых для поддержания энергетической безопасности страны.

В соответствии с направлениями модернизации энергетики России поставлена задача перехода на цифровые подстанции, т.е. такие подстанции, которые не имеют на своей территории постоянного обслуживающего персонала, а информация о режимных параметрах оборудования подстанций передается на предприятия электрических сетей и/или в энергосистемы по цифровым кабелям связи [1 ... 5]. Группой важнейших параметров электрических сетей являются токи в линиях электропередач (ЛЭП), которые подходят к подстанциям. Измерение этих токов в настоящее время осуществляется в основном с помощью высоковольтных электромагнитных измерительных трансформаторов тока с масляной или элегазовой изоляцией, которые преобразуют большие токи высоких напряжений в меньшие токи низких напряжений, которые затем могут быть преобразованы в цифровые коды с помощью аналого-цифровых преобразователей (АЦП) [10].

В последние годы в области измерения токов высоких напряжений появилось новое направление – оптические трансформаторы и преобразователи тока [6 ... 11]. Принцип действия оптических трансформаторов основан на эффекте Фарадея – повороте плоскости поляризации

(плоскости колебания электрического вектора  $E$ ) линейно поляризованного света, распространяющегося в веществе вдоль силовых линий магнитного поля, в частности созданного измеряемым током. Такие преобразователи выпускаются рядом зарубежных (NxtPhase T&D Inc., ABB и др.) и отечественных (НПП Оптилинк, Профотек и др.) фирм. Эти преобразователи имеют заметно меньшую массу, позволяют измерять наряду с переменным также и постоянный ток и передавать оптический сигнал о токе на значительное расстояние. Главным недостатком оптических преобразователей является чрезмерно высокая цена [8].

В последней трети прошлого века сформировалось новое направление преобразования тока высокого напряжения в сигнал низкого напряжения, функционально связанный с измеряемым током [12], так называемые электронные трансформаторы тока (ЭТТ). В преобразователях этого типа ток большой силы в ЛЭП высокого напряжения (ВН) преобразуется в ток меньшей силы или в напряжение, пропорциональные первичному току, на стороне высокого напряжения. Затем этот ток преобразуется в последовательность импульсов, которая передается на сторону низкого напряжения (НН) по волоконно-оптической линии связи (ВОЛС). На стороне низкого напряжения эта последовательность импульсов преобразуется либо снова в аналоговый сигнал, пропорциональный измеряемому току, либо в цифровой сигнал надлежащего формата. Блок-схема электронного трансформатора тока, позаимствованная из ГОСТ Р МЭК 60044-8-2010 [13], представлена на рисунке 1.

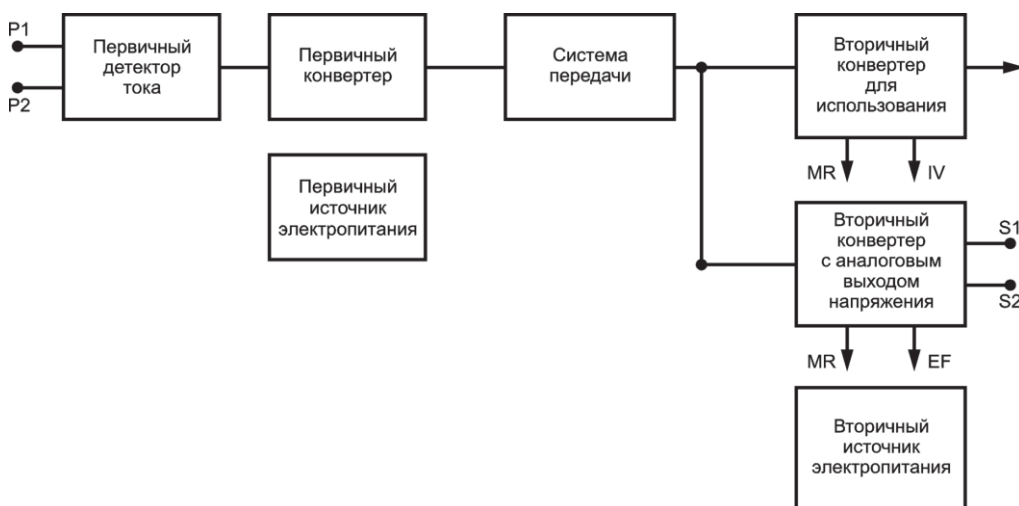


Рис. 1. Блок-схема электронного трансформатора

Устройство состоит из двух частей: высоковольтной части (ВЧ), которая имеет потенциал, близкий к потенциалу ЛЭП, и низковольтной части (НЧ), имеющей потенциал, близкий к потенциалу земли. ВЧ и НЧ разделены высоковольтной изолирующей опорой. Первичный детектор тока, в качестве которого может быть использован трансформатор тока, пояс Роговского, шунт или оптико-электронный преобразователь, преобразует первичный (измеряемый) ток в электрический сигнал в виде тока или напряжения или в параметры светового потока. Первичный конвертер преобразует эти сигналы в импульсы с широтной, частотной или кодовой модуляцией. Система передачи, как правило, оптико-волоконная, преобразует эти импульсы в оптические сигналы и передает их по ВОЛС вторичному конвертеру, который снова преобразует их в аналоговые или цифровые электрические сигналы и передает конечному приемнику.

В последние годы основное направление исследований, связанное с измерением токов высоких напряжений – оптические преобразователи тока на основе эффекта Фарадея. В то же время традиционное построение преобразователей тока в цифровой код на основе системы электромагнитный трансформатор тока – АЦП – ВОЛС еще не исчерпало своих возможностей. Применение компенсационных обратных связей позволяет существенно повысить точность прибора. Отличие предлагаемого решения от известных трансформаторов тока состоит в размещении электронной схемы обработки сигнала на стороне высокого напряжения. По нашим данным таких датчиков не существует. При этом возникает вопрос об источнике энергии для питания электронной схемы.



Разрабатываемый цифровой измерительный трансформатор тока для ЛЭП переменного тока высокого напряжения, блок-схема которого представлена на рис. 2, является объектом исследования в НИР, целью которых является разработка технических и технологических основ высокоточного цифрового измерения токов в высоковольтных линиях электрических сетей на основе базовых физических законов с преобразованием результата измерения в цифровую форму непосредственно на высоковольтных шинах и высокоскоростной передачей информации на низковольтную сторону по волоконно-оптическим линиям для повышения уровня автоматизации технологических процессов и решения задач диспетчеризации. К этому относится разработка технологии высокоточных измерений тока с преобразованием результата измерения в цифровую форму непосредственно на высоковольтных шинах и с передачей цифровой информации об измерениях для классов напряжений 110 – 220 кВ на низковольтную сторону по ВОЛС в цифровой форме в АСУ подстанции, а также создание научно-технического задела для разработки цифровых трансформаторов тока на классы напряжений 110 – 220 кВ. Конкретной целью проекта является разработка и создание экспериментального образца цифрового трансформатора тока для ЛЭП переменного тока класса напряжения 220 кВ с диапазоном измерений 60 – 600 А, класса точности 0,2S на основе электромагнитного трансформатора тока со встроенным электронным блоком преобразования аналогового сигнала в цифровой код и передачей этого сигнала по оптоволоконному кабелю.

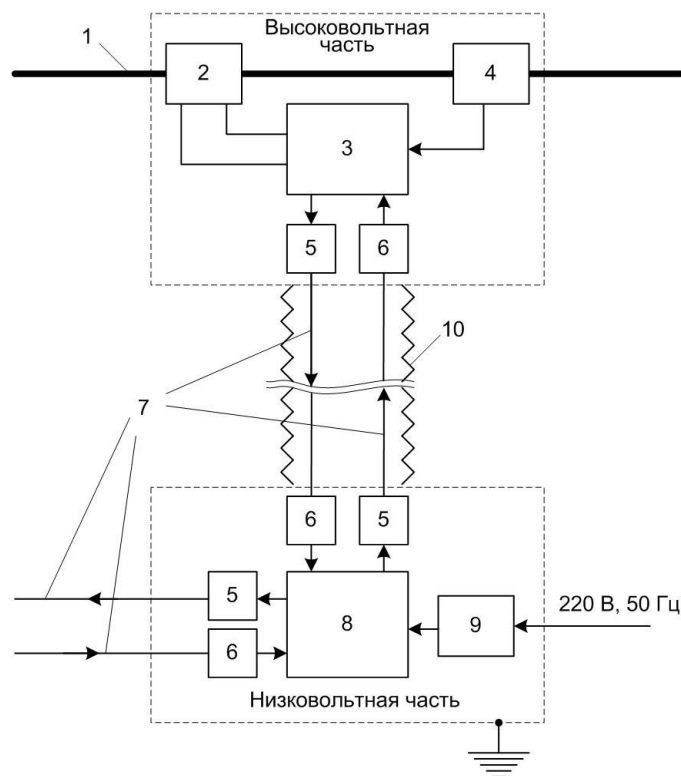


Рис. 2. Блок-схема разрабатываемого цифрового трансформатора тока: 1 — токоведущий высоковольтный проводник, 2 — первичный измерительный преобразователь тока, 3 — первичный конвертор, 4 — первичный источник электропитания, 5 — оптический передатчик, 6 — оптический приемник, 7 — волоконно-оптические линии связи, 8 — вторичный конвертор, 9 — вторичный источник электропитания, 10 — изолирующая опора.

В ходе выполнения НИР разработан экспериментальный образец прибора, проведены предварительные лабораторные и стендовые испытания, получены теоретические данные для цифровых измерительных трансформаторов тока для ЛЭП переменного тока, представленные в таблице 1. НИР проводились в соответствии с ГК №14.516.12.0007

Таблица 1. Теоретические данные для цифровых измерительных трансформаторов тока для ЛЭП

Наименование параметра	Ед. измерения	Значения
Класс напряжений по ГОСТ 1516.1	кВ	220
Частота переменного тока в измеряемой сети	Гц	50, 60
Номинальный первичный ток	А	600
Предел допускаемой основной погрешности	%	0,2
Кратность тракта защит (ток)	А	30I <sub>n</sub>
Погрешность тракта защит (ток)	%	Не более 5
Температурный диапазон	°С	-40...+60

**Список литературы:**

1. ГОСТ Р МЭК 61850-3-2005. Сети и системы связи в подстанциях. Архитектура цифровой подстанции. — М.: Стандартинформ, 2006. — 15 с.
2. Калинин С.Ю. Технические решения в области АСУТП для цифровых подстанций 110/35 кВ. Энергия под ключ / Калинин С.Ю. — 2010 г. — <http://forca.ru/stati/rzia/resheniya-v-oblasti-asutp-dlya-cifrovyyh-podstanciy.html>
3. Маслов, А.М. Вопросы стандартизации при реализации концепции Цифровой подстанции / А.М. Маслов, П.Л. Лобанов // Материалы 2-й Международной выставки и конференции по инновационным проектам в электросетевом комплексе IPNES 2011, 6 — 8 сентября 2011 г.
4. Моржин, Ю. И. Цифровая подстанция ЕНЭС / Ю.И. Моржин, С.Г. Попов, П.А. Горожанкин, В.Г. Наровлянский, М.А. Власов, А.А. Сердцев // ЭнергоЭксперт — 2011. — № 4 (27). — С. 27 — 32.
5. Чичёв, С.И. Система контроля и управления электротехническим оборудованием подстанций / С.И. Чичёв, В.Ф. Калинин, Е.И. Глинкин. — М.: Издательский дом «Спектр», 2011. — 140 с.
6. Волович, Г.И. Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств 3-е издание/ Г.И. Волович. — М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2011. — 526 с.
7. Enokihara A., Izutsu M., Sueta T. Optical fiber sensors using the method of polarization-rotated reflection // J. Lightw. Technol. — 1987. — № 5, pp. 1584-1590.
8. Чичёв, С.И. Оптические высоковольтные измерительные трансформаторы тока и напряжения / С.И. Чичёв, Е.И. Глинкин // Электрика. — 2011. — № 4. — С. 28-31.
9. Blake J. N., Rose A. H. Fiber-Optic Current Transducer Optimized for Power Metering Applications // Proceedings of the IEEE T&D meeting, Dallas, TX, Sept. 2003, pp. 1-4.
10. Zhang H., Qiu Y., Li H., Huang A., Chen H., Li G. High-current-sensitivity all-fiber current sensor based on fiber loop architecture // OPTICS EXPRESS. — Vol. 20, No. 17. — 2012.
11. Афанасьев, В.В. Трансформаторы тока / В.В. Афанасьев, Н.М. Адоньев, В.М. Кибель и др. — 2 изд., перераб. и доп. — Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1989. — 416 с.
12. Гречухин, В.Н. Электронные трансформаторы тока и напряжения. Состояние, перспективы развития и внедрения на ОРУ 110—750 кВ станций и подстанций энергосистем / В.Н. Гречухин // Вестник ИГЭУ. — 2006. — Вып. 4. - С. 1 — 9.
13. ГОСТ Р МЭК 60044-8-2010. Трансформаторы измерительные. Часть 8. Электронные трансформаторы тока. - М.: Стандартинформ, 2012. - 98 с.

**Опыт применения датчиков абсолютной вибрации на гидроагрегатах.***Демшин К.А.*

*Филиал ОАО «РусГидро» - «Саяно-Шушенская ГЭС имени П.С. Непорожнего», Россия, республика Хакасия, п. Черемушки.*

[d.const@mail.ru](mailto:d.const@mail.ru)

В наше время импульсом в развитии систем вибрационного контроля гидроагрегатов (далее ВК), стала авария в 2009 году на Саяно-Шушенской ГЭС. ВК - измерения вибрации в целях мониторинга состояния на подшипниковых опорах или корпусе машины (гидроагрегата), а также на ее вращающихся частях [8]. Обладающие системой ВК предприятия получили инструмент не только предотвращающий нештатные ситуации, но и способный своевременно диагностировать состояние оборудования, контролировать результат ремонтных работ.

К основным средствам измерения вибрации можно отнести: датчики, системы сбора и анализа данных. Но существующее разнообразие представленных на рынке систем ВК в большей степени касается сбора и анализа данных. То есть, системы крейтов или шасси, пришедших в гидроэнергетику из смежных отраслей - нефтяной и газовой. К сожалению, специализированные стационарные системы ВК гидроагрегатов, а так же системы мониторинга и диагностики чаще всего не обеспечивают должный уровень надежности, точности и мобильности. Основной причиной этого являются датчики абсолютной вибрации как основное средство измерения.

Датчик вибрации.

Рассмотрим наиболее распространенный тип датчиков абсолютной вибрации – пьезодатчики, основанные на пьезоэффекте, т.е. эффекте генерации электрического сигнала пропорционального ускорению при растяжении, сжатии или сдвиге. Положительными качествами этих датчиков являются: широкий частотный диапазон 0-150 кГц, высокая стабильность параметров, компактность, небольшой вес и отсутствие движущихся элементов конструкции, что исключает возможность износа и преждевременного выхода из строя [1]. Основной частью датчика является чувствительный элемент из пьезоэлектрического материала и сейсмическая масса, пример компоновки датчика представлен на рисунке 1. Легкие (высокочастотные) акселерометры (весом от нескольких граммов) работают в широком частотном и динамическом диапазоне. Верхний предел динамического диапазона чаще всего ограничен механической прочностью пьезоэлемента или встроенного усилителя (если он присутствует).

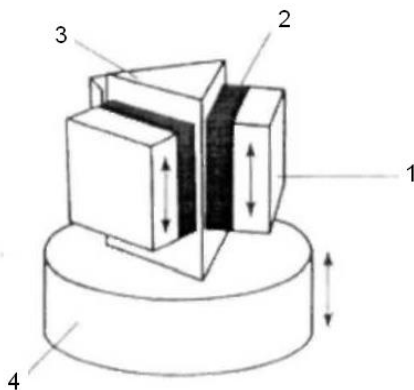


Рис.1 - Вид пьезодатчика вибрации  
сейсмомасса, 2- пьезоэлемент, 3- опора, 4-основание)

Высокочувствительные акселерометры, масса которых выше (40-500 граммов) чем у высокочастотных, работают в ограниченном частотном диапазоне (до нескольких кГц.) и значительно меньшем динамическом диапазоне. Но подобные датчики обладают лучшими характеристиками по отношению сигнал/шум, особенно на низких частотах.

Измерение низкочастотных виброперемещений малого уровня с помощью акселерометров затруднено в связи с резким уменьшением его выходного сигнала при уменьшении частоты возмущающей силы. Так на частоте 1 Гц и уровне 200 мкм размаха в виброперемещениях, амплитуда виброускорения составляет лишь  $4 \cdot 10^{-4}$  g. При этом повышение чувствительности акселерометров с использованием электроники (усилителя или АЦП), приводит к увеличению шумов. Причиной этого является использование датчиков на пределе их чувствительности. Поэтому, измерение вибрации гидроагрегатов проводится с применением высокочувствительных акселерометров, собственная резонансная частота которых чаще всего находится в пределах 10-20кГц, выходной сигнал находится в диапазоне 5-20g. Например, датчики вибрации марки Wilcoxon Research типа 797L [8] применяемые для гидроагрегатов, изначально обладают ограниченным динамическим диапазоном равный 10g пик.

В источниках [2,4] описано, что в районе турбины гидроагрегата наблюдается широкий спектр действующих сил: жгутовые явления, оборотные частоты гидроагрегата и их гармоники, лопастные частоты гидроагрегата, собственные частоты опорных конструкций и другие явления. Источниками высоких частот на гидроагрегате являются гидравлические эффекты, такие как возникновение и распад вихрей высокотурбулентного потока, кавитация. Амплитуды виброускорений на более высоких частотах, могут на несколько порядков превышать измеряемый

низкочастотный сигнал. На пример, воздействия на частотах 1-3 кГц в виде пульсации потока в проточной части гидроагрегата могут достигать до 10 g пик [4]. Воздействия от кавитационных каверн и от коллапсирования отдельных кавитационных пузырьков могут достигать 1-7g пик. Подобные воздействия меняются в зависимости от режима работы гидроагрегата, а также от таких параметров как напор и уровень нижнего бьефа. При этом форма сигнала в виброускорения может выглядеть как на рисунке 2, – периодический низкочастотный сигнал, искаженный периодическими высокочастотными выбросами. В оценке и анализе сигнала использовалось программное обеспечение WinПОС версии expert (производства НПП МЕРА) [7].

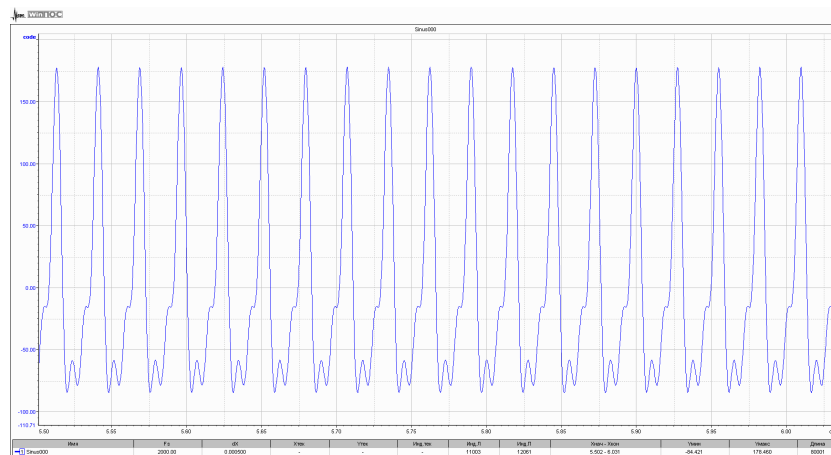


Рис. 2- Форма сигнала без учета динамического диапазона датчика вибрации.

Большинство встроенных усилителей не имеют входного фильтра низких частот и передают весь сигнал до предела, заложенного в него производителем. Не учитывается и тот факт, что частоты действующих сил могут совпадать с установочным резонансом датчика вибрации. Вследствие этого выходной сигнал с датчика может вырасти непропорционально действующей на датчик силы. А значит, что выходной сигнал с пьезоэлемента может быть больше динамического диапазона передающего или интегрирующего усилителя. В результате чего форма сигнала может измениться, как это показано на рисунке 3. В форме будут преобладать частоты ниже, чем частота действующей силы или высокочастотные воздействия, так называемые паразитные шумы.

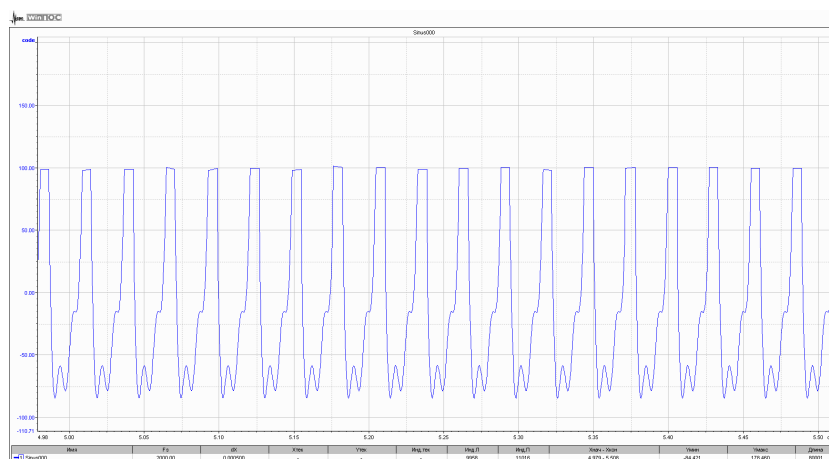


Рис. 3 - Форма сигнала с учетом динамического диапазона датчика вибрации.

Согласно требованиям [3], оценка вибрационного состояния гидроагрегата производится в виброперемещениях. Для этого требуется произвести двойное интегрирование полученного сигнала. В процессе интегрирования сигнала, высокочастотная составляющая сигнала уменьшается пропорционально квадрату частоты, а уровень низкочастотных шумов вырастает по

сравнению с неискажённым сигналом. При этом данные шумы присутствуют в полосе частот 0–10 Гц и значительно превышают уровень полезного сигнала, на частоте 36 Гц.

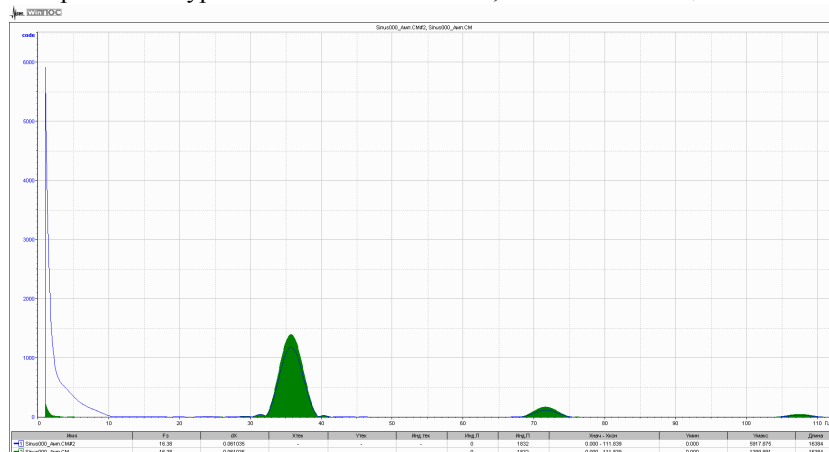


Рис. 4 – Спектр искаженного и неискаженного сигнала:  
искажённый сигнал – не штрихованный график,  
неискажённый сигнал – заштрихованный график.

В данном случае, мы рассмотрели влияние периодических высокочастотных воздействий на гармонический сигнал, но с определенной уверенностью можно сказать, что подобный эффект сохраняется и для непериодического сигнала. Это значит, что показания приборов, обладающие подобными особенностями неустойчивы, а проводимая по ним оценка может быть не корректна.

#### Выводы

Согласно требованиям нормативной документации [3], измерения абсолютной вибрации гидроагрегата должны производиться в виброперемещениях и в полосе частот 0,7–200 Гц. При этом на датчики могут воздействовать широкие по спектру и большие по амплитуде силы, действующие и вне указанного частотного диапазона. Использование измерительных каналов на базе высокочувствительных пьезоёмкостных акселерометров, с ограниченным динамическим диапазоном может приводить к низкочастотным шумам. Из-за интегрирования сигнала невозможно определить причины, по которым датчики фиксируют низкочастотные явления. Показания систем и приборов, обладающих подобными особенностями неустойчивы, а проводимая по ним оценка может быть не корректна.

Использование более высокочастотных акселерометров на пределе их чувствительности также может негативно сказаться на показаниях измерительных систем. Но связано это с влиянием шумов датчика и измерительной системой в целом.

Требуется развитие систем предназначенных для контроля и диагностики вибрации гидроагрегатов с учетом всех выше указанных особенностей. А для каждого конкретного случая, гидроагрегата или ГЭС в частности, рекомендуется адаптация или подбор средств измерений. Для надежной и корректной работы систем контроля и диагностики рекомендуется проводить вибрационные или верификационные испытания с применением различных средств измерений и дальнейшего сравнительного анализа.

#### Список литературы:

1. Макр Серридж, Торбен Р. Лихт. Справочник по пьезоэлектрическим акселерометрам и преусилителям. – Дания: Офисная печать. Ларсен и сын. Глострун. 1987 г. – 187 с.
2. <http://www.plotina.net/experts/klukach/>. Электронный источник. Влияние асимметрии спиральной камеры на вибрации гидроагрегата.
3. СТО 17330282.27.140.001-2006. Методики оценки технического состояния основного оборудования гидроэлектростанций. Приложение И.
4. Владиславлев Л.А. Вибрация гидроагрегатов гидроэлектрических станций. Москва: Энергия, 1972 г. – 176 с.
5. РД 24.023.117–88. Измерение вибрации и оценка вибрационного состояния вертикальных гидравлических турбин.
6. Руководство пользователя. WinПОС. Пакет обработки сигналов. – г. Королев: НПП «Мера». 2009. – 174 с.

7. ГОСТ Р ИСО 13373-1-2009. Контроль состояния и диагностики машин. Вибрационный контроль состояния машин. Часть 1. Общие методы.
8. <http://www.advancesiam.com/pdf/29.pdf> Wilcoxon Research Vibration Product Training

**Оптимизация режимов работы системы электроснабжения  
собственных нужд Бийской ТЭЦ-1**

*Козырев А.Д., Краснятов Ю.А.*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск  
[kozirev@tpu.ru](mailto:kozirev@tpu.ru)*

Собственные нужды (СН) электрических станций являются одним из ответственных объектов, обеспечивающих необходимые условия работы теплового и электрического оборудования. Повышение надёжности и энергоэффективности СН - одна из задач, связанных с энергосбережением. Одним из мероприятий энергосбережения является оптимизация режимов СН.

При функционировании ТЭЦ, как правило, имеют место значительные изменения ее тепловой и электрической нагрузок в суточном, недельном, сезонном и годовом временных уровнях потребления. В первую очередь, это обусловлено изменением нагрузок потребителей тепла и электроэнергии. Поэтому типичной эксплуатационной задачей для ТЭЦ является определение состава работающего оборудования станции, то есть числа работающих котлов и турбин, а также его тепловых и электрических нагрузок, расходов пара из регулируемых отборов турбин, электрических мощностей турбоагрегатов, распределения сетевой воды между разными турбинами, при которых экстремального значения достигает критерий эффективности (расход или стоимость топлива, отпуск тепла от станции, ее электрическая мощность, стоимость 1 квт·ч. электроэнергии и т. д.). При этом должны выполняться все физико-технические ограничения на режимы работы оборудования и техническими требованиями нахождения параметров в допустимых интервалах, определяемых минимально и максимально возможными значениями (расходы острого пара на турбины и пара в конденсаторы, на электрическую мощность турбоагрегатов и т. д.).

При указанных обстоятельствах во многих режимах работы ТЭЦ один и тот же производственный эффект (отпуск внешним потребителям одного и того же количества тепловой и электрической энергии) может достигаться различным распределением тепловых и электрических нагрузок между находящимися в работе элементами оборудования ТЭЦ и при различной энергетической и экономической эффективности. В связи с этим и возникает задача определения наиболее энергетически и экономически эффективного распределения нагрузок. Весьма характерными для ТЭЦ являются предельно допустимые режимы работы, когда требуется обеспечить максимально возможный отпуск тепловой энергии при фиксированном отпуске электрической энергии или максимальный (минимальный) отпуск электрической энергии при фиксированном отпуске тепловой энергии и т. д.

В силу сложности технологических схем ТЭЦ, разнообразия сочетания внешних условий функционирования и нелинейного характера многих зависимостей задачи оптимизации режимов ТЭЦ и ее СН требуют разработки математических моделей функционирования основного и вспомогательного оборудования ТЭЦ, а также специальных методов решения оптимизационных задач.

Решение проблемы оптимального распределения нагрузок между агрегатами Бийской ТЭЦ-1 (БиТЭЦ-1), в первую очередь, связано с задачей выдачи максимальной электрической мощности при фиксированной тепловой нагрузке. Система электроснабжения СН представляет собой сложное хозяйство, предназначенное для бесперебойного электроснабжения электроприемников с большой суммарной мощностью. Для ТЭЦ, на которых сжигается уголь, примерный расход электроэнергии на СН при номинальной нагрузке составляет в процентах от вырабатываемой электроэнергии (7÷8,5)% при начальном давлении пара 3,5÷9 МПа и (9÷11)% - при 13÷24 МПа. Расход электроэнергии на СН зависит также от условий водоснабжения, режима работы станции, удаленности внешних потребителей тепловой и электрической энергий и т.д. Наибольший расход (до 12%) имеют ТЭЦ высокого давления, работающие на каменном угле с высоким содержанием золы и влаги, к которым относится БиТЭЦ-1. При уменьшении электрической нагрузки ТЭЦ доля расхода электроэнергии на СН увеличивается (при 50%-ой

загрузке - в 1,5 раза, а при 30 %-ой - в 2 раза)[1]. На сегодняшний день для БиТЭЦ-1 актуален вопрос об оптимальной нагрузке по активной мощности.

Примерное распределение расхода электроэнергии на СН ТЭЦ в % от общего расхода на СН показано во втором столбце таблицы 1 [1]. Реальное распределение составляющих общего расхода электроэнергии на различные группы механизмов СН может отличаться от средних значений. В третьем столбце таблицы 1 представлены доли общего расхода электроэнергии на СН, полученные на БиТЭЦ-1 (по данным ПТО БиТЭЦ-1).

Таблица 1. Распределение расхода электроэнергии на СН. ТЭЦ.

Группа потребителей	Доля общего расхода электроэнергии на СН., % [1]	Доля общего расхода электроэнергии на СН БиТЭЦ-1, %
Тяга и дутье	17,4	20,75
Питательные насосы	36,4	23,55
Циркуляционные насосы	7,7	6,38
Теплофикационные насосы	22,2	12,39
Пылеприготовление	8,6	15,8
Гидрозолоудаление	1,8	3,33
Прочие (освещение, отопление, бытовые приборы и др.).	5,9	17,8

Для проведения анализа расхода электроэнергии на СН ТЭЦ в качестве одного из условий экономичности (оптимальности) расхода электроэнергии на СН предлагается использовать зависимость:

$$f(P_{\text{выр}}) = 100 \cdot P_{\text{сн}} / P_{\text{выр}}, \quad (1)$$

где  $P_{\text{сн}}$  – потребляемая активная мощность электроприемниками СН, МВт;  $P_{\text{выр}}$  – активная мощность, вырабатываемая каждым турбогенератором и ТЭЦ в целом, МВт.

На основе проведенных контрольных замеров и расчетов в часы суток: 3.00, 9.00, 18.00, 21.00 – для всех турбогенераторов, работающих как совместно на сборные шины ГРУ-6 кВ, ЗРУ-35 кВ и ЗРУ-110 кВ, так и по блочной схеме с ЗРУ-110 кВ и энергосистемой, были получены зависимости (1), внесенные в **таблицу 2**.

Если принять, что все турбогенераторы ТЭЦ будут загружены на 100% от их номинальной мощности, то оптимальный расход электроэнергии на СН не будет превышать 12% [1]. Из-за недогрузки активной мощностью турбогенераторов все полученные и приведенные в таблице значения  $f(P_{\text{выр}})$  больше 12%, поэтому работа всех турбогенераторов и ТЭЦ в целом не экономична и не оптимальна.

Исследования и опыт работы передовых ТЭЦ показывают, как можно существенно снизить расход электроэнергии на СН [2]. К такому снижению могут привести: работа с оптимальной оперативной схемой СН и всей ТЭЦ, оптимизация работы механизмов СН на примере блока 300 МВт позволяет сэкономить 5% электроэнергии, расходуемой на СН, т.е. 233 млн. кВт·ч или 75,7 тысяч тонн условного топлива в год; использование экономичного регулируемого электропривода дает 4,8 % экономии (209 млн. кВт·ч или 67,9 тысяч тонн условного топлива в год); оптимизация напряжения на шинах СН (0,65 %, 59,2 млн. кВт·ч или 19 тысяч тут в год); оптимальный выбор мощности электродвигателей для приводов механизмов (0,2%, 12,6 млн. кВт·ч или 4,1 тысяч тут в год); оптимизация режимов пуска и останова блоков (0,03%, 1,6 млн. кВт·ч или 0,52 тысяч тут в год); повышение надежности схемы питания СН (1 %, 100 млн. кВт·ч или 32,5 тысяч тут в год), оптимизация сечений кабельных линий СН (0,16 %, 12 млн. кВт·ч или 3,5 тысяч тут в год).

Таблица 2.

Часы замеров \ Параметры	3.00	9.00	18.00	21.00	-	Название источника питания
$P_{\text{выр}}$ , МВт	240	258	204	198	530	ТЭЦ
$100 \cdot P_{\text{сн}} / P_{\text{выр}}$ , %	16,54	15,9	18,66	19,0	12	
$P_{\text{выр}}$ , МВт	70	82	60	53	-	ТГ-8
$100 \cdot P_{\text{сн}} / P_{\text{выр}}$ , %	13,1	11,2	15,3	17,3	-	
$P_{\text{выр}}$ , МВт	63	69	53	49	-	ТГ-7
$100 \cdot P_{\text{сн}} / P_{\text{выр}}$ , %	13	11,9	15,47	18	-	
$P_{\text{выр}}$ , МВт	66	61	50	55	-	ТГ-5,6
$100 \cdot P_{\text{сн}} / P_{\text{выр}}$ , %	5,6	6,4	12	11,27	-	
$P_{\text{выр}}$ , МВт	26	30	30	28	-	ТГ-3,4
$100 \cdot P_{\text{сн}} / P_{\text{выр}}$ , %	50	40	30,9	33,2	-	
$P_{\text{выр}}$ , МВт	15	16	11	13	-	ТГ-1,2
$100 \cdot P_{\text{сн}} / P_{\text{выр}}$ , %	33,33	31,25	36,36	34,62	-	

По анализу результатов контрольных замеров и расчета баланса мощности можно сделать следующие выводы:

- необходимо предусмотреть оптимальную загрузку ТЭЦ по электрической и тепловой энергии, обусловленную заданием со стороны энергосистемы;

- самый низкий  $\cos \varphi$  наблюдается в 18.00 часов по всем потребителям, генераторам и СН (низкий  $\cos \varphi$  соответствует малой загрузке электродвигателей, практическим отсутствием устройств компенсации реактивной мощности, а также из-за того, что основным потребителем электростанции после 18.00 является коммунально-бытовая нагрузка, имеющая низкий  $\cos \varphi \approx (0,7 \div 0,8)$  (городские потребители подключены к СН электростанции: к ГРУ-6 кВ);

- предусмотреть изменение технологии выработки электрической и тепловой энергии, например, для возможности отключения низкозагруженных электродвигателей и трансформаторов СН требуется выбрать оптимальную оперативную схему СН;

- режим работы синхронных двигателей должен быть изменен следующим образом: установить оптимальный закон регулирования возбуждения и не отключать их, а переводить в режим синхронного конденсатора, что значительно уменьшит реактивную мощность, потребляемую в системе СН и вырабатываемую турбогенераторами;

- контролировать загрузку силовых трансформаторов СН (из 67 трансформаторов СН только десять имеют коэффициент загрузки в пределах 0,35-0,76, а все остальные трансформаторы работают в режиме, близком к холостому ходу).

В отношении первого мероприятия можно констатировать: из приведенной таблицы следует, что в час максимума  $R_{\text{выр}} = 258$  МВт, при этом 15,9% от вырабатываемой электроэнергии потребляется в системе СН, а для часа минимума ТЭЦ (198 МВт) - 19%. В свою очередь, на основании проведенных замеров и расчетов мощность, отдаваемая в систему СН, изменяется



незначительно в течение суток, и если увеличить вырабатываемую электроэнергию на 16,3 % ( $P_{\max} = 300$  МВт), то потребление электроэнергии на СН составит 15,3 % , а при увеличении выработки электроэнергии на 30% ( $P_{\max} = 335,4$  МВт) потребление электроэнергии на СН - 15,0 %. Расчеты показали, что в случае  $P_{\max} = 335,4$  МВт экономия электроэнергии на СН в год будет 61,8 млн. кВт·ч, а для  $P_{\max} = 300$  МВт – 48,4 млн. кВт·ч, при этом удельный расход топлива на выработку выдаваемой электроэнергии с шин станции уменьшится на 14,6 гут/кВт·ч ( $P_{\max} = 300$  МВт).

Предложены также технические мероприятия по энергосбережению для основного и вспомогательного оборудования ТЭЦ:

Компенсация реактивной мощности со стороны 6 кВ при помощи регулирования возбуждения синхронных двигателей и перевода одного из малозагруженных генераторов в режим синхронного компенсатора. Это приведет к уменьшению потоков реактивной мощности и уменьшению потерь активной мощности в элементах системы электроснабжения собственных нужд.

Оптимизация оперативной схемы собственных нужд и оптимизация режима работы турбогенераторов и электродвигателей СН.

Организация контроля качества электроэнергии и электропотребления.

Эта группа мероприятий даёт экономию электроэнергии 18,1 млн. кВт ч и уменьшение расхода топлива на выработку 1 кВт ч отпускаемой электроэнергии на 6,5 г.у.т. /кВт ч

#### Список литературы:

1. Аббасова Э.М., Голоднов Ю.М. и др. Собственные нужды тепловых электростанций / Под редакцией Ю.М.Голоднова. - М.: Энергоатомиздат, 1991. – 272 с.
2. Агапов В.Г., Некрестов О.В., Трубицын В.И. Анализ эффективности способов снижения расхода электроэнергии на собственные нужды ТЭС // Сборник научных трудов МЭИ.-1989.-№ 197.- С.57-62.

#### Преимущества использования линий электропередач с резервной фазой.

*Во Х.К., Косточкин А.А.*

*Новосибирский государственный технический университет, Россия, г. Новосибирск.*

[bigsanichik@mail.ru](mailto:bigsanichik@mail.ru)

В настоящее время около 94% электроэнергии, вырабатываемой всеми электростанциями нашей страны, передаётся и распределяется электрическими сетями напряжением 110 кВ и выше, и лишь около 6% по линиям 35 кВ.

Анализ структуры электрических сетей высокого и сверхвысокого напряжений показывает, что наибольшее распространение получили сети напряжением 110 и 220 кВ (88%). Они, как правило, выполняют функции распределительных и предназначены для электроснабжения промышленных узлов, крупных предприятий, городов, сельских районов. Сети 35 кВ также получили развитие во всех энергосистемах страны. Они служат в основном для внешнего электроснабжения объектов малой и средней мощности, например, сельскохозяйственных. В последние годы наблюдается постоянное сокращение строительства сетей 35 кВ для питания промышленных предприятий. С ростом плотности электрических нагрузок в ряде сельскохозяйственных районов также намечается тенденция к ограничению развития сетей напряжением 35 кВ и замене их сетями 110 кВ.

В связи с важной ролью сетей напряжением 110-220 кВ в обеспечении надежности электроснабжения народного хозяйства целесообразно провести подробный анализ определяющих её факторов – надежности формирующих сетей.

Исходным для решения задачи обеспечения надежности функционирования электрических сетей является анализ технического состояния и условий эксплуатации сети в целом и её элементов.

Надежность электрических сетей определяется безотказностью и ремонтпригодностью. Под отказом СЭС будем понимать событие, приводящее к недоотпуску электроэнергии всем потребителям или их части вследствие прекращения или ограничения электроснабжения. Ремонтпригодность определяет продолжительность перерыва электроснабжения в аварийных ситуациях и при плановых ремонтах, она зависит от времени ликвидации аварии или восстановления отказавшего элемента. Поэтому надежность электрической сети можно

характеризовать частотой и длительностью аварийных и плановых перерывов электроснабжения на каждой из её приемных подстанций.

Надежность ВЛ является не только технической, но и экономической категорией. Выбор оптимальной надежности распределительных сетей обосновывается технико-экономическим анализом. Повышение надежности функционирования распределительных сетей 110 и 220 кВ путем изменения конструкции линии электропередачи требует материальных затрат. В то же время более высокая надежность рассматриваемых сетей обеспечивает снижение народнохозяйственного ущерба от перерывов электроснабжения потребителей.

Технические показатели надежности основных элементов электрической сети приведены в табл. 1.

Таблица 1. Надежность элементов электрической сети

Наименование элемента	Аварийное отключение		Плановое отключение	
	Частота отказов $\omega$ , I/год на 100 км	Время восстановления, $T_B$ , ч	Частота плановых ремонтов $\mu$ , I/год	Продолжительнос ть планового ремонта, $T_{П}$ , ч
Одноцепные ВЛ с АПВ напряжением, кВ:				
220	0,7	16	6	8
110	1,0	14	5	6
Трансформаторы с высшим напряжением, кВ:				
220	0,02	250	1,0	40
110	0,015	500	1,0	30
Масляные выключатели напряжением, кВ:				
220	0,025	70	0,3	100
110	0,022	70	0,3	100

Как следует из таблицы 1, ВЛ является наиболее слабым элементом электрической сети, обуславливающими 30-40 % общего числа отказов и поэтому их роль в обеспечении надежности СЭС можно считать определяющей. Это становится особенно ощутимым в тех случаях, когда электроснабжение осуществляется по одноцепной линии электропередачи значительной протяженности. Так, при линии 200-400 км и напряжении сети 110-220 кВ только из-за повреждения ВЛ следует ожидать отключения потребителей 2-3 раза в год в среднем на 20-30 ч. Таким образом целесообразно обеспечить надежность электроснабжения в первую очередь за счет уменьшения отказов ВЛ и длительности их отключенного состояния.

Как отмечалось выше, провода и изоляторы ВЛ являются наименее надежными элементами линии электропередачи и основные работы при плановом ремонте связаны с их техническим обслуживанием. В связи с этим для повышения безотказной работы ВЛ прежде всего нужно изготавливать изоляторы из высокопрочных и долговечных материалов, и резервировать провода линии.

Известно, что наиболее частным видом повреждения является однофазное короткое замыкание. Это обуславливает целесообразность применения четырехпроводных линий электропередач, в которых для резервирования любого из поврежденных проводов ВЛ один и тот же резервный провод.

В качестве резервной фазы могут быть использованы четвертый (дополнительный) провод, а в отдельных случаях – изолированный грозозащитный трос, выполненный проводом марки АС соответствующего сечения.

Существенным преимуществом при применении четырехпроводных линий электропередачи является возможность поэтапных затрат материалов и оборудования в процессе развития СЭС во времени по мере роста нагрузки потребителей.

Область применения четырехпроводных ВЛ определяется технико-экономическим расчетом с учетом фактора надежности и перспектив развития СЭС. Надежность четырехпроводных линий такая же, как у двухцепной на одних опорах. Если перспективный рост нагрузок требует подвески второй цепи, то четвертый провод можно рассматривать как первый этап её монтажа.

ВЛ с резервной фазой имеет следующие преимущества по сравнению с одноцепной линией электропередач традиционного исполнения:

существенное повышение пропускной способности электропередачи в послеаварийных режимах;

возможность пофазного ремонта линии без уменьшения её пропускной способности с поочередным переключением ремонтируемой фазы в резервный провод;

возможность пофазного режима плавки гололеда с последовательным переключением каждой фазы на резервный провод.

Четвертый провод может быть использован либо в качестве резервного, когда он в нормальном режиме отключен и включается автоматически взамен поврежденного только в послеаварийных и ремонтных режимах.

Учитывая, что распределение сети напряжением 110 и 220 кВ являются наиболее массовыми (удельный вес их по протяженности составляет около 88%) при решении вопроса надежности и улучшения условий их эксплуатации нельзя допускать существенного усложнения схем распределительных устройств и увеличения их стоимости. В связи с этим при разработке схемы электропередачи класса напряжений 110 и 220 кВ с резервной фазой предусмотрено в первую очередь применение коммутационных аппаратов и опор, применяемых для ВЛ традиционного исполнения.

Известно, что в нашей стране ВЛ с тросами по всей длине эксплуатируются начиная с напряжений 110 кВ и выше. Поэтому электропередачу такого исполнения (рис.3.1) рассмотрим на примере ВЛ 110 кВ с проводами АС-120 и тросом АС-70. Этот вариант исполнения ВЛ с резервной фазой является наиболее простым и экономичным.

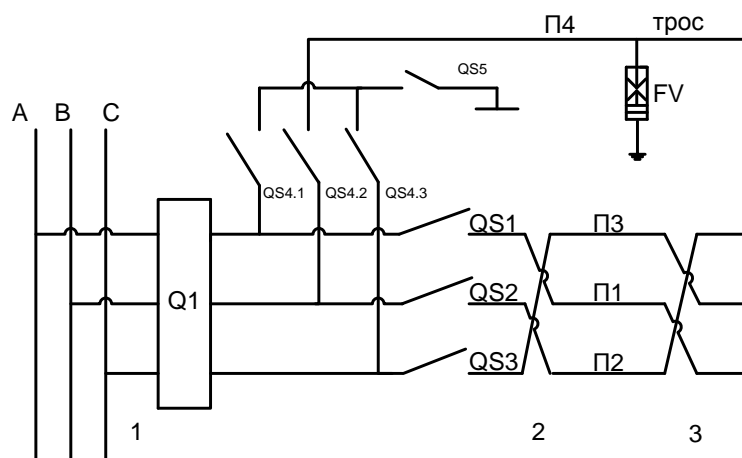


Рисунок 1. ВЛ с тросом

Схема рассматриваемой электропередачи содержит три токоведущих провода П1-П3, грозозащитный трос П4, изолированный на фазное напряжение на всем протяжении линии, высоковольтный выключатель Q1, линейные разъединители (отделители) QS1-QS3 и разъединители (отделители) QS4.1-QS4.3, включенные между грозозащитным тросом и токоведущими проводами линии. Все разъединители имеют пофазное управление, а выключатель – трехфазное. Изоляция тросов зашунтирована в нескольких точках линии электропередачи съёмными перемычками QS5 и искровыми промежутками FV. Затраты на изоляцию троса и установку разъединителей по концам линии не превышают 6...8 % от капитальных затрат на сооружение ВЛ со стальными грозозащитным тросом. В нормальном режиме работы линии разъединители QS1-QS3 включены, а разъединители QS4.1-QS4.3 отключены. Съёмные перемычки QS5 устанавливаются только в грозозащитный период.

При устойчивом повреждении одного из токоведущих проводов, например, провода П1, от действия релейной защиты отключается выключатель Q1. Затем автоматически или дежурным

персоналом в соответствии с аварийной сигнализацией отключается разъединитель QS1, а разъединитель QS4.1 включается. Съёмные перемычки QS5 (если они были установлены) также отключаются и трос П4 оказывается включенным взамен поврежденного провода. Если для потребителей, получающих питание от ВЛ, перерыв электроснабжения в течение 20-30 минут допустим, автоматизация переключений не требуется.

Результаты исследований послеаварийных режимов при поочередном переключении троса вместо каждого из фазных проводов линии показывают, что уровни напряжения в линии практически не отличаются от режима обычной одноцепной ВЛ со стальным тросом, а несимметрия несколько выше, чем у трехпроводной линии, но значительно ниже допустимых значений по ГОСТу 13109-97

Таблица 2 – Напряжения и токи по фазам

Варианты исполнения ВЛ 110 кВ	Режимы эксплуатации ВЛ	Фазы	Напряжения и токи по фазам в узлах сети, кВ и А					
			1		2		3	
			U	I	U	I	U	I
ВЛ традиционного исполнения	Нормальный режим	A	66,39	56,53	65,56	59,01	64,69	61,47
		B	66,39	56,58	65,56	58,73	64,75	61,53
		C	66,39	56,46	65,56	58,66	64,71	61,27
ВЛ с резервной фазой - тросом	Послеав. режим: трос включен вместо откл. провода П1	A	66,39	55,95	65,55	57,93	64,53	63,05
		B	66,39	55,47	65,55	59,95	64,64	60,69
		C	66,39	57,67	65,35	57,80	64,32	59,76

На основании изложенного следует, что если к трехпроводной (одноцепной) электропередаче добавить еще один провод, который в нормальном эксплуатационном режиме находится в отключенном состоянии, то при устойчивых однофазных коротких замыканиях необходимо отключать только поврежденный провод, а вместо него включать резервный, и тогда линия будет продолжать работать как трехпроводная. Кроме того, резервный провод может также включаться вместо любого рабочего провода в режиме пофазного ремонта или пофазной плавки гололеда. Таким образом, одноцепная электропередача с резервным проводом при устойчивых однофазных повреждениях надежна, как двухцепная, но капитальные затраты на ее сооружение значительно меньше.

#### **Систематическая погрешность расчета потерь мощности при планировании режимов систем электроснабжения с учетом неопределенности исходной информации**

*Круцова А.А., Малафеев А.В.*

*Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Россия, г.*

*Магнитогорск*

[anastasiya\\_289@mail.ru](mailto:anastasiya_289@mail.ru)

При планировании эксплуатационных режимов систем электроснабжения в зависимости от технологического процесса потребителей возникает проблема выбора данных, различных по временным интервалам (1, 3, 5, 30 минут, 1 час, 1 сутки, 1 месяц). В связи с совершенствованием автоматизированных систем учета в настоящее время могут быть получены графики электрических нагрузок с различным интервалом осреднения, что приводит к большим погрешностям при расчетах минимума потерь активной мощности. Для графиков нагрузки потребителей металлургического предприятия на уровне напряжения 6-10 кВ характерно несоответствие нормальному закону распределения, что делает не целесообразным применение вероятностных характеристик графиков для планирования эксплуатационных режимов систем электроснабжения. Ввиду этого предлагается использовать теорию нечетких множеств.

Рассмотрим графики электрических нагрузок с разными интервалами осреднения на примере системы электроснабжения ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (таблицы 1-3, рис. 1).

Таблица 1. Графики нагрузки на примере фидера 2-02 подстанции № 2 ОАО «ММК» с временным интервалом 1 час

Интервалы осреднения	ф2-02 ЦВС	Интервалы осреднения	ф2-02 ЦВС	Интервалы осреднения	ф2-02 ЦВС
0:00	0,49	8:00	0,48	16:00	0
1:00	0,49	9:00	0,47	17:00	0
2:00	0,48	10:00	0,33	18:00	0
3:00	0,48	11:00	0,32	19:00	0
4:00	0,48	12:00	7	20:00	0
5:00	0,48	13:00	1	21:00	0
6:00	0,48	14:00	0	22:00	0
7:00	0,48	15:00	0	23:00	0

Таблица 2. Графики нагрузки на примере фидера 2-02 подстанции № 2 ОАО «ММК» с временным интервалом 30 минут

Интервалы осреднения	ф2-02 ЦВС	Интервалы осреднения	ф2-02 ЦВС	Интервалы осреднения	ф2-02 ЦВС	Интервалы осреднения	ф2-02 ЦВС
00:00	0,49	06:00	0,48	12:00	0,07	18:00	0
00:30	0,49	06:30	0,48	12:30	0,03	18:30	0
01:00	0,49	07:00	0,48	13:00	0,01	19:00	0
01:30	0,49	07:30	0,48	13:30	0	19:30	0
02:00	0,48	08:00	0,48	14:00	0	20:00	0
02:30	0,48	08:30	0,48	14:30	0	20:30	0
03:00	0,48	09:00	0,47	15:00	0	21:00	0
03:30	0,48	09:30	0,4	15:30	0	21:30	0
04:00	0,48	10:00	0,33	16:00	0	22:00	0
04:30	0,48	10:30	0,325	16:30	0	22:30	0
05:00	0,48	11:00	0,32	17:00	0	23:00	0
05:30	0,48	11:30	0,125	17:30	0	23:30	0

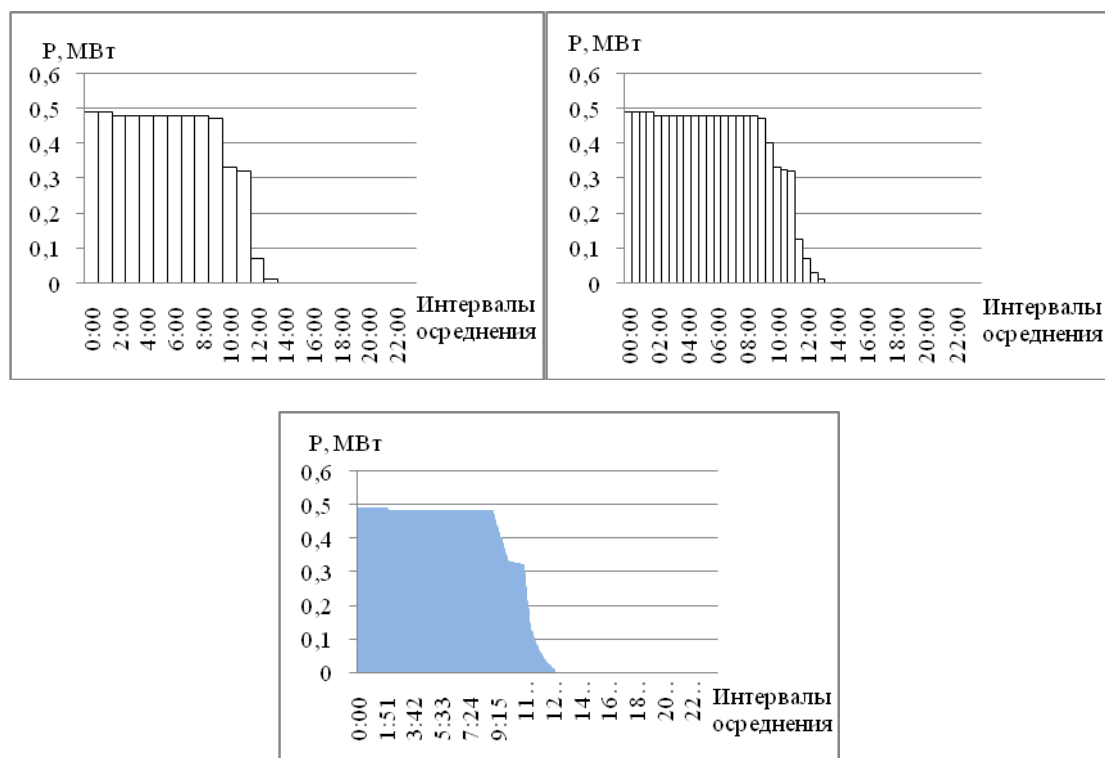


Рис. 1. Упорядоченные графики электрических нагрузок ф 2-02 подстанции № 2 ОАО «ММК» а) с временным интервалом 1 час; б) с временным интервалом 30 минут; в) с временным интервалом 3 минуты

Таблица 3. Графики нагрузки на примере фидера 2-02 подстанции № 2 ОАО «ММК» с временным интервалом 3 минуты

Интервалы осреднения	ф2-02ЦВС	Интервалы осреднения	ф2-02ЦВС	Интервалы осреднения	ф2-02ЦВС	Интервалы осреднения	ф2-02ЦВС
0:00	0,49	0:24	0,49	0:48	0,49	1:12	0,49

Продолжение таблицы 3

Интервалы осреднения	ф2-02 ЦВС	Интервалы осреднения	ф2-02 ЦВС	Интервалы осреднения	ф2-02 ЦВС	Интервалы осреднения	ф2-02 ЦВС
0:03	0,49	0:27	0,49	0:51	0,49	1:15	0,49
0:06	0,49	0:30	0,49	0:54	0,49	1:18	0,49
0:09	0,49	0:33	0,49	0:57	0,49	1:21	0,49
0:12	0,49	0:36	0,49	1:00	0,49	1:24	0,49
0:15	0,49	0:39	0,49	1:03	0,49	1:27	0,49
0:18	0,49	0:42	0,49	1:06	0,49	1:30	0,49
0:21	0,49	0:45	0,49	1:09	0,49	...	...

Упорядоченные графики электрических нагрузок схожи с Z-образной функцией принадлежности[1].

Расчеты установившихся режимов и потерь активной мощности выполнялись при помощи программного комплекса КАТРАН[2], разработанного на кафедре ЭПП МГТУ им. Г.И. Носова. Определение потерь по результатам расчёта установившегося режима позволяет выделить участки сети с повышенным значением потерь и разработать мероприятия по их снижению[3].

Расчет функции принадлежности выполнен следующим образом:

$$\mu_Z(P_i; P_{\min}, P_{\max}) = \begin{cases} 1, & P_i \leq P_{\min} \\ 1 - 2 \left( \frac{P_i - P_{\min}}{P_{\max} - P_{\min}} \right)^2, & P_{\min} < P_i \leq \frac{P_{\min} + P_{\max}}{2} \\ 2 \left( \frac{P_{\max} - P_i}{P_{\max} - P_{\min}} \right)^2, & \frac{P_{\min} + P_{\max}}{2} < P_i < P_{\max} \\ 0, & P_{\max} \leq P_i \end{cases}$$

Для расчета графиков нагрузки как нечетких интервалов была принята формула, позволяющая определить нагрузку для определенного уровня значимости (1-μ):

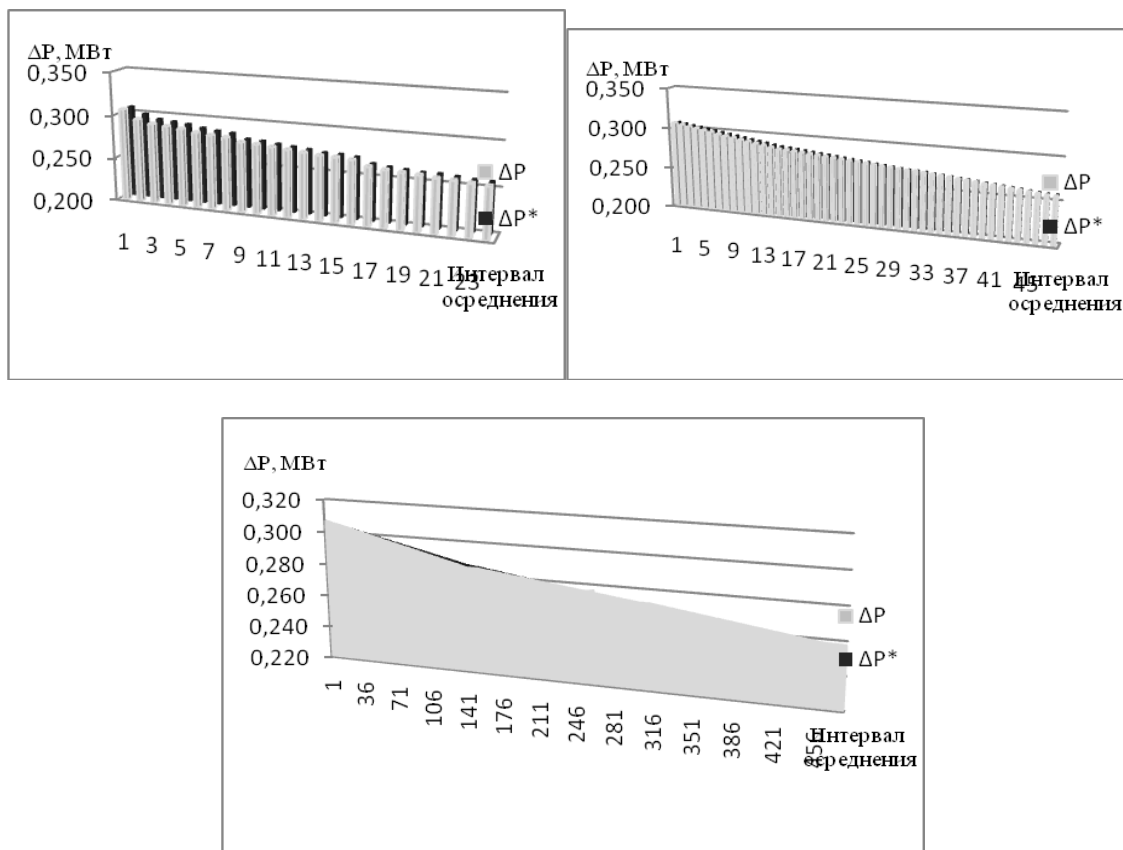
$$P^* = P_{\min} + (P_{\max} - P_{\min}) \cdot \mu(P_i).$$

Таблица 4 – Результаты расчета потерь активной мощности и его погрешность

Интервал осреднения	ΔP, МВт	ΔP*, МВт	δ(ΔP), %	ΔP, МВт	ΔP*, МВт	δ(ΔP), %	ΔP, МВт	ΔP*, МВт	δ(ΔP), %
0:00	0,3068	0,3068	0	0,3068	0,3068	0	0,3068	0,3068	0
2:00	0,2927	0,2948	-0,721	0,3052	0,3009	-0,281	0,3004	0,3009	-0,175
4:00	0,2898	0,2917	-0,663	0,3036	0,2951	-0,268	0,2941	0,2951	-0,359
6:00	0,2854	0,2867	-0,459	0,3020	0,2893	-0,256	0,2877	0,2893	-0,561
8:00	0,2805	0,2805	0	0,3012	0,2846	0	0,2876	0,2892	0
10:00	0,2781	0,2777	0,122	0,3003	0,2808	0,235	0,2875	0,2891	0,04
12:00	0,2753	0,2747	0,225	0,2995	0,2769	0,225	0,2770	0,2770	0,024
14:00	0,2734	0,2724	0,333	0,2987	0,2731	0,225	0,2737	0,2731	0,233
16:00	0,2664	0,2654	0,357	0,2978	0,2703	0,380	0,2712	0,2703	0,322
18:00	0,2635	0,2622	0,480	0,2968	0,2668	0,362	0,2675	0,2668	0,251
20:00	0,2609	0,2611	-0,088	0,2959	0,2633	0,294	0,2638	0,2633	0,175
22:00	0,2591	0,2584	0,255	0,2950	0,2598	0,186	0,2601	0,2598	0,118

Примечание: ΔP- потери, рассчитанные по реальным графикам электрических нагрузок;

$\Delta P^*$  - потери, рассчитанные на основе Z-образной функции принадлежности.



**Рис. 2.** Результаты расчета потерь активной мощности на примере доменного цеха ОАО «ММК» с различным интервалом осреднения графиков электрических нагрузок

Вывод: Результаты расчета потерь активной мощности, приведенные на примере системы электроснабжения доменного цеха ОАО «ММК» с различным интервалом осреднения, показывают, что систематическая погрешность расчета снижается с уменьшением интервала осреднения. Во всех случаях расчет погрешности не превышает допустимых значений.

#### Список литературы:

1. Конышева Л.К., Назаров Д.М. Основы теории нечетких множеств: Учебное пособие. – СПб.: Питер, 2011. – 192 с.
2. А.с. 2012612069 РФ. Программа «Комплекс автоматизированного режимного анализа КАТРАН 6.0»/ В.А. Игуменцев, А.В. Малафеев, О.В. Буланова, Ю.Н. Ротанова, Е.А. Панова, А.В. Хламова, В.М. Тарасов, Е.Б. Ягольникова, Н.А. Николаев, В.В. Зиновьев. – Оpubл. в бюл. «Программы для ЭВМ, БД, ТИМС», 2012, №2. – С. 500-501.
3. Игуменцев В.А., Заславец Б.И., Малафеев А.В., Буланова О.В., Ротанова Ю.Н. Модифицированный метод последовательного эквивалентирования для расчета режимов сложных систем электроснабжения// Промышленная энергетика. – 2008. – №6. – С. 16-22.

УДК 620.97

#### Система автономного освещения для регионов Сибири

Майкова О.В., Юрченко А.В.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г.Томск

[olga.majkova.77@mail.ru](mailto:olga.majkova.77@mail.ru)

Альтернативные и возобновляемые источники энергии, такие как энергия ветра и солнечного света, гидро - и геотермальная энергия, во всем мире привлекают все больше внимания. Растущий интерес к ним вызван экологическими соображениями, с одной стороны, и

ограниченностью традиционных земных ресурсов - с другой. Особое место среди альтернативных и возобновляемых источников энергии занимают фотоэлектрические преобразователи солнечной энергии, изучение которых превратилось в отдельное научное направление – фотовольтаику [1].

Источником энергии солнечного излучения служит термоядерная реакция. При использовании высокоэффективных методов преобразования энергии Солнце может обеспечивать бурно растущие потребности в ней практически вечно.

В докладе представлены результаты расчётов работы автономной системы освещения (АСО) с электропитанием от ветро-солнечной установки (ВСУ) основанных на проведённых в России в период с 2008г. по 2012гг климатических испытаниях в реальных условиях (г.Томск).

В большинстве регионов приход солнечной радиации и наличие ветра находятся в противофазе (когда светит яркое солнце, обычно нет ветра, а если дует сильный ветер, то нет солнца) [2]. Поэтому, для обеспечения бесперебойного электроснабжения автономного объекта, уменьшения необходимой мощности ветро-генератора (ВГ) и солнечной батареи и ёмкости аккумуляторной батареи, улучшения режимов работы станции во многих случаях целесообразно использование гибридной ветро-солнечной электростанции (ВСЭ).

Особенно ощущаются преимущества гибридных станций при круглогодичном использовании [3]. При этом в зимнее время основная выработка электроэнергии приходится на ветроэлектрическую установку, а летом - на солнечные фотоэлектрические модули [4].

В нашем случае, такая система (Рис.1.) состоит из:

Фотоэлектрической батареи и ВГ.

Аккумуляторной батареи – гелевой, напряжением 12 В.

Контроллеров заряда-разряда СБ и ВГ.

Нагрузки. В качестве нагрузки используем светодиодный светильник мощностью 80 Вт работающий в температурном диапазоне от  $-50^{\circ}\text{C}$  до  $+50^{\circ}\text{C}$ .

Электротехническое оборудование – предохранители, кабели, система заземления и т. д.



Рис. 1. Ветро-солнечный светодиодный столб уличного освещения

В автономной системе электроснабжения необходимо использовать только энергоэффективные приборы. Например, использование ламп накаливания очень не рекомендуется, т. к. они потребляют ток в 10 раз больший, чем светодиодные лампы [5]. Несмотря на то, что обычно энергоэффективные приборы дороже, их использование дает значительную экономию за счёт снижения мощности источника энергии и ёмкости АБ.

Светодиодный светильник освещения улиц и дорог SLED-Street-1 потребляемой мощностью 80 ( $\pm 3$ ) Вт, имеет световую отдачу 90 лм/Вт, световой поток не менее 7600 лм, драйвер дающий выходное напряжение 24 В, тип кривой силы света: широкая (Ш), класс защиты от поражения электрическим током I по ГОСТ Р МЭК 60598-1-2003, степень защиты оболочки светильника IP66 по ГОСТ 14254-6. Эквивалент мощности светодиодных ламп, по сравнению с обычными лампами, составляет: 1:10. Светильник работает от 6 часов (летом) и до 12 часов (зимой). Соответственно, получаем от 480 до 960 Вт потребляемой мощности (питание светильника) в сутки. Для двух облачных и безветренных дней (среднестатистические данные по Томской области) необходим запас мощности 1 920 Вт. При питающем напряжении 24 В светильник потребляет ток 3,3А.

Теперь определим ёмкость АБ. Системы, получающие энергию от возобновляемых источников, обычно накапливают её в аккумуляторах, а затем отдают в нагрузку [6]. Часто, оба эти процесса происходят независимо. За процессом заряда – разряда аккумулятора и потреблением тока нагрузкой следит контроллер.



Заряд аккумулятора происходит, если к нему приложен потенциал, превышающий его напряжение. Ток заряда аккумулятора пропорционален разности приложенного напряжения и напряжения холостого хода. Если ёмкость аккумулятора  $C$  заряжается за время  $t$ , то скорость заряда определяется соотношением  $C/t$ . Аккумулятор ёмкостью 200 А/ч при разряде со скоростью  $C/10$ , полностью разрядится за 20 часов. При этом, ток разряда составит  $200/10$ , или 20 А. Скорость заряда можно оценить и в длительностях цикла. Так, если аккумулятор заряжается за 20 часов, то говорят, что он имеет цикл 20 часов. Соответственно, током в 3,3А аккумуляторную батарею ёмкостью 200 А/ч мы разрядим полностью за  $(200/3,3)$  60 часов.

Допустимая глубина разряда АБ (Sonnenschein) 50 %. Данный аккумулятор имеет напряжение 12 В, является гелевым необслуживаемым в течение всего срока службы. Срок работы при температуре окружающей среды 200С и остаточной ёмкости 80 % 20 лет (при 50 % разряда 12 лет). При изменении температуры окружающей среды и, соответственно, аккумулятора, напряжение, характеризующее разряд, изменится на 0,03 В/0С.

В нашем случае  $200/3,3=60$  часов. При разряде АКБ на 50 % система будет работать 30 часов (без подзарядки извне).

При зарядке АКБ от ВГ и СБ, при хорошей солнечной активности и стабильном ветре, происходит быстрый заряд аккумулятора (до 90 % ёмкости) с последующим автоматическим переключением [7] на меньшую скорость заряда (до полной ёмкости), что регулируется контроллером заряда.

Ветер является одним из самых доступных источников энергии. В отличие от Солнца, он может «работать» и днём и ночью, на севере и на юге, летом и зимой.

Неравномерность поступления энергии от ВГ (нестабильность частоты вращения ВГ из-за скорости ветра) делает необходимым использование регулятора напряжения, который настраивается так, что на выходе поддерживается неизменное напряжение (отклонение – до 5 % при изменении частоты вращения ротора). Вращающий момент передаётся от вала ВГ (минимальная частота вращения без потери стабильности выходного напряжения 200-300 об/мин) к валу электрогенератора (номинальная частота вращения 5000 об/мин).

Вертикально-осевые ВГ имеют право на жизнь, но наукой и экспериментально доказана их низкая эффективность, по сравнению с горизонтально-осевыми. Высота мачты выше 8 м позволяет избежать «мёртвого угла», при котором даже средней силы ветер для «ветряка» бывает не эффективен [3].

Ветрогенератор VAWT -500 Вт, вертикально-осевой, предназначен для регионов с низкой среднегодовой скоростью ветра. Стартовая скорость ветра от 0,9 м/с. Номинальную мощность выдаёт при скорости ветра 8 м/с, что делает возможным применять его в регионах со слабыми ветрами. Температура эксплуатации от -500С до +500С (Рис.2.).

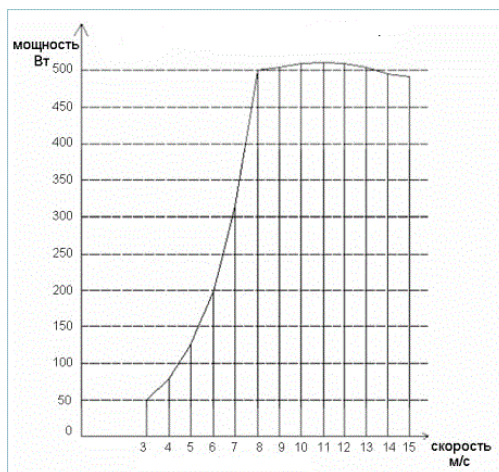


Рис. 2. Зависимость вырабатываемой мощности от скорости ветра.

Как видим, при среднегодовой скорости ветра 5 м/с (среднестатистическая скорость по Томской области), ВГ вырабатывает мощность 125 Вт/ч.

Оценить возможности энергетики на возобновляемых источниках энергии, в условиях Томска и окрестностей, позволили: демонстрационная солнечно-ветровая электрическая станция

(СВЭС) и малогабаритная автоматическая метеостанция оборудованные на плоской крыше НИИ ПП (Рис.3.).



Рис. 3. Солнечно-ветровая электростанция

Исследования показали, что инсоляция солнечного излучения на 1 м<sup>2</sup> для Томска и окрестностей составляет 670 Вт/ м<sup>2</sup>. В среднем на 1 м<sup>2</sup> земной поверхности приходится 1000 Вт/м<sup>2</sup>. Сезонный коэффициент зимой составляет 0,7 (за счёт рассеяния), а летом 0,5. Необходимая мощность массива солнечных модулей (СМ) будет составлять:  $1000 \cdot 80 / (0,55 \cdot 670) = 217$  Вт. Исследования также показали, что 50 % мощности даёт СМ, а 50 % ВГ. Тогда, нам потребуется СМ генерирующий 110 Вт и его площадь составляет 1 м<sup>2</sup>. СМ напряжением не ниже 15В, КПД 16 % и размерами 1,47\*0,73 м генерирует 125 Вт. СМ набираются из фотоэлементов 12,5\*12,5 см на любую мощность, напряжение, площадь и ток. В условиях средней продолжительности ясного дня и средней продолжительности ветра ВГ и СБ будут заряжать АБ полностью за 8 часов.

За зарядом-разрядом АБ следит контроллер. В гибридных системах лучше использовать два контроллера (отдельно для ВГ и отдельно для СБ) [8]. Эта схема использует параллельный способ подключения.

Сечение соединительных кабелей, обычно, подбирается из расчёта потерь не превышающих 2-3 % [7]. Электропроводка должна быть выполнена медным проводом и рассчитана на температуру 750С или выше [9].

Собрав все расчёты в общую цепочку, получим следующий алгоритм:

Мощность нагрузки 80 Вт на 24 В.

Потребляемый ток нагрузки:  $80/24=3,3$ А.

Средняя продолжительность работы светильника 12 ч в день. Система рассчитана на автономный режим (штиль, пасмурно) – 2 дня. Значит, светильник надо рассчитать на  $12 \cdot 2 = 24$  часа работы.  $80 \cdot 24 = 1920$  Вт.

Ёмкость аккумуляторной батареи составляет:  $2 \cdot 12 \cdot 3,3 = 80$  А/ч.

где: 2 – количество дней

12 – напряжение АКБ

3,3 – ток нагрузки

Так как аккумулятор может разряжаться до 50 %, то берём ёмкость с запасом на 150 А/ч

Требуемая мощность СМ определяется:

$1000 \cdot 80 / (0,55 \cdot 670) = 217$  Вт.

где: 1000 – инсоляция солнечного излучения на 1 м<sup>2</sup> в среднем земной поверхности.

80 – потребляемая мощность нагрузки

0,55 – поправочный коэффициент расчёта рабочей поверхности СМ летом (зимой 0,7)

670 - инсоляция солнечного излучения на 1 м<sup>2</sup> в Томской области

Т.к. мы используем гибридную систему СМ и ВГ, то мощность поступающую от СМ и ВГ делим поровну (исходя из экспериментальных данных местной метеостанции).

СМ размерами 1,47\*0,73,5 м =1,1 м генерирует 125 Вт, соответственно СМ с рабочей поверхностью 1,5 м<sup>2</sup> будет генерировать 170 Вт.

ВГ даёт мощность 125 Вт/ч

При средней продолжительной освещённости нашего региона 6 ч (зимой) и наличию ветра 8 ч (наименьший месяц) наша система даёт  $6 \cdot 170 = 1020$  Вт +  $8 \cdot 125 = 1000$  Вт = 2020 Вт.

Данная система полностью обеспечивает потребности требуемой мощности с небольшим запасом на потери в проводах:

$1920 \cdot 100 \% / 2020 (-100\%) = 5 \%$  (запас), что и требует система.

Для экономии потребления энергоресурсов в системе освещения используется, совместно с дистанционной, автоматическая система управления (АСУ).

Дистанционное управление может использоваться для проведения регламентных работ в дневное время суток и при выходе АСУ из строя.

АСУ уличным освещением работает под управлением контроллера, который формирует сигнал включения (выключения) светильника (группы светильников) с помощью фотореле по радиоканалу из диспетчерской.

Выводы:

По результатам мониторинга работы солнечно-ветровой электрической станции удалось разработать теоретически и реализовать практически работающую без выхода из строя в данных климатических факторах ветро-солнечную установку.

Отсутствие необходимости трудоемкого обслуживания, низкое потребление энергии, плюс экология, безопасность и использование современных технологий, делают выбор в пользу автономных систем освещения правильным и современным, отвечающий реалиям не только сегодняшнего дня, но и будущего. Максимальное использование возобновляемых источников энергии позволяет уменьшить негативное воздействие энергетики на окружающую среду и сохранить нашу планету для наших детей.

#### Список литературы:

1. Лукутин Б.В., Суржикова О.А., Шандарова Е.Б. Возобновляемая энергетика в децентрализованном энергоснабжении. – М.: Энергоиздат, 2008. – 231 с.
2. Безруких П.П. Ветроэнергетика (Справочное и методическое пособие). – М.: Энергия, 2010. – 320 с.
3. Кашкаров А.П., Ветрогенераторы, солнечные батареи и другие полезные конструкции. – М.: ДМК Пресс, 2011. – 144 с.
4. Афанасьев В.П., Теруков Е.И., Шерченков А.А. Тонкоплёночные солнечные элементы на основе кремния. - Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина). Минобрнауки России 2-е издание, 2011г. – 167с.
5. Юнович А.Э., Современное состояние и тенденции развития светодиодов и светодиодного освещения, МГУ им. М.В. Ломоносова.
6. Аккумуляторные батареи. Эксплуатация, техническое обслуживание и ремонт. / НИИАТ, - М., Транспорт, 2009
7. Байерс Т, 20 конструкций с солнечными элементами, перевод с английского Сидорова С.В. под редакцией д-ра тех. Наук Колтуна М.М.
8. Э. Парр. Программируемые контроллеры: руководство для инженера. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007.
9. СНиП 23-05-95 (Естественное и искусственное освещение).

#### **Повышение чувствительности дистанционных защит к коротким замыканиям за трансформаторами ответвлений для линий, защищаемых продольными дифференциальными токовыми защитами**

*Колесов Л.М., Можжухина В.В.*

*ФГБОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,  
Россия, г. Иваново  
[mvv277@gmail.com](mailto:mvv277@gmail.com)*

При осуществлении дистанционной защиты (ДЗ) линий с ответвлениями возникают значительные трудности в обеспечении требуемой чувствительности к коротким замыканиям (КЗ) за трансформаторами ответвлений. Это определяется в первую очередь тем, что на замер сопротивления влияет подпитка с противоположной стороны линии, при которой замер может быть значительно больше действительного сопротивления до места КЗ. Во вторых, реле сопротивления должно быть отстроено от нагрузочного режима линии. Причем переток мощности по линии может быть таким, что ток нагрузки соизмерим с током КЗ за трансформатором ответвления, а сопротивление нагрузочного режима близко к замеру сопротивления при КЗ за трансформатором. Еще большие трудности возникают при двухфазных КЗ за трансформатором со схемой соединения обмоток «звезда - треугольник».

В данной работе предлагается специальное выполнение дистанционной защиты (ДЗ) линий с ответвлениями напряжением 110 – 220 кВ [1], на которых в качестве основной защиты используется продольная дифференциальная токовая защита (ДЗЛ). Предполагается, что в микропроцессорных терминалах ДЗЛ также имеются функции резервных ступенчатых защит (КСЗ), в том числе и ДЗ.

В каждом из терминалов ДЗЛ (рис. 1) имеется информация о токе через защиту, токе противоположного конца линии, их сумма, а также напряжение на шинах в месте установки защиты ( $\dot{I}_1$ ,  $\dot{I}_2$ ,  $(\dot{I}_1 + \dot{I}_2)$  и  $\dot{U}_{ш}$ ).

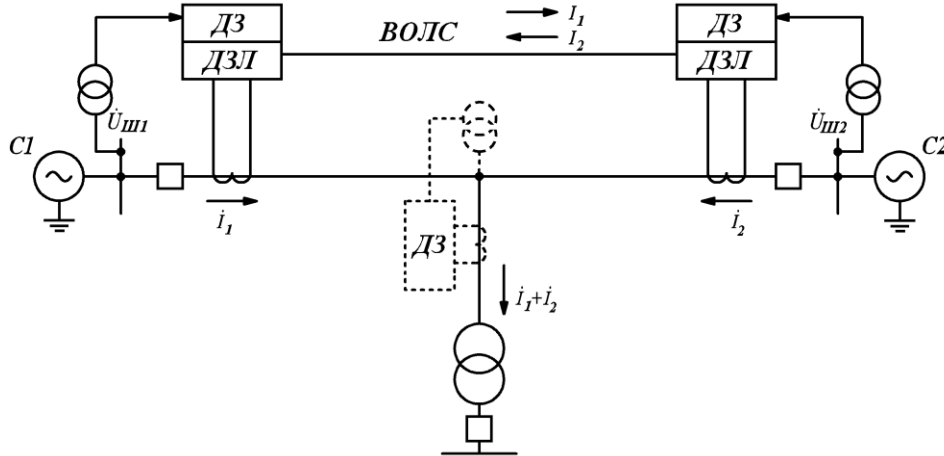


Рис.1. Схема виртуального ИО сопротивления, включаемого на междуфазное напряжение в месте ответвления и ток в ответвлении

Имея такие параметры, предлагается выполнить дополнительное виртуальное реле сопротивления, включаемое на междуфазное напряжение в месте ответвления и ток в ответвлении и предназначенное для действия только при КЗ за трансформатором ответвления.

Для получения напряжения в месте ответвления используется напряжение на шинах, компенсированное падением напряжения от тока на сопротивлении участка линии до ответвления. Для защиты 1 напряжение  $\dot{U}_{омв1}$  определяется по выражению:

$$\dot{U}_{омв1} = \dot{U}_{ш1} - \dot{I}_1 \cdot \underline{Z}_{л1},$$

где  $\dot{U}_{ш1}$  – напряжение на шинах подстанции в месте установки защиты,  $\underline{Z}_{л1}$  – сопротивление участка линии до ответвления;  $\dot{I}_1$  – ток через защиту.

Ток в ответвлении  $\dot{I}_{омв}$  определяется как сумма токов по концам линии:

$$\dot{I}_{омв} = \dot{I}_1 + \dot{I}_2,$$

где  $\dot{I}_2$  – ток противоположного конца линии.

При этом замер сопротивления измерительного органа определяется выражением:

$$\underline{Z}_{зам} = \frac{\dot{U}_{ш1} - \dot{I}_1 \cdot \underline{Z}_{л1}}{\dot{I}_1 + \dot{I}_2}.$$

В качестве подведенных величин, как и в традиционных измерительных органах сопротивления, используются междуфазные напряжения и соответствующие разности фазных токов. Например, для реле, включенного на междуфазное напряжение фаз А и В, замер сопротивления производится по выражению:

$$\underline{Z}_{замAB} = \frac{\dot{U}_{AB1} - \underline{Z}_{л1}(\dot{I}_{A1} - \dot{I}_{B1})}{(\dot{I}_{A1} - \dot{I}_{B1}) + (\dot{I}_{A2} - \dot{I}_{B2})}.$$

Для проверки предлагаемого алгоритма работы виртуального реле сопротивления проведены расчеты замеров сопротивления в различных режимах. На рис.2 представлена расчетная схема сети с указанием характерных точек КЗ.

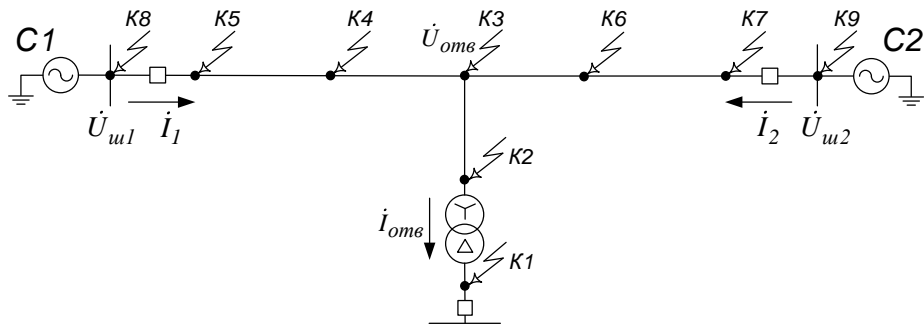


Рис.2. Расчетная схема для определения замера сопротивления предлагаемого реле При трехфазном КЗ за трансформатором ответвления (K1) сопротивление на зажимах защиты  $\underline{Z}_{зам}^{(3)}$  будет равно:

$$\underline{Z}_{зам}^{(3)} = \underline{Z}_{отв} + \underline{Z}_{мп} + r_n,$$

где  $\underline{Z}_{отв}$  – сопротивление ответвления;  $\underline{Z}_{мп}$  – сопротивление трансформатора ответвления;  $r_n$  – переходное сопротивление электрической дуги.

При двухфазном КЗ за трансформатором ответвления (Y/D) замер осуществляется для двух реле  $\underline{Z}_{зам1}^{(2)}$  и  $\underline{Z}_{зам2}^{(2)}$  и определяется по выражениям [2]:

$$\underline{Z}_{зам1}^{(2)} = \frac{2}{\sqrt{3}} \underline{Z}_{зам}^{(3)} \cdot e^{-j30^\circ} + \frac{1}{\sqrt{3}} \underline{Z}_{с.экв} \cdot e^{-j90^\circ},$$

$$\underline{Z}_{зам2}^{(2)} = \frac{2}{\sqrt{3}} \underline{Z}_{зам}^{(3)} \cdot e^{+j30^\circ} + \frac{1}{\sqrt{3}} \underline{Z}_{с.экв} \cdot e^{+j90^\circ},$$

где  $\underline{Z}_{с.экв}$  – эквивалентное сопротивление систем, определяемое по выражению:

$$\underline{Z}_{с.экв} = (\underline{Z}_{с1} + \underline{Z}_{л1}) // (\underline{Z}_{с2} + \underline{Z}_{л2}),$$

где  $\underline{Z}_{с1}$ ,  $\underline{Z}_{с2}$  – сопротивления систем C1 и C2.

При КЗ на стороне высшего напряжения трансформатора ответвления (K2) сопротивление на зажимах защиты будет равно:

$$\underline{Z}_{зам} = \underline{Z}_{отв} + r_n.$$

При металлическом КЗ в месте ответвления (K3) замер сопротивления равен нулю.

При металлическом КЗ на линии до ответвления (K4) замер сопротивления располагается в третьем квадранте плоскости Z и равен:

$$\underline{Z}_{зам} = (\underline{Z}_{л1\_кз} - \underline{Z}_{л1}) \cdot \frac{\dot{I}_1}{\dot{I}_1 + \dot{I}_2},$$

где  $\underline{Z}_{л1\_кз}$  – сопротивление от места установки защиты до места КЗ.

При КЗ в начале линии (K5) замер сопротивления располагается в третьем квадранте плоскости Z и равен:

$$\underline{Z}_{зам} = -\underline{Z}_{л1} \cdot \frac{\dot{I}_1}{\dot{I}_1 + \dot{I}_2}.$$

При КЗ на линии после ответвления (K6) замер сопротивления располагается в первом квадранте плоскости Z и равен:

$$\underline{Z}_{зам} = \underline{Z}_{л2\_кз} \cdot \frac{\dot{I}_1}{\dot{I}_1 + \dot{I}_2},$$

где  $\underline{Z}_{л2\_кз}$  – сопротивление от места ответвления до места КЗ.

При КЗ в конце линии (K7) замер сопротивления располагается в первом квадранте плоскости Z и равен:

$$\underline{Z}_{зам} = \underline{Z}_{л2} \cdot \frac{\dot{I}_1}{\dot{I}_1 + \dot{I}_2}.$$

При внешнем КЗ «за спиной» (К8) замер сопротивления равен:

$$\underline{Z}_{зам} = (\underline{Z}_{с1\_кз} - \underline{Z}_{л1}) \cdot \frac{\dot{I}_1}{\dot{I}_1 + \dot{I}_2} = (\underline{Z}_{с1\_кз} - \underline{Z}_{л1}) \cdot \frac{\dot{I}_1}{\dot{I}_{нагр\_отв}},$$

где  $\underline{Z}_{с1\_кз}$  – сопротивление от места установки защиты до места КЗ в системе С1;  $\dot{I}_{нагр\_отв}$  – ток нагрузки ответвления.

При внешнем КЗ за защищаемой линией (К9) замер сопротивления равен:

$$\underline{Z}_{зам} = (\underline{Z}_{л2} + \underline{Z}_{с2\_кз}) \cdot \frac{\dot{I}_1}{\dot{I}_1 + \dot{I}_2} = (\underline{Z}_{л2} + \underline{Z}_{с2\_кз}) \cdot \frac{\dot{I}_1}{\dot{I}_{нагр\_отв}},$$

где  $\underline{Z}_{с2\_кз}$  – сопротивление от конца линии до места КЗ в системе С2.

В нагрузочном режиме сумма токов по концам защищаемой линии равна току нагрузки ответвления. Поэтому замер сопротивления оказывается равным сопротивлению нагрузки ответвления.

На рис. 3 приведены результаты расчета сопротивлений на зажимах виртуальной защиты в различных режимах.

Анализ полученных результатов показал следующее. При КЗ на ответвлении замер сопротивления виртуального реле оказывается таким же, как у реального реле, включаемого на междуфазное напряжение в месте ответвления и ток в ответвлении. Для любого вида междуфазного КЗ до трансформатора и за трансформатором с соединением обмоток «звезда - звезда», а также при трехфазном КЗ за трансформатором с соединением обмоток «звезда – треугольник» замер сопротивления оказывается равным действительному сопротивлению до места КЗ. При двухфазном КЗ за трансформатором замер искажается, но влияние подпитки все равно устраняется.

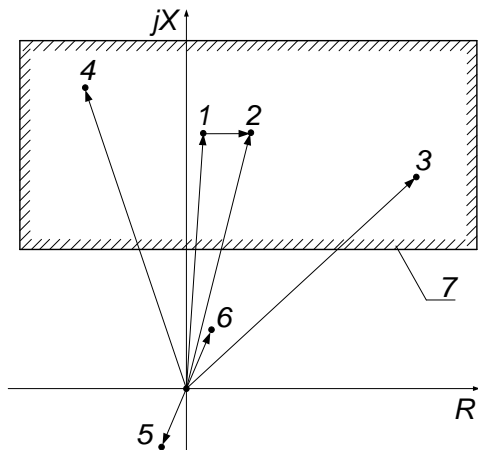


Рис.3. Замер сопротивления виртуального реле при КЗ в различных точках расчетной схемы и характеристика срабатывания реле: 1 – при металлическом трехфазном КЗ в т.К1; 2 – при трехфазном КЗ через переходное сопротивление в т.К1; 3 – при двухфазном КЗ через переходное сопротивление в т.К1; 4 – при двухфазном КЗ через переходное сопротивление в т.К1; 5 – при металлическом КЗ в т.К5; 6 – при металлическом КЗ в т.К7; 7 – характеристика срабатывания реле.

При внешних КЗ и в нагрузочном режиме замер сопротивления значительно больше замера сопротивления при КЗ в зоне

действия виртуального реле.

При КЗ на линии до ответвления замер у виртуального реле оказывается фиктивным, располагается в третьем квадранте и не превышает значения сопротивления линии до ответвления. При КЗ на линии после ответвления замер у виртуального реле оказывается фиктивным, располагается в первом квадранте и не превышает значения сопротивления линии после ответвления.

Замер сопротивления при КЗ за трансформатором ответвления, как при металлическом, так и через переходное сопротивление, существенно отличается от замеров сопротивления при КЗ в других расчетных точках, что свидетельствует о возможности выполнить дополнительную ступень ДЗ, основанную на данном принципе.

Для выполнения защиты, чувствительной к КЗ за трансформатором ответвления и отстроенной от всех других КЗ, предлагается использовать характеристику срабатывания

измерительного органа сопротивления в виде прямоугольника, охватывающего область замеров сопротивлений при КЗ за трансформатором (рис.3).

При неисправности цепей напряжения предлагается использовать реле тока, включаемое на сумму токов по концам защищаемой линии. Это реле должно отстраиваться только от тока нагрузки ответвления, а не от значительно большего тока нагрузки линии. Поэтому суммарная токовая защита обеспечивает значительно большую чувствительность, чем существующие токовые защиты.

**Заключение.**

Для действия при КЗ за трансформатором ответвления предлагается выполнить дополнительное виртуальное реле сопротивления, включаемое на междуфазное напряжение на шинах, компенсированное падением напряжения от тока на сопротивлении участка линии до ответвления, и сумму токов по концам линии. При КЗ на ответвлении виртуальное реле оказывается как бы включенным в сеть с односторонним питанием, где отсутствует загромождающая защиту влияние подпитки от противоположной системы и перетока мощности по линии. Поэтому чувствительность предлагаемой защиты оказывается значительно выше существующей. Для обеспечения несрабатывания в режимах без КЗ достаточно обеспечить отстройку от тока нагрузки только трансформатора ответвления, а не от перетока мощности по линии, что значительно улучшает отстроенность от нагрузочных режимов.

При неисправности цепей напряжения предлагается использовать реле тока, включаемое на сумму токов по концам защищаемой линии, обеспечивающее большую чувствительность, чем существующие токовые защиты.

#### Список литературы:

1. Федосеев А.М. Релейная защита электрических систем. – М.: Энергия, 1976. – 520 с.
2. Руководящие указания по релейной защите. Вып. 7: Дистанционная защита линий 35-330 кВ. М. – Л.: Энергия, 1966. – 172 с.

#### Показатели экономической эффективности ветропарков

*Отрощенко А.А., Чернов С.С.*

*Новосибирский государственный технический университет, Россия, г. Новосибирск*

[alena.otroshchenko@gmail.com](mailto:alena.otroshchenko@gmail.com)

По оценке Европейской ассоциации ветроэнергетики EWEАв ближайшие годы благодаря совершенствованию технологий удельная стоимость энергии ВЭС будет снижаться [1]. В настоящее время такой тенденцией традиционная энергетика не обладает: ввиду роста цен на топливно-энергетические ресурсы, а так же ужесточения экологических требований к угольным и газовым установкам тарифы на электроэнергию постоянно растут.

При проектировании ветроэнергетических установок для прогнозирования выработки электроэнергии используется показатель, оценивающий эффективность работы станции – коэффициент использования установленной мощности. Он зависит как от графика нагрузки и частоты ремонтов, так и от наличия ветра и его характеристик. Согласно исследованиям [3], к районам с высокими значениями КИУМ относятся побережья полярных и дальневосточных морей. Здесь расчетные значения КИУМ современных ВЭУ мощности 2-3 МВт с высотами башен достигают 35-38% в зимний и 27-30% в летний период. Расчетные значения коэффициентов использования установленной мощности некоторых территорий России представлены в таблице.

Таблица 1. Расчетные значения годовых КИУМ

Регион	Высота мачты		
	15	50	100
Север ЕТР	11,9	24,3	30,5
Центр ЕТР	8	17,2	23,6
Южный Урал	11,2	20,8	27,3
Север Дальнего Востока	18,3	24,9	29,6
Юг Дальнего Востока	9,6	21,7	27,7

КИУМ ветростанций зависит от многих конструктивных особенностей, но, в конечном счете, от профиля лопасти и от степени ее шероховатости, а так же соотношению между

скоростью вращения лопастей и скоростью ветра, называемом коэффициентом быстроходности. Независимо друг от друга АБетц и Н.Е. Жуковский в начале 20 века определили максимальное значение КИУМ ВЭС равное 0,593, то есть даже идеальная ветроустановка должна пропускать мимо себя порядка 40% энергии набегающего потока.

В настоящее время суммарная установленная мощность ВЭС России составляет около 15 МВт, существует порядка 11 ВЭС средней мощности, опыт которых может быть использован при планировании новых объектов. В таблице представлены КИУМ четырех ВЭС России за три года эксплуатации.

Таблица 2. КИУМВЭС России [2]

ВЭС	Показатели	2000	2001	2002
Зеленоградская (Калининградская обл.)	<i>уст.мощность, МВт</i>	1,5	1,5	2,625
	<i>отпуск э/э, млн.кВт*ч</i>	0,979	2,157	4,186
	КИУМ, %	7	16	18
Никольское (о. Беринга, Камчатка)	<i>уст.мощность, МВт</i>	0,5	0,5	0,5
	<i>отпуск э/э, млн.кВт*ч</i>	0,826	0,728	0,523
	КИУМ, %	19	17	12
Заполярная (респ. Коми)	<i>уст.мощность, МВт</i>	1,5	1,5	1,2
	<i>отпуск э/э, млн.кВт*ч</i>	0,107	0,173	0,392
	КИУМ, %	1	1	4
Тюпкельды (Башкортостан)	<i>уст.мощность, МВт</i>	2,2	2,2	2,2
	<i>отпуск э/э, млн.кВт*ч</i>	0,819	0,785	1,206
	КИУМ, %	4	4	4

Наибольший КИУМ удалось достичь в с. Никольское. Несмотря на малую установленную мощность, отпуск в сеть станции превышает показатели более крупных ВЭС. Эксплуатация данной ВЭС показала КИУМ близкий к расчетному, но это единичный случай. Как видно из таблицы, реальные показатели эффективности не всегда совпадают с теоретическими расчетными данными. Наихудшие параметры – у Заполярной ВЭС, здесь КИУМ не превысил 5%.

Заполярная ВЭС – станция, установленная в условиях Крайнего Севера. Годовая температура воздуха в регионе колеблется от -52°C до +35°C, при среднегодовой температуре -6,3°C. Специально для данного проекта была усовершенствована типовая установка АВЭ-250 производства «Южмаш» - использована сталь 09Г2С, низкотемпературные смазочные масла и применены специальные типы силовых и контрольных кабелей. Низкие показатели эффективности станции следует связывать в первую очередь с малой среднегодовой скорости ветра – 5,6 м/с (летом 4,5 м/с). Кроме того в период 10-летней эксплуатации работали не 6, а 5 ВЭУ [4]. В настоящий момент станция не функционирует и заброшена. Ожидаемые показатели экономической эффективности в результате функционирования ВЭС достигнуты не были. Этот и многие другие примеры строительства ветропарков доказывают, что при проектировании других аналогичных ВЭС следует учитывать:

*Географическое положение объекта.* В первую очередь при проектировании ВЭС следует учесть наличие валового потенциала ветроресурсов. В районах со среднегодовыми скоростями ветра от 6 м/с и выше использование энергии ветра становится выгодным для ВЭС любого назначения в широком диапазоне мощностей.

*Топология местности.* Поскольку рассматриваемый регион представляется как совокупность участков, или зон, в каждой из которых удельная мощность ветровой энергии одинакова, а географические, климатические и погодные условия являются однородными по всей площади зоны. Как правило, зоны должны соответствовать расположению метеорологических станций и занимать площадь радиусом не более 250 км. Наиболее благоприятными местами считаются возвышенные и равнинные участки, места, близкие к морским побережьям долинам больших рек и водоемов. Следует избегать мест с вогнутой формой рельефа, а также мест вблизи лесов, жилых домов и производственных объектов, которые могут помешать беспрепятственному подходу воздушных масс к ветроустановке.

*Высота мачты.* При установившемся ветровом потоке скорость ветра возрастает с увеличением высоты над поверхностью земли. Соответственно, вероятность повышения КИУМ возрастает.



Таблица 3. Коэффициент возрастания средней скорости ветра с высотой

Высота, м	10	20	40	60	80	100
Коэффициент	1	1,15	1,32	1,44	1,53	1,6

Следует однако отметить, что повышения уровня ротора над землей влечет за собой увеличение капитальных затрат на возведение мачты. Зачастую строительство крупных ВЭС требует привлечения специальной техники – от судов для доставки крупных частей станции, до специализированных кранов для сборки ВЭС. Поэтому еще одним критерием оценки эффективности проекта ВИЭ являются *удельные капитальные затраты* на строительство установки. Ввиду того, что эксплуатационные затраты ВЭС минимальны, по сравнению с традиционной энергетикой, наибольший интерес при рассмотрении проектов ВИЭ представляют именно капитальные затраты.

Таблица 3. Удельные капитальные затраты на строительство ВЭУ 1,5 МВт, €/кВт

Модель ВЭУ	Высота мачты		
	65	85	97
ENERCON	886	950	1033
NORDEX SUDWIND	971	1028	1091
Repower Systems	914	975	-
Fuhrlander FL MD	963	1021	-
<i>Среднее по 4 ВЭУ</i>	<i>936</i>	<i>996</i>	<i>1062</i>

На результирующие показатели проекта установки ветропарка влечет не только валовый потенциал ветроресурсов, но и технический и, в итоге экономический. Технический потенциал определяется развитием технологий и показывает, насколько валовый потенциал может быть освоен с помощью существующих технологий. В настоящее время развитие машиностроения энергетики идет большими темпами. Крупнейший в мире ветропарк был запущен в эксплуатацию в июле 2013 года – LondonAtray, принадлежащий DONG Energy (Дания), Madsar (ОАЭ) и E.ON (Германия). Мощность ветропарка составляет 630 МВт. Компания Siemens установила 175 ветровых турбин, диаметр ротора каждой из которых составляет 120 метров, а мощность — 3,6 МВт[5]. Современные технологии позволяют установку ветропарков в прибрежных зонах или же в суровых климатических условиях. Экономический потенциал определяется потребностью региона в дополнительных энергоресурсах, с учетом сложившихся тарифов на электроэнергию, цен на оборудование, материалы, транспортные услуги.

В случае, если регион обладает недостаточным валовым потенциалом ресурсов, или же нет необходимости в покрытии спроса на энергетические ресурсы, то окупаемость проекта будет затруднительна. Согласно исследованиям агентства прогнозирования балансов в энергетике, можно выделить 18 регионов России, в которых планируется увеличение электропотребления в ближайшие несколько лет. Три мыса в стране являются идеальными для строительства ветропарков: Лопатка в Камчатской области, Крильон в Сахалинской области, Марресале в Тюменской области. Скорость ветра на этих территориях в течение года составляет в среднем 9,7 м/с, максимум достигается летом и составляет 18 м/с, минимум – летом – 4 м/с. При таких условиях существует большая вероятность, что строительство ветропарка будет экономически целесообразно.

Лишь после проведения первичного анализа соответствия показателей проекта перечисленным требованиям, можно проводить оценку эффективности известными методиками и делать выводы согласно стандартным показателям, единым для любых инвестиционных проектов.

#### Список литературы:

1. Безруких П.П. Ветроэнергетика: справочное и методическое пособие. – М.: ИД «ЭНЕРГИЯ», 2010. – 320 с.
2. Безруких П.П. Концепция использования ветровой энергии в России. – М.: 2005. – 127 с.
3. Денк С.О. Энергетические источники и ресурсы близкого будущего. – М.: 2007. – 324 с.
4. Харитонов В.П. Основы вероэнергетики. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2010. – 340 с.
5. <http://news.siteua.org>

**Энергоэффективное управление асинхронным электроприводом по критерию постоянства перегрузочной способности**

**Смолин В.И., Топольская И.Г.**

«Южно-Уральский государственный университет» (национальный исследовательский университет), Россия, г. Челябинск  
[irina\\_topol71@mail.ru](mailto:irina_topol71@mail.ru)

В широком диапазоне нагрузок, не требующих высокого быстродействия, на первый план выдвигается задача энергоэффективного управления электроприводом (ЭП). Вопросам оптимального управления ЭП посвящено большое число публикаций, рассмотренных более подробно в [1]. Отсутствие или сложность алгоритмов программирования и формирования переменных управления ЭП по предложенным законам управления затрудняет их техническую реализацию.

В настоящей работе рассматривается метод энергоэффективного управления трехфазным асинхронным двигателем (АД), работающем в составе ЭП с преобладающей механической инерционностью  $T_m \gg T_э$ , где  $T_э$  – электрическая постоянная АД. В основу решения поставленной задачи положен метод обобщенного энергопотока трехфазных электрических машин [2], согласно которому процесс сквозного электромеханического преобразования АД во временной области представлен системой уравнений баланса мощности:

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} U_1(t) \cdot I_1(t) \cdot \cos \varphi_1(t) - I_1^2(t) \cdot R_1 - \sum P_{Li}(t) \\ U_1(t) \cdot I_1(t) \cdot \sin \varphi_1(t) - I_1^2(t) \cdot X_1 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} R_0 & R_2/s(t) \\ X_0 & X_2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_0^2(t) \\ I_2^2(t) \end{bmatrix}, \\ \sum P_{Li}(t) &= L_0 \cdot I_0(t) \cdot I_0'(t) + L_1 \cdot I_1(t) \cdot I_1'(t) + L_2 \cdot I_2(t) \cdot I_2'(t), \\ I_2^2(t) \cdot R_2 &= (\omega_0(t) - \omega(t)) \cdot \left( M_c(t) + J \frac{d\omega(t)}{dt} \right). \end{aligned} \quad (1)$$

Параметры Т-образной схемы замещения АД имеют следующую зависимость от текущего значения синхронной частоты  $\omega_0(t)$ :

$$\begin{aligned} X_1 &= X_{1н} \cdot (\omega_0(t)/\omega_{0н}), \quad X_0 = X_{0н} \cdot (\omega_0(t)/\omega_{0н}), \quad X_2 = X_{2н} \cdot (\omega_0(t)/\omega_{0н}), \\ s(t) &= (\omega_0(t) - \omega(t))/\omega_0(t), \quad R_0 = R_{0н} \cdot (\omega_0(t)/\omega_{0н})^2 \cdot (I_0(t)/I_{0н})^2. \end{aligned} \quad (2)$$

Алгоритмы вычисления обобщенных переменных  $U_1(t)$ ,  $I_1(t)$ ,  $P_1(t)$ ,  $\cos \varphi_1(t)$  указаны в вычислителе монитора нагрузки (рис. 1). Расчет этих величин выполняется по мгновенным значениям фазных токов и напряжений, полученных с помощью блока S измерительных преобразователей.

Уравнение динамического момента [2] имеет следующую структурную зависимость от тока и напряжения АД:

$$M_c(t) + J(d\omega/dt) = k \cdot (a \cdot I_1^2(t) + b \cdot U_1(t) \cdot I_1(t) - c(t)), \quad (3)$$

$$\text{где } k = \frac{R_2}{\omega_0 \cdot (R_2 \cdot X_0 - R_0 \cdot X_2 \cdot s(t))}, \quad a = -(X_0 \cdot R_1 - X_1 \cdot R_0),$$

$$b = X_0 \cdot \cos \varphi_1(t) - R_0 \cdot \sin \varphi_1(t), \quad c(t) = X_0 \cdot (\sum P_{Li}(t)).$$

Из (3) определяем общее решение задачи амплитудного управления динамическим моментом:

$$U_1(\omega_{0i}, s_i, I_1, t) = \frac{M_c(t) + J \frac{d\omega}{dt} - k \cdot a \cdot I_1^2(t) + k \cdot c(t)}{k \cdot b \cdot I_1(t)}. \quad (4)$$

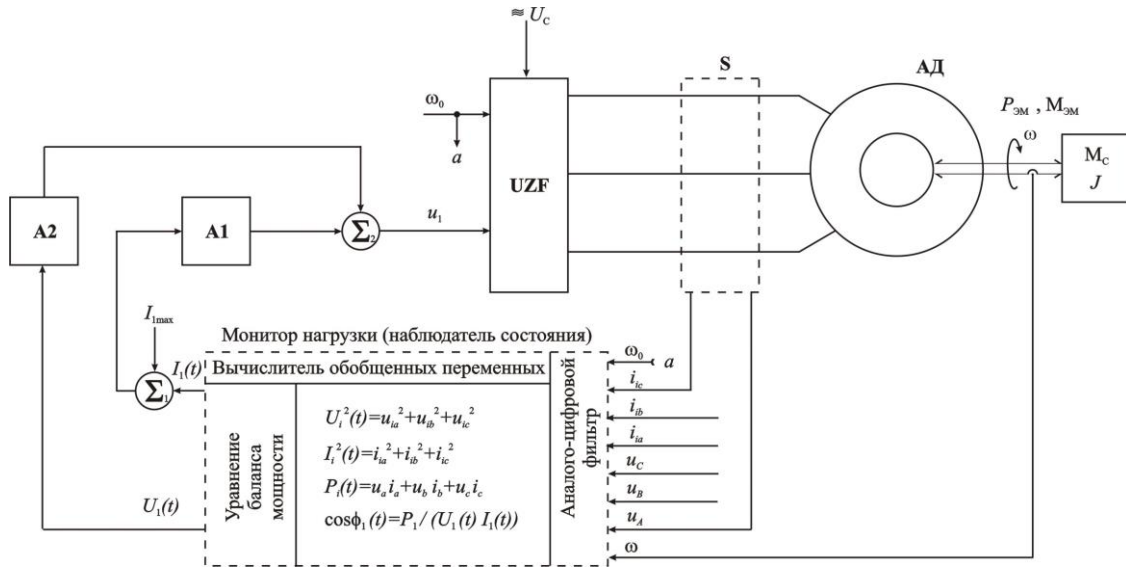


Рис. 1. Функциональная схема контура управления амплитудой напряжения АД; UZF — преобразователь частоты; S — блок измерительных преобразователей; A1 и A2 — регуляторы

Наличие в уравнениях (1), (3), (4) производных от неконтролируемых напрямую токов ветви намагничивания  $I_0(t)$  и ротора  $I_2(t)$  не позволяет получить универсальные алгоритмы вычисления переменных энергоэффективного управления. Отмеченное ранее упрощение сводится к обнулению в (3) и (4) мощности индуктивных элементов  $\sum P_{Li}(t) = 0$ .

Рассмотрим решение поставленной задачи применительно к реализации желаемой механической характеристики АД в первой зоне регулирования (рис. 2).

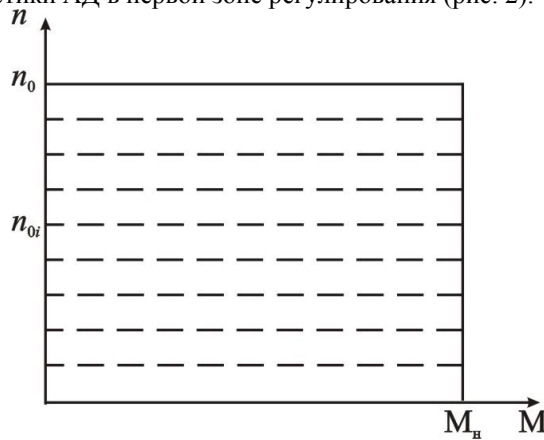


Рис. 2. Желаемая механическая характеристика АД в первой зоне регулирования

Стабилизацию угловой скорости на горизонтальном участке механической характеристики будем выполнять чисто амплитудным управлением моментом. Полученный ранее закон управления (3) нуждается в уточнении с учетом выбранного режима работы и критерия энергоэффективности АД. Исследуем уравнение момента (3) на экстремум в установившихся режимах АД, выбрав в качестве аргумента ток  $I_1$ :

$$\frac{dM_c}{dI_1} = k \cdot (2a \cdot I_1 + b \cdot U_1) = 0, \quad I_3 = -\frac{b \cdot U_1}{2a}, \quad M_3 = -\frac{k \cdot b^2 \cdot U_1^2}{4a}. \quad (5)$$

Понятие экстремальной точки механической характеристики АД введено Ю.П. Петровым [3]. Экстремальный момент  $M_3$  обозначен им как критический  $M_{кр}$ , а паспортный момент  $M_{max}$  как опрокидывающий  $M_{опр}$ . Момент  $M_3$  превышает  $M_{max}$  в 2 ... 3 раза, а ток  $I_3$  во столько же раз превышает пусковой. То есть экстремальная точка находится за пределами естественной механической характеристики АД. Несмотря на виртуальный характер экстремального режима,

момент  $M_3$  оказался полезным для решения поставленной задачи. Будем управлять текущим моментом  $M_c$  таким образом, чтобы во всем диапазоне регулирования сохранялась одинаковая перегрузочная способность:  $M_c/M_3 = C_M = \text{const}$ . Этому условию соответствуют уравнения

$$U_1^2 + U_1 \cdot \frac{4a \cdot I_1}{C_M \cdot b} + \frac{4a^2 \cdot I_1^2}{C_M \cdot b^2} = 0, \quad U_{1,2} = -\frac{2a \cdot I_1}{C_M \cdot b} \left(1 \pm \sqrt{1 - C_M}\right).$$

Исключив промежуточные коэффициенты, получим

$$U_{1,2}(t) = I_1(t) \cdot \frac{2(R_1 \cdot X_0 - R_0 \cdot X_1)}{C_M \cdot (X_0 \cdot \cos \varphi_1(t) - R_0 \cdot \sin \varphi_1(t))} \left(1 \pm \sqrt{1 - C_M}\right). \quad (6)$$

Назовем формулу (6) законом Ома для энергоэффективного управления моментом АД по критерию постоянства перегрузочной способности. Уравнение содержит минимальное число физических параметров, три из которых  $X_0$ ,  $R_0$  и  $\varphi_1$  изменяются в процессе управления в зависимости от принятой методики учета насыщения магнитной цепи АД. Динамические процессы в механической части привода учитываются в (6) переменными  $I_1(t)$ ,  $\cos \varphi_1(t)$  и  $\sin \varphi_1(t)$  вследствие сквозной электромеханической связи в обобщенном энергопотоке (1).

Эффективность полученного закона управления рассмотрим на конкретном примере. Из многочисленных предложений учета нелинейности параметров ветви намагничивания выберем квадратичную аппроксимацию магнитных потерь [4] и арктангенсную зависимость основного магнитного потока, применяемую в [5]. Тогда

$$R_0 \cong R_{0н} \cdot \left(\frac{\omega_0}{\omega_{0н}}\right)^2 \cdot \left(\frac{I_1}{I_{1н}}\right)^2, \quad L_0 \cong L_{0н} \cdot \frac{\alpha}{1 + (I_1/I_{1н})^2}. \quad (7)$$

Расчеты выполнены при  $\alpha = 2$ . Замена относительного тока  $I_0/I_{0н}$  на  $I_1/I_{1н}$  в формулах (7) является вынужденной мерой, позволяющей избежать цикличности выполнения расчетов в мониторе нагрузки. На рис. 3 приведены результаты моделирования коэффициента полезного действия АД при амплитудном управлении моментом по критерию  $C_M = \text{const}$  на горизонтальных участках механической характеристики в первой зоне регулирования (рис. 2).

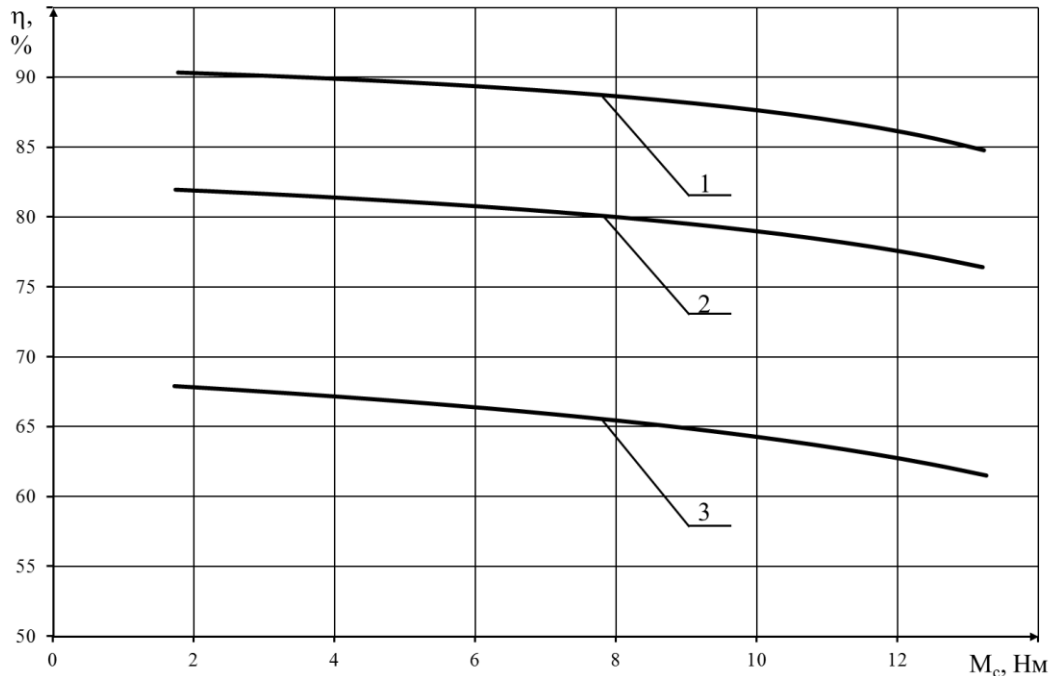


Рис. 3. — Зависимость коэффициента полезного действия АД 4А100S2У3 от момента при амплитудном управлении по критерию  $C_M = 0,33 = \text{const}$ :

- 1 —  $\omega_{0н} = 314$  рад/с = const,  $n = 2900$  об/мин = const;
- 2 —  $\omega_0 = 0,5 \omega_{0н} = \text{const}$ ,  $n = 1450$  об/мин = const;
- 3 —  $\omega_0 = 0,25 \omega_{0н} = \text{const}$ ,  $n = 725$  об/мин = const.

Данное исследование подтверждает высокую энергоэффективность амплитудного управления моментом АД по критерию постоянства перегрузочной способности. Алгоритмы управления (6) и (7) можно достаточно просто запрограммировать в вычислителе монитора нагрузки (рис. 1). Здесь же показан пример построения контура управления амплитудой напряжения АД, позволяющий сформировать переменную управления  $u_1$  по результатам вычислений обобщенных тока  $I_1(t)$  и напряжения  $U_1(t)$  в соответствии с вышеизложенными алгоритмами.

#### Список литературы:

1. Макаров, В.Г. Оптимальное управление токами электрических машин / В.Г. Макаров, В.А. Матюшин // Вестник Казанского государственного университета. — 2010. — № 11. — С. 186 – 194.
2. Смолин, В.И. Основы теории обобщенного энергопотока трехфазных электромеханических преобразователей / В.И. Смолин, И.Г. Топольская // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». — 2013. — № 1(13). — С. 128 – 135.
3. Петров, Ю.П. Оптимальное управление электрическими приводами с учетом ограничений по нагреву / Ю.П. Петров. — Л.: Ленинградское отделение Энергия, 1971. — 143 с.
4. Смолин, В.И. Об одном методе определения вращающего момента электрических машин / В.И. Смолин, Д.В. Топольский, Н.Н. Гудаев // Электричество. — 1999. — № 7. — С.27 – 30.
5. Волков, А.В. Оптимальное по минимуму общих потерь мощности управление частотно-регулируемым асинхронным электроприводом с АИН-ШИМ / А.В. Волков, Ю.С. Скалько // Электротехника. — 2008. — №9. — С. 21 – 33.

#### Взаимосвязь качества электроэнергии и режима заземления нейтрали в сетях 6-35 кВ

*Кочура Д.В., Цивилёв И.Ю.*

*ООО «БОЛИД», Россия, г. Новосибирск*

*tsiviliov\_igor86@mail.ru*

Согласно ГОСТ Р 54149-2010 [1] качество электроэнергии характеризуется целым рядом параметров. В сетях 6-35 кВ при заземлении нейтрали сети через дугогасящий реактор (ДГР) и его настройке, близкой к резонансной, в ряде случаев возникает напряжение смещение нейтрали такой величины, при котором качество электроэнергии не удовлетворяет нормам по коэффициенту несимметрии напряжений, в частности, по нулевой последовательности ( $K_{0V}$ ).

Основными причинами несимметрии фазных напряжений являются [2]:

- неполнофазная работа линий, возникающая при отключении одной из фаз линии при коротких замыканиях или при более долговременном отключении при пофазных ремонтах и т.д.
- неодинаковая нагрузка фаз элементов сети, вызываемая работой электроприемников с нестабильной нагрузкой (например, дуговые сталеплавильные печи) и однофазных электроприемников (особенно в сетях 0,4 кВ);
- неравенство фазных параметров линий. Наибольшие отличия характерны для воздушных линий (ВЛ) в виду различной высоты подвеса проводов.

На рисунке 1 приведен пример осциллограммы натурных измерения фазных напряжений и расчетного напряжения нулевой последовательности в сети 10 кВ ПС «Майминская».

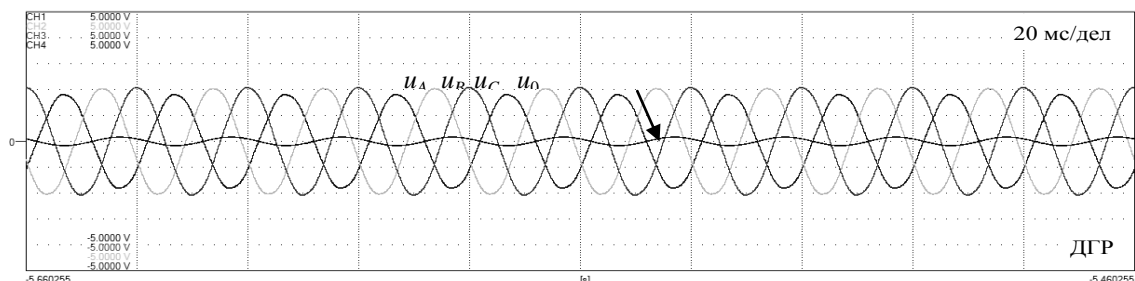


Рис. 1. – Осциллограмма фазных напряжений и напряжения нулевой последовательности в нормальном режиме работы сети 10 кВ ПС «Майминская». Нейтраль сети заземлена через ДГР.

Следует отметить, что с целью ограничения перенапряжений при однофазных замыканиях на землю (ОЗЗ) сети 10 кВ ПС «Майминская» параллельно ДГР был установлен резистор номиналом 1000 Ом (осциллограмма измерений приведена на рисунке 2).

Была выполнена обработка осциллограмм фазных напряжений в нормальном режиме сети 10 кВ ПС «Майминская», с использованием метода симметричных составляющих были получены напряжения прямой, обратной и нулевой последовательностей согласно ГОСТ Р 51317.4.30-2008 [3]:

$$\underline{U}_1 = \frac{\underline{U}_A + a \cdot \underline{U}_B + a^2 \cdot \underline{U}_C}{3}, \quad \underline{U}_2 = \frac{\underline{U}_A + a^2 \cdot \underline{U}_B + a \cdot \underline{U}_C}{3}, \quad \underline{U}_0 = \frac{\underline{U}_A + \underline{U}_B + \underline{U}_C}{3},$$

где  $a$  и  $a^2$  – поворотные множители,

$\underline{U}_A, \underline{U}_B, \underline{U}_C$  – осциллографированные напряжения.

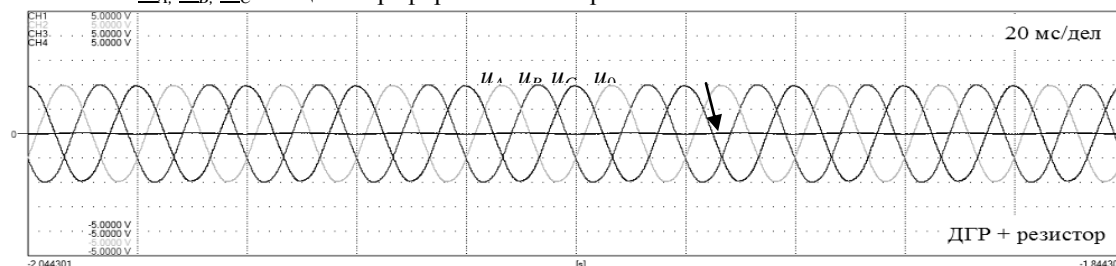


Рис. 2. – Осциллограмма фазных напряжений и напряжения нулевой последовательности в нормальном режиме работы сети 10 кВ ПС «Майминская». Нейтраль сети заземлена через ДГР и резистор.

Действующие значения напряжений прямой, обратной и нулевой последовательностей рассчитаны и приведены в таблице 1. Также в таблицу сведены значения коэффициентов несимметрии напряжений по обратной  $K_{2U}$  и нулевой  $K_{0U}$  последовательностям, рассчитанные в соответствии с ГОСТ Р 51317.4.30-2008:

$$K_{2U} = \frac{U_2}{U_1} \cdot 100, \quad K_{0U} = \frac{U_0}{U_1} \cdot 100, \quad (1)$$

где  $U_1, U_2, U_0$  — действующие значения напряжений прямой, обратной и нулевой последовательностей соответственно.

Согласно ГОСТ Р 54149-2010 значения коэффициентов несимметрии напряжений по обратной последовательности  $K_{2U}$  и несимметрии напряжений по нулевой последовательности  $K_{0U}$  в точке передачи электрической энергии, усредненные в интервале времени 10 мин, не должны превышать 2% в течение 95% времени интервала в одну неделю; значения коэффициентов несимметрии напряжений по обратной последовательности  $K_{2U}$  и несимметрии напряжений по нулевой последовательности  $K_{0U}$  в точке передачи электрической энергии, усредненные в интервале времени 10 мин, не должны превышать 4% в течение 100% времени интервала в одну неделю.

В таблице 1 цветом выделены режимы сети 10 кВ ПС «Майминская», при которых коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности  $K_{0U}$  превышает значение 2%, длительно допустимое согласно ГОСТ Р 54149-2010 (ДГР настроен в режим в резонанс, при этом наблюдаются наибольшие значения  $K_{0U}$ ).

Таблица 1. Действующие значения напряжений прямой, обратной и нулевой последовательностей в нормальном режиме и коэффициенты несимметрии напряжений по обратной и нулевой последовательностям в сети 10 кВ ПС «Майминская».

Конфигурация сети	$U_1$ , В	$U_2$ , В	$U_0$ , В	$K_{2U}$ , %	$K_{0U}$ , %	$K_{2U\text{норм}}$ , $K_{0U\text{норм}}$ , %
<b>ДГР</b>	<b>5970</b>	<b>28</b>	<b>494</b>	<b>0,5</b>	<b>8,3</b>	2,0
ДГР + резистор	5971	28	74	0,5	1,2	
<b>ДГР + УКРМ</b>	<b>6143</b>	<b>24</b>	<b>502</b>	<b>0,4</b>	<b>8,2</b>	
ДГР + УКРМ + резистор	6146	26	77	0,4	1,2	

Из таблицы 1 следует, что при эксплуатации сети 10 кВ с заземлением нейтрали через ДГР коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности превышает значение 2%, длительно допустимое согласно ГОСТ Р 54149-2010 (следует отметить, что аналогичная ситуация наблюдается и при некоторой расстройке ДГР). При эксплуатации сети 10 кВ с заземлением нейтрали через ДГР и включенной УКРМ (устройство компенсации реактивной мощности) также сохраняется недопустимый уровень несимметрии напряжений. Таким образом, при включении ДГР в сети 10 кВ ПС «Майминская» длительно существует режим с недопустимым показателем качества электрической энергии, установленным ГОСТ Р 54149-2010.

При переходе к комбинированному режиму заземления нейтрали сети 10 кВ «Майминская» через параллельно включенные ДГР и высокоомный резистор типа РЗ-1000-34-10 производства ООО «Болид» коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности снижается до 1,2%. Таким образом, включение высокоомного резистора в нейтраль сети 10 кВ ПС «Майминская» позволяет эксплуатировать сеть с коэффициентом несимметрии напряжений по нулевой последовательности, удовлетворяющим требованиям ГОСТ Р 54149-2010.

Эти результаты были также подтверждены расчетным путем согласно представленным ниже формулам. Нагрузка рассматриваемой сети является достаточно равномерной, поэтому расчет коэффициента несимметрии напряжений по нулевой последовательности выполнялся при учете только несимметрии фазных емкостей ВЛ.

Напряжение несимметрии в сети с изолированной нейтралью [4]:

$$\underline{U}_{\text{нс}} = \frac{\underline{U}_A (C_A + a^2 \cdot C_B + a \cdot C_C)}{C_A + C_B + C_C},$$

где  $C_A, C_B, C_C$  — эквивалентные фазные емкости сети.

$$U_0 = \frac{U_{\text{нс}}}{\sqrt{9^2 + d^2}},$$

где  $d = \frac{I_R}{I_C}$  — коэффициент успокоения сети, равный отношению активной

составляющей тока замыкания на землю к полному емкостному току сети. Коэффициент  $d$  получен по результатам опытов прямого замыкания на землю одной из фаз сети: в токе замыкания на землю выделена активная составляющая частоты 50 Гц и отнесена к емкостному току ОЗЗ всей сети ( $d = 0,044$ ).

Степень расстройки компенсации  $\vartheta = \frac{I_C - I_{\text{ДГР}}}{I_C} 100$  в соответствии с опытами

измерений принята равной нулю.

В соответствии с (1) далее определяется величина  $K_{0U}$ .

Согласно расчетам, коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности  $K_{0U}$  в сети 10 кВ ПС «Майминская» при заземлении нейтрали сети через ДГР составил 73,8 и 499,8 В для режимов заземления через ДГР и параллельно установленные ДГР и резистор соответственно, что хорошо согласуется с результатами измерений (таблица 1).

Дополнительный интерес представляет также определение величины  $K_{0U}$  в зависимости от отношения емкостных токов ОЗЗ ВЛ и кабельных линий ( $KЛ, I_{\text{СВЛ}}/I_{\text{СКЛ}}$ ) при фиксированной величине суммарного емкостного тока ОЗЗ сети.

В сети 10 кВ «Майминская» присутствуют как ВЛ, так и КЛ. Так как емкостные параметры КЛ симметричны, при фиксированной величине емкостного тока на землю сети чем больший вклад по величине емкостного тока будет вносить ВЛ, тем выше будет величина напряжения нулевой последовательности.

Ниже приведен график зависимости  $K_{0U}$  от отношения  $I_{\text{СВЛ}}/I_{\text{СКЛ}}$  для режимов заземления нейтрали сети ПС «Майминская» через ДГР и параллельно установленные ДГР и резистор номиналами 500, 1000 и 2000 Ом.

Из рисунка 3 следует, что при относительно небольших величинах отношения определенном соотношении  $I_{\text{СВЛ}}/I_{\text{СКЛ}}$  рост этого отношения приводит к практически линейному

росту  $K_{0U}$ . При достаточно больших величинах  $I_{СВЛ}/I_{СКЛ}$   $K_{0U}$  изменяется слабо и определяется степенью несимметрии, близкой к случаю, если бы с сети отсутствовали КЛ.

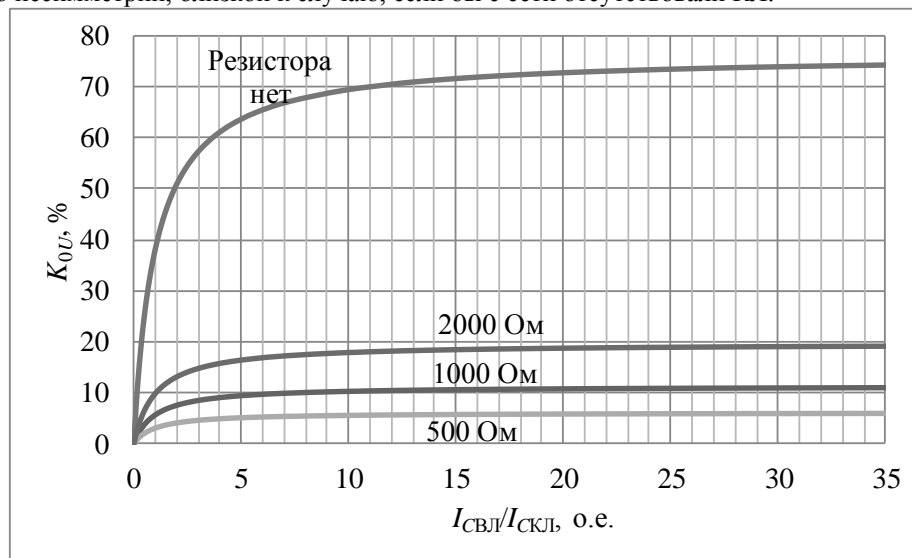


Рис. 3. График зависимости  $K_{0U}$  от отношения  $I_{СВЛ}/I_{СКЛ}$ .

#### Выводы:

На примере сети 10 кВ ПС «Майминская» показано, что комбинированное заземление нейтрали (параллельная установка ДГР и резистора) в сетях 6-35 кВ позволяет значительно снизить величину коэффициента несимметрии напряжений по нулевой последовательности  $K_{0U}$ . При определенном сочетании параметров сети и соотношения  $I_{СВЛ}/I_{СКЛ}$  эта величина может быть снижена до значения, удовлетворяющего нормам ГОСТ по качеству электроэнергии.

Коэффициент  $K_{0U}$  находится в нелинейной зависимости от соотношения  $I_{СВЛ}/I_{СКЛ}$ . В целом, чем меньше вклад КЛ в общую величину емкостного тока ОЗЗ, тем больше величина  $K_{0U}$ .

#### Список литературы:

1. ГОСТ Р 54149-2010 – «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения».
2. Железко Ю.С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии. – М.: ЭНАС, 2009. - 456 с
3. ГОСТ Р 51317.4.30-2008 – «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Методы измерений показателей качества электрической энергии».
4. РД 34.20.179 (ТИ 34-70-070-87) – «Типовая инструкция по компенсации емкостного тока замыкания на землю в электрических сетях 6-35 кВ».

#### Сопряжение генерирующих установок в гибридных системах электроснабжения

*Сарсикеев Е.Ж., Шолохова И.И.*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск*

[sholii@tpu.ru](mailto:sholii@tpu.ru)

В настоящее время в структуре малой энергетики все чаще используются гибридные электрические станции с использованием возобновляемых источников энергии, в частности ветродизельные электрические станции (ВДЭС). Однако объединение разнотипных по энергетической природе источников питания, таких как ветроэнергетические установки (ВЭУ) и дизель-генераторы (ДГ), является весьма сложной научно-технической задачей. При выборе способов объединения необходимо учитывать ряд особенностей гибридной системы электроснабжения: ветровые условия местности, надежность питания, технико-экономические характеристики генерирующего оборудования, графики электрических нагрузок и пр.

При сопряжении ДГ и ВЭУ для работы в составе единой системы может быть использован способ, показанный на рис. 1.



Здесь источники электроэнергии подключаются непосредственно к распределительной сети объекта без промежуточного преобразования электроэнергии. Система управления при этом должна обеспечивать не только стратегию управления по регулированию мощностей поступающих из ДГ и ВЭУ, но и обеспечивать синхронизацию запуска агрегатов и их дальнейшую синхронную работу.

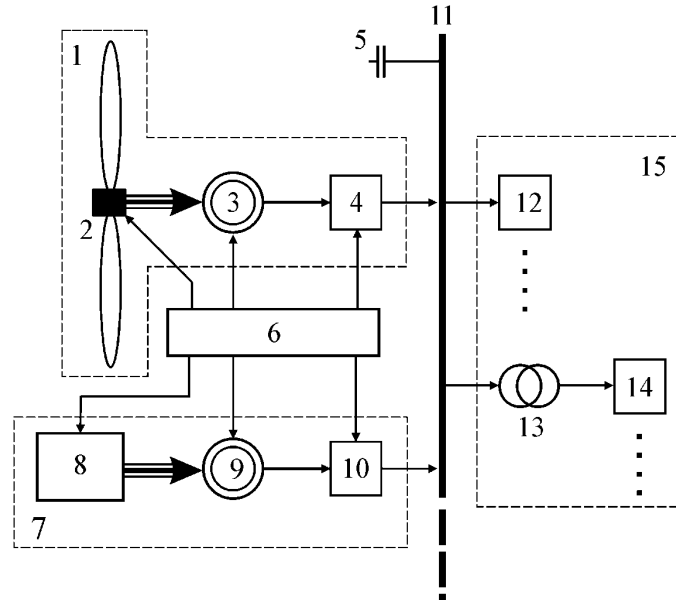


Рис. 1. ВДЭС при подключении ВЭУ и ДГ непосредственно к распределительной сети объекта электроснабжения: 1 - ВЭУ; 2 - ветротурбина; 3, 9 - электрический генератор; 4, 10 - устройство плавного пуска; 5 - компенсатор реактивной мощности; 6 - система управления; 7 - ДГ; 8 - дизельный двигатель; 11 - распределительная сеть 380В 50Гц (шина переменного тока); 12 - потребители электроэнергии; 13 - повышающий силовой трансформатор; 14 - потребители электроэнергии напряжением 6 или 10 кВ; 15 - объект децентрализованного электроснабжения

Приведенный способ прост для реализации, что позволяет легко масштабировать систему, устанавливая например, несколько ВЭУ. Отсутствие дополнительных преобразований электроэнергии повышает к.п.д. всей системы в целом. Однако, данный способ требует наличия на выходах электрических генераторов заданных, одинаковых и постоянных значений напряжений и частот сети, что можно обеспечить только двумя путями: либо использованием в качестве генераторов синхронных электрических машин с независимым возбуждением и обеспечения работы ветротурбины и дизельного двигателя на постоянной скорости, либо использованием в качестве генератора асинхронной машины с фазным ротором, при соответствующем ее управлении от сетевого инвертора. Первый путь снижает эффективность работы дизельного двигателя и ветротурбины. Второй - используется при построении энергетических комплексов большой мощности 1МВт и более.

Исключить указанные недостатки позволяет вариант сопряжения, показанный на рис. 2. Несмотря на более сложную структуру комплекса, учитывая, что стоимость силовой электроники с каждым годом снижается, а ее удельная мощность растет [1], приведенный способ имеет большие преимущества по сравнению с ранее рассмотренным. Здесь не требуется согласовывать режимы работы ВЭУ и ДГ между собой, что позволяет управлять этими агрегатами исходя из различных критериев оптимальности. Система легко масштабируется. В тоже время, потери мощности связанные с двойным преобразованием электроэнергии силовыми конверторами и инверторами, учитывая высокий к.п.д. последних, будут незначительны. Поэтому данный вариант построения гибридных энергетических комплексов нашел большое распространение при малых и средних мощностях 1 - 100 кВт.

Так же возможна схема сопряжения компонент комплекса с использованием, как шины постоянного тока, так и переменного тока. Пример приведен на рис. 3.

Здесь, ДГ подключен к шине переменного тока, непосредственно к распределительной сети объекта, а ВЭУ к промежуточной шине постоянного тока. Этот способ хорош тем, что позволяет объединять в единый комплекс агрегаты построенные по разному.

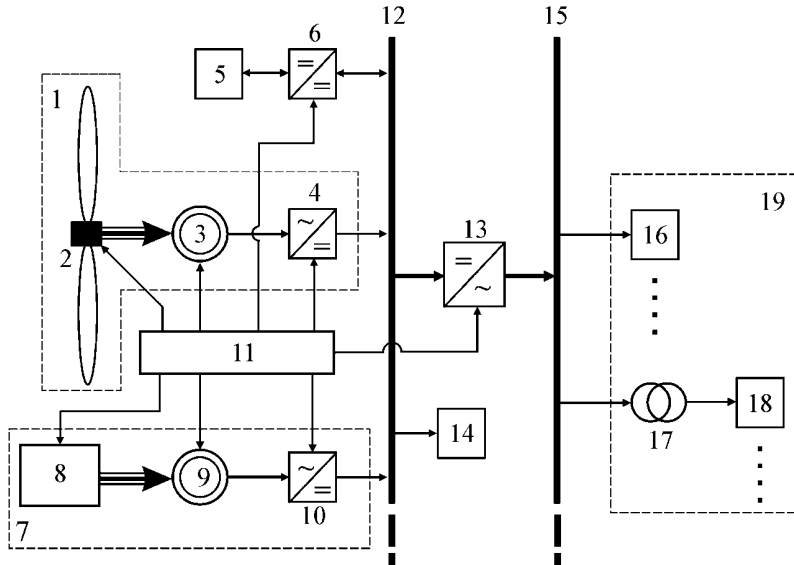


Рис. 2. ВДЭС при подключении ВЭУ и ДГ к промежуточной шине постоянного тока: 1 - ВЭУ; 2 - ветротурбина; 3, 9 - электрический генератор; 4, 10 - выпрямитель-конвертор напряжения; 5 - батарея аккумуляторов (суперконденсаторов); 6 - реверсивный конвертор напряжения; 7 - ДГ; 8 - дизельный двигатель; 11 - система управления; 12 - шина постоянного тока; 13 - трехфазный инвертор напряжения; 14 - потребители постоянного напряжения; 15 - распределительная сеть 380В 50Гц (шина переменного тока); 16 - потребители электроэнергии; 17 - повышающий силовой трансформатор; 18 - потребители электроэнергии напряжением 6 или 10 кВ; 19 - объект децентрализованного электроснабжения

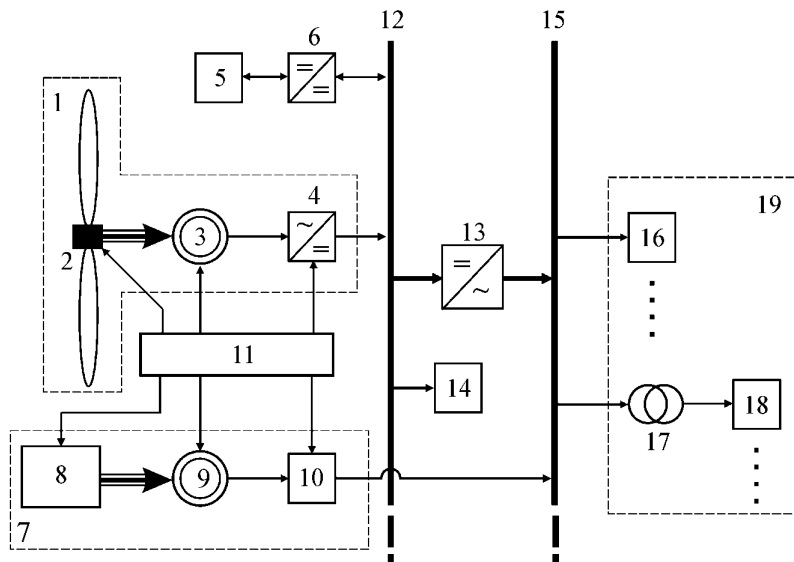


Рис. 3. ВДЭС при смешанном подключении ВЭУ и ДГ: 1 - ВЭУ; 2 - ветротурбина; 3, 9 - генератор; 4 - выпрямитель; 5 - батарея аккумуляторов; 6 - конвертор; 7 - ДГ; 8 - дизельный двигатель; 10 - устройство запуска; 11 - система управления; 12 - шина постоянного тока; 13 - инвертор; 14 - потребители постоянного напряжения; 15 - шина переменного тока; 16 - потребители электроэнергии; 17 - силовой трансформатор; 18 - потребители электроэнергии напряжением 6 или 10 кВ; 19 - объект электроснабжения

В последнее время появилось ряд работ, где указывается возможность построения энергетического комплекса посредством вспомогательной сети (шины), работающей на высокой частоте (единицы кГц) [2]. Следует отметить, что такой способ широко используется при создании сетей электроснабжения воздушных и космических летательных аппаратов. Он позволяет минимизировать количество реактивных элементов в системе и уменьшить их массогабаритные показатели и соответственно снизить стоимость. Вариант построения гибридной ВДЭС основанный на данном способе показан на рис. 4. Но, не смотря на достоинства, учитывая геометрическую разобщенность отдельных агрегатов (ВЭУ, ДГ и др.) применение такого подхода сталкивается с рядом проблем, связанных с потерями мощности во вспомогательной сети, с электромагнитной совместимостью и др.

Большую роль при создании гибридных энергетических комплексов в общем случае, и ВДЭС в частном случае, играет система управления комплексом. Система управления может быть построена по принципу:

центрального управления, когда одно устройство (обычно цифровой промышленный компьютер) управляет всеми узлами системы. К недостаткам данного способа следует отнести, большое количество элементов входящих в состав энергетического комплекса, что приводит к сверхбольшим требованиям к быстродействию компьютера при достаточно сложных алгоритмах управления. Несколько проблему можно смягчить применением компьютеров, построенных на основе DSP микропроцессоров;

децентрализованного управления, когда отдельными узлами энергетического комплекса управляют свои вычислительные системы - контроллеры, образуя при этом отдельные локальные контуры регулирования. При этом взаимосвязанная работа всего энергокомплекса достигается путем обмена информацией между всеми контроллерами системы. Здесь требования к вычислительной мощности контроллеров стоят менее остро;

смешанного управления, когда отдельные узлы энергетического комплекса обслуживаются своими контроллерами, а ими управляет центральный компьютер. При этом нагрузка последнего уменьшается, и он может быть использован для решения стратегических задач, связанных с прогнозированием, диагностикой и др.

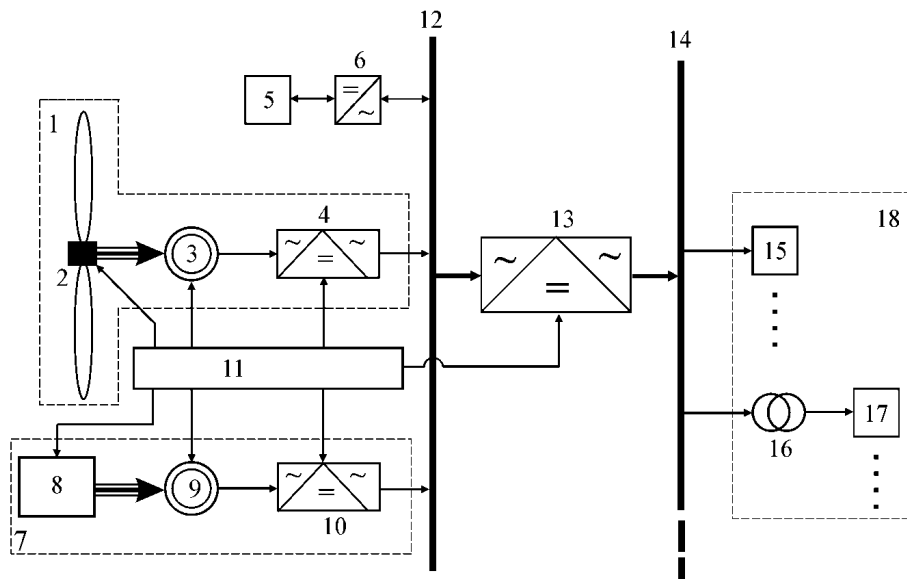


Рис. 4. ВДЭС при подключении ВЭУ и ДГ через высокочастотную шину переменного тока: 1 - ВЭУ; 2 - ветротурбина; 3, 9 - генератор; 4, 10, 13 - преобразователи; 5 - батарея аккумуляторов; 6 - инвертор; 7 - ДГ; 8 - дизельный двигатель; 11 - система управления; 12 - шина переменного тока; 14 - шина переменного тока; 15 - потребители электроэнергии; 16 - силовой трансформатор; 17 - потребители электроэнергии напряжением 6 или 10 кВ; 18 - объект электроснабжения

Таким образом, для обеспечения максимальной энергетической эффективности комплекса целесообразно обеспечить режим работы, как дизельного двигателя, так и ветротурбины на переменной скорости вращения. Существует достаточно большое количество способов сопряжения ВЭУ и ДГ в составе ВДЭС, из которых при мощностях 1-100 кВт наиболее

универсальным является способ с использованием промежуточной шины постоянного тока и с двойным преобразованием электроэнергии.

В целях улучшения энергетических и динамических характеристик ВДЭС, в их состав включаются буферные накопители энергии, реализованные на батареях аккумуляторов, суперконденсаторов и др.

Важным моментом при построении гибридных энергетических комплексов является состав и алгоритмы системы управления. Причем управление может реализовываться как отдельными агрегатами, так и всем комплексом в целом.

#### Список литературы:

1. Iov F., Blaabjerg F. Power Electronics for Renewable Energy Systems // POWERENG 2009, 2009, Portugal, Lisbon, March 18-20, pp.9-12.
2. Ruiz A.G., Molinas M. Electrical Conversion System for Offshore Wind Turbines Based on High Frequency AC Link // Ecologic Vehicles and Renewable Energies International Conference EVER, Monaco, 26-29 March, 2009.

#### Трёхмерные солнечные батареи и их преимуществ при использовании в высокоширотных областях Сибири.

*Юрченко А.В., Юрченко В.И. \**

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск*

*\*ОАО «НИИПП», Россия, г. Томск*

[yur\\_med@mail.ru](mailto:yur_med@mail.ru)

Показано, что один из путей увеличения эффективности сбора солнечной энергии - это создание трёхмерных солнечных батарей. Их реализация позволит обеспечить большее число часов в сутки и в течение года с приемлемым уровнем мощности и эффективности использования.

Ключевые слова: Солнечные батареи, эффективность, трёхмерные,

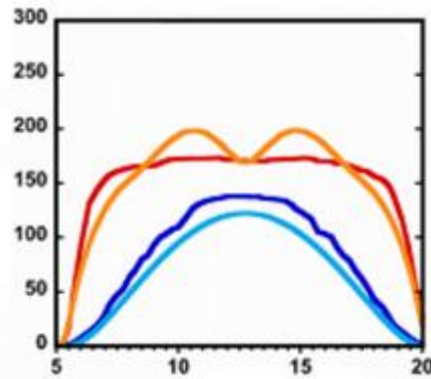
#### Введение

Энергетический бюджет мира на сегодняшний день "полиэнергетический", так как для получения энергии используются разные источники. Доля ископаемых энергоносителей составляет около 85 %. После 2020 г., по данным Мирового энергетического совета (МИРЭС), ожидается устойчивый рост использования НВИЭ, особенно солнечной энергии. Строительство СЭС экономически рентабельно в том случае, если число часов солнечного сияния не ниже 2000 в год, а интенсивность ее поступления составляет 600-800 Вт/м<sup>2</sup>. КПД СЭС довольно низкий, однако и он имеет все шансы существенно вырасти за счет технологических усовершенствований. Значительная часть зоны Севера характеризуется крайне малыми объемами и низкой плотностью хозяйственной деятельности. Здесь получили развитие традиционные промыслы коренного населения, возникло большое количество природоохранных объектов. Низкая эффективность микроуровня энергетики способствует переходу на энергетические установки НВИЭ. Оценка ресурсов НВИЭ региона показывает, что в северных ресурсы энергии солнца в 10 раз меньше потенциальных. Поэтому важен поиск технологических усовершенствований приближающий использование СБ к уровню потенциально возможных. Это прежде всего работа при малых углах, преобладание слабой освещенности и ИК излучения.

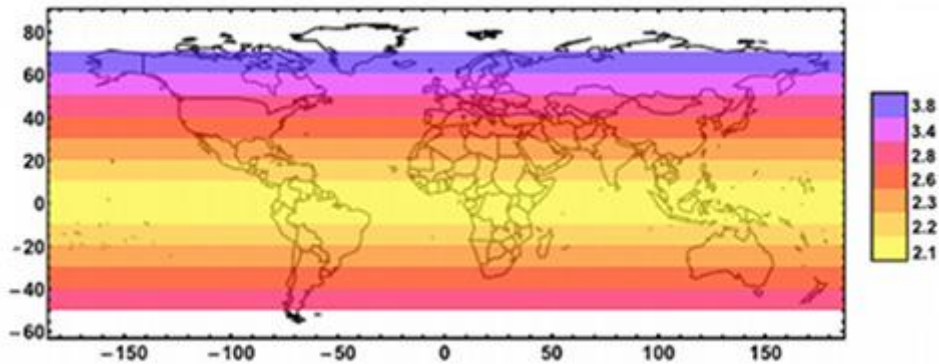
#### Исследование широтной зависимости

Как было показано в работах 1,2,3 один из путей это создание трёхмерных солнечных батарей. Их реализация позволит обеспечить большее число часов в сутки и в течение года с приемлемым уровнем мощности и эффективности использования.

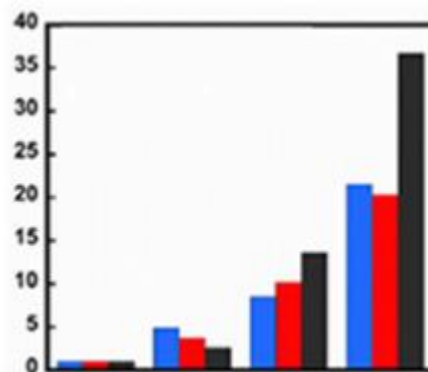
Специалисты из Массачусетского технологического института показали, что трёхмерные структуры из солнечных ячеек за день могут выработать в два, а то и в двадцать раз больше энергии, чем плоские батареи, занимающие на земле равную площадь. По горизонтали – время суток, по вертикали – выходная мощность в милливаттах. Показано сравнение плоской панели (тёмно-синяя кривая – уличный эксперимент, голубая — симуляция) и открытого куба (красная линия – эксперимент, оранжевая — симуляция). Общая выработка энергии за день у куба оказалась почти вдвое выше (иллюстрация Marco Bernardi et al.).



Для самого простого куба (из девяти панелек) прогнозируемый рост годовой производительности составляет от 2 до 3,8 раза (превосходство принципа 3D увеличивается ещё и по мере роста географической широты местности). Для сравнения, добавление к традиционной плоской панели двухосевой системы слежения за солнцем увеличивает её выработку всего в 1,3-1,8 раза.



Разница (число раз) в производительности куба по сравнению с плоской ячейкой с той же площадью основания в зависимости от географической широты (иллюстрация Marco Bernardi et al.). Важно отметить, что везде речь идёт именно о следе, то есть площади основания, которую занимает установка, а не о суммарной площади фотоэлектрических панелей. Во первых важно — многократное отражение света между элементами устройства. Свет этот, в конце концов, поглощается одной из панелей. Второй фактор, повествует Technology Review, это улучшенное поглощение лучей солнца, находящегося низко над горизонтом.



Неподвижная плоская солнечная панель выдаёт максимум мощности, только когда смотрит прямо на светило. Утром и вечером она почти бесполезна. Трёхмерная фотовольтаика и в эти часы хорошо перерабатывает солнечный свет. Данные по опыту, проведённому в ноябре, в разных погодных условиях. По горизонтали (слева направо): плоская панель, куб, параллелепипед и башня. По вертикали отмерено превышение дневной выработки энергии трёхмерными структурами в сравнении с плоской панелью. Синим цветом отмечены параметры при чистом небе, красным – при частичной облачности, чёрным – при сильной облачности (иллюстрация Marco

Bernardi et al.). Аналогично преимущество новой схемы раскрывается в облачную погоду, особенно при сплошной пелене облаков. Конечно, последние задерживают много света, так что мощность любой батареи существенно падает. Но 3D-панели за счёт ориентации элементов под разными углами и эффекта лабиринта намного лучше обычной ячейки собирают рассеянный свет. Потому при сильной облачности в выработке электричества башней и одиночной плоской панелью наблюдается 35-кратная разница. Хотя в ясную погоду эта же башня выдаёт за день только в 21-22 раза больше электричества, нежели простая батарея.

Технологические варианты

Та же мысль насчёт продуктивного сбора энергии в утренние и вечерние часы (а также зимой и летом, без необходимости в повороте самих панелей по горизонтали или вертикали) приходила, к слову, создателям цилиндрических солнечных батарей и солнечного дерева.

Известно, что для захвата возможно большей доли света учёные создавали микротекстуры в толще панелей (микросферы, микроколонны и так далее). В Венском техническом университете новый способ, позволяющий располагать отдельные молекулы в строго определённом месте будущей пространственной структуры при помощи лазера (3D-photografting) «Фотографтинг». Лазерное излучение за счёт фотохимических процессов вызывает быструю фиксацию большинства молекул в облучённых участках гидрогеля

Объединённая команда физиков из Института исследования полимеров Макса Планка в Майнце (Max Planck Institut für Polymerforschung, Mainz) и лаборатории материаловедения Sony в Штутгарте (Sony Materials Science Laboratory, Stuttgart) исследовала процесс преобразования всех фотонов падающего солнечного света в фотоны только одной частоты, той оптимальной, на которую рассчитан фотоэлектрический преобразователь. Тогда КПД батареи можно было бы поднять до высокого уровня. Молекула-антенна захватывает фотон с частотой, соответствующей зелёному свету, и переходит на более высокий энергетический уровень. Однако находится на нём не так уж долго, а отдаёт эту энергию молекуле-эмиттеру, как только та окажется поблизости. Отдав квант, антенна возвращается в невозбуждённое состояние, чтобы принять очередной фотон, а вот эмиттер перепрыгивает на высокий энергетический уровень и ждёт. А ждёт он, когда рядом окажется ещё одна такая же молекула-эмиттер, и тоже в возбуждённом состоянии. Тогда одна из них отдаёт энергию второй, после чего возвращается на исходный энергетический уровень. Второй же эмиттер, стало быть, получает уже энергию двух, так сказать, «зелёных фотонов», которую излучает одной порцией в виде единственного «фотона синего цвета». Подбирая подходящие вещества для антенн и эмиттеров и на эти роли подошли октаэтилпорфириновые платины и дифинилантрацен. И это — только для зелёно-синего преобразования частоты. Однако авторы работы говорят, что в раствор можно ввести целый комплекс разных антенн и эмиттеров, подобрав их так, чтобы они реагировали на разные частоты падающего света, а излучали — причём все, — только одну частоту.

Исследователи из американской Национальной лаборатории возобновляемых источников энергии (NREL) построили выдающуюся солнечную батарею (СБ) на базе квантовых точек — полупроводниковых кристаллов размером в несколько нанометров. Опытное устройство было составлено из стекла с просветляющим покрытием, тонкого слоя прозрачного проводника, наноструктурированных слоёв оксида цинка и слоя квантовых точек из селенида свинца, дополненного толикой этандитиола и гидразина. Завершало бутерброд тонкое золотое покрытие в качестве верхнего электрода. Внешняя и внутренняя квантовая эффективность (QE) протестированной СБ составили 114% и 130% соответственно.

Наночастицы, работающие как концентраторы световой энергии в виде наноантенн (НА), позволяют улучшить качество фотопреобразователей (ФП), солнечных батарей. Резонансная частота антенны (частота, на которой система обладает самым низким импедансом и, следовательно, самой высокой эффективностью) растёт линейно с физическими размерами антенны в соответствии с простой теорией антенн СВЧ. Длины волн солнечного спектра лежат в диапазоне примерно от 0.3 до 2.0 мкм. Таким образом, для того, чтобы выпрямляющая антенна была эффективным электромагнитным накопителем солнечного света, она должна иметь элементы размером порядка сотен нанометров. Из-за упрощений, используемых в теории типичных выпрямляющих антенн, есть несколько сложных моментов, которые возникают при обсуждении наноантенн. На частотах выше инфракрасного участка спектра почти весь ток переносится вблизи поверхности проводника, что уменьшает эффективную площадь поперечного сечения проводника и приводит к увеличению сопротивления. Этот эффект известен как «скин-эффект». Исходя из

перспектив построения практических устройств, отметим, что вольт-амперная характеристика ректенн будет не больше омической, поскольку закон Ома остаётся в силе.

Другим осложнением уменьшения размеров является то, что диоды, используемые в больших ректеннах не могут работать на терагерцовых частотах без больших потерь мощности. Потери мощности обусловлены влиянием ёмкости перехода (известной как паразитная ёмкость), которой обладают р-п переходы обычных диодов и диодов Шоттки, из-за чего они могут эффективно работать только на частотах менее 5 ТГц. Идеальным длинам волн 0.4-1.6 мкм соответствуют частоты примерно 190-750 ТГц, что значительно больше, чем возможности традиционных диодов. Таким образом, для эффективного преобразования энергии нужно использовать альтернативные диоды. В современных устройствах наноантенн используются туннельные диоды на основе переходов металл-диэлектрик-металл (МДМ). В отличие от диодов Шоттки, МДМ-диоды не имеют паразитных ёмкостей, потому что они работают на основе электронного туннелирования. Благодаря этому МДМ-диоды эффективно работают на частотах около 150 ТГц, что значительно ближе к оптимальным частотам наноантенн.

Одним из важнейших объявленных преимуществ наноантенн является их высокая теоретическая эффективность (КПД). По сравнению с теоретической эффективностью одного соединения солнечных батарей (30%), наноантенны по всей видимости, будут иметь значительное преимущество с уровнем эффективности до 85%. Указанные факторы значительно расширят области использования СБ в высоких широтах.

#### Заключение

1. Показаны эмпирически полученные зависимости влияния характеристик от положения СБ на поверхности Земли от широты.

2. На основании проведенных исследований могут быть сформированы рекомендации по проектированию и оптимизации характеристик солнечных энергоустановок при использовании в Сибири.

#### Список литературы:

1. Юрченко В.И., Юрченко А.В. Анализ возможности использования ЛИГА технологий на основе синхротронного излучения для изготовления солнечных элементов. Материалы 13 международной конференции по использованию синхротронного излучения (СИ –2000) Новосибирск 17-21 июля 2000 г. Стр. 79-80.
2. В.И. Юрченко, А.В. Юрченко Использование синхротронного излучения для изготовления и испытания солнечных элементов. Материалы 14 Российской конференции по использованию синхротронного излучения СИ – 2002 Новосибирск, 15-19 июля 2002 г. стр.136.
3. Octavi E. Semonin, Matthew C. Beard et al./ Science.
4. Юрченко В.И., Юрченко А.В. Повышение эффективности преобразования спектра солнечного излучения при взаимодействии электромагнитного поля с трехмерной структурой композиционного материала. Сборник научных трудов 101 международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы и перспективы развития радиотехнических и инфокоммуникационных систем» часть1.Радиоинфоком -2013, 28-30 марта 2013 года Россия, Москва. Стр.334-337.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Типы конструкции обмоток масляного трансформатора в отношении тепловых параметров работы</b>	
<i>Трякин А.О., Бахарев Н.П. ....</i>	5
<b>Влияние параметров установки радиаторов на тепловое состояние в силовых масляных трансформаторах в установившемся режиме работы</b>	
<i>Трякин А.О., Бахарев Н.П. ....</i>	7
<b>Solar power generation technology</b>	
<i>Kasobov L.S. ....</i>	11
<b>Исследование возможности применения преобразователей частоты в smartgrid системах</b>	
<i>Абрамова Я.А., Чиж А.В., Армеев Д.В. ....</i>	13
<b>Разработка методики проверки работоспособности метода «электрического эквивалента» для электродинамической модели</b>	
<i>П.А. Акульшина, О.А. Васильева ....</i>	16
<b>Модульный состав – путь к созданию энергоэффективных грузовых поездов</b>	
<i>И.К. Александров ....</i>	19
<b>Эксплуатация и техническое обслуживание корабельных электрических сетей и распределительных устройств</b>	
<i>Алферьев И.С., Федюк Р.С., Мочалов А.В. ....</i>	27
<b>Солнечная электростанция</b>	
<i>Аржанов К.В. ....</i>	29
<b>Возможности измерений стандартизованных параметров высоковольтных изоляторов при обслуживании энергетического оборудования по состоянию</b>	
<i>Багнюк М.Ю., Баранов В.А. ....</i>	32
<b>Исследование метода фазного управления с целью повышения динамической устойчивости microgrid систем</b>	
<i>Балабанюк О.Д. ....</i>	35
<b>Оценка состояния маслонаполненного оборудования акустическим методом</b>	
<i>Батрак А.П., Чупак Т.М., Малеев А.В. ....</i>	38
<b>Технико-экономическое обоснование применения проводов нового поколения</b>	
<i>Белан Р.А. ....</i>	41
<b>Математическое моделирование электротехнических устройств с накапливающимися повреждениями при оценке структурной надежности ЭЭС</b>	
<i>Булычев В.В., Вдовина О.И., Обоскалов В.П., Шалина Е.П. ....</i>	44
<b>Перспективы малой энергетики в России</b>	
<i>Валиева А.М., Лившиц С.А. ....</i>	48
<b>Система резервного питания частотно-регулируемого электропривода для ответственных автономных объектов</b>	
<i>Вислогузов Д.П., Сметанников А.В. ....</i>	50



<b>Снижение потерь электроэнергии путем поперечного регулирования напряжения в кольцевых сетях</b> <i>Р.Ф. Галиев</i> .....	53
<b>Проверка гипотезы о нормальном распределении генеральной совокупности по критерию Пирсона</b> <i>С.В. Голдаев, К.Н. Радюк</i> .....	57
<b>Силовые коммутационные транзисторы на основе нитрида галлия для высокоэффективных вторичных источников электропитания</b> <i>Ерофеев Е.В., Кагадей В.А. *, Казимиров А.И., Федин И.В.</i> .....	59
<b>Прогнозирование энергопотребления узла нагрузки с энергоемким нелинейным производством</b> <i>Зайцева Н.М.</i> .....	62
<b>О сокращении номенклатуры показателей надежности цифровых устройств релейной защиты</b> <i>Захаров О.Г.</i> .....	65
<b>Децентрализованные системы энергообеспечения</b> <i>Золотов В.П.</i> .....	70
<b>Разработка вакуумного выключателя с жидкометаллической контактной системой</b> <i>Иванов Н.А. Казанцев А.А.</i> .....	72
<b>Методика оценки комплексной эффективности использования ресурсов энергетическими предприятиями по экологическим критериям</b> <i>Гаврилова А.А., Салов А.Г., Иванова Д.В., Чиркова Ю.В.</i> .....	74
<b>Подготовка специалистов для предприятий электроэнергетики с применением деловых игр</b> <i>Калани Э.Я.</i> .....	76
<b>Разработка мини-ГЭС на базе синхронного генератора с постоянными магнитами</b> <i>Карачев В.С., Алеко М.Н.</i> .....	79
<b>Методика определения расхода воды при проектировании малых ГЭС на горных водотоках Таджикистана</b> <i>Киргизов А.К., Касобов Л.С. *, Расулов С.</i> .....	82
<b>Режим загрузки резервного источника питания</b> <i>Кирпиков А.В., Обоскалов В.П.</i> .....	84
<b>Моделирование систем автоматического регулирования возбуждения генераторов</b> <i>Киселев Д. Н, Ершов Ю. А.</i> .....	87
<b>Электромагнитная совместимость работы частотно-регулируемого электропривода с установками компенсации реактивной мощности</b> <i>П.В. Коровченко, О.И. Цинкович</i> .....	89
<b>Кабельная арматура в электроэнергетике</b> <i>Кузьменко А.Е., Федюк Р.С., Ильинский Ю.Ю.</i> .....	92
<b>Распределение мощности и электроэнергии для различных иерархических систем</b> <i>Курбака Г. В.</i> .....	94

<b>Анализ применения метода последовательного эквивалентирования в сочетании с методом простой итерации для расчета режимов региональных энергосистем</b>	
<i>Кутукова Е.С., Малафеев А.В.</i> .....	98
<b>Использование программной среды labview для моделирования двигателя постоянного тока</b>	
<i>Ле Ван Туан</i> .....	100
<b>Модели принятия решений по эксплуатации электрооборудования на основе нечеткой логики</b>	
<i>Левин В.М.</i> .....	103
<b>Выбор признаков для идентификации дефектов в трансформаторе при мониторинге растворенных в масле газов</b>	
<i>Левин В.М., Танфильева Д.В.</i> .....	107
<b>Возможность синтеза ультрадисперсного порошка карбида бора в струе углеродной электроразрядной плазмы</b>	
<i>Макарова А.Ф.</i> .....	110
<b>Моделирование перспективного режима работы Монгольской электроэнергетической системы</b>	
<i>Марченко А.И.</i> .....	113
<b>Сравнительный анализ устойчивости кабелей к воздействию агрессивных сред</b>	
<i>Матери Т.М., Ким В.С., Стариков А.Н.</i> .....	117
<b>Пути развития корабельных электрических сетей и электроэнергетических установок</b>	
<i>Матюшков К.О., Федюк Р.С., Мочалов А.В.</i> .....	120
<b>Износ и восстановление лопастей рабочих колес радиально-осевых гидротурбин</b>	
<i>Мисиров М.Х.</i> .....	123
<b>Исследование гармонического состава тока и напряжения преобразователя частоты</b>	
<i>Митрофанов Н.А.</i> .....	125
<b>Разработка требований к параметрам вакуумных выключателей, устанавливаемых в распределительных кабельных сетях среднего напряжения</b>	
<i>Михно В.В.</i> .....	127
<b>Управление формой тока при распределении активных мощностей между вторичными обмотками трансформаторного преобразователя скотта</b>	
<i>Морозов П.В., Бойко К.Н., Манусов В.З., Морозов Ю.В.</i> .....	129
<b>Устройство для определения места повреждения воздушной ЛЭП импульсным методом</b>	
<i>Пахомов Д.В., Рысев Д.В., Крейдунова Ю.В., Матвиенко Т.П.</i> .....	132
<b>К вопросу проектирования синус-фильтра</b>	
<i>Пустоветов М.Ю.</i> .....	135
<b>Исследование эффективности рекуперации гибридной силовой установки</b>	
<i>Раков В.А.</i> .....	138
<b>Анализ дефектов силовых маслонаполненных трансформаторов ОАО «Татнефть» по результатам тепловизионного контроля</b>	
<i>Редькина Е.Н., Ваньков Ю.В.</i> .....	142

<b>Повышение энергоэффективности электромагнитных двигателей с зубчатой системой магнитопровода</b> <i>Рогова О.В.</i> .....	143
<b>Вопросы, связанные с подготовкой востребованного специалиста в условиях конкуренции</b> <i>Родин М.А., Юрченко Е.Ю.</i> .....	146
<b>Нейросетевое моделирование для промышленных предприятий при решении задачи прогнозирования</b> <i>Родыгина С.В., Родыгин А.В.</i> .....	149
<b>Принципы моделирования главной электрической схемы при проектировании ГЭС</b> <i>Романов А.В.</i> .....	152
<b>Принципы создания автоматизированной системы прогнозов при планировании и анализе режимов энергосистем</b> <i>Русина А.Г., Филиппова Т.А.</i> .....	154
<b>Использование энергетической установки для получения ультрадисперсных оксидов железа</b> <i>Сивков А.А., Свечканева А.А.</i> .....	157
<b>Определение качества работоспособности технических объектов</b> <i>Сенкевич И.В.</i> .....	159
<b>Выбор оптимальной схемы распределительной сети</b> <i>Скляр Ю.С.</i> .....	162
<b>Исследование электрических и механических свойств изоляции современных эмалированных проводов</b> <i>Солдатенко Е.Ю., Леонов А.П., Ухов М.С.</i> .....	165
<b>Энергоэффективность двенадцатипульсной кольцевой схемы выпрямления</b> <i>Степанов А.А.</i> .....	166
<b>Снижение потерь мощности в ЛЭП путем регулирования потока реактивной мощности</b> <i>Степанов А.С., Калина Р.А., Амплеев А.Н.</i> .....	169
<b>Методы оперативной идентификации параметров трехобмоточных трансформаторов</b> <i>Степанов С.А., Пустовалов П.А.</i> .....	172
<b>Современные способы моделирования управляемого подмагничиванием шунтирующего реактора</b> <i>А.А. Суворов</i> .....	176
<b>Перспективы развития ветроэнергетики на территории с экстремально-низкими температурами в зимний период</b> <i>Тремясов В.А., Бобров А.В., Кенден К.В.</i> .....	178
<b>Использование солнечной энергии в системах электроснабжения населенных пунктов Тывы</b> <i>Тремясов В.А., Бобров А.В., Кенден К.В.</i> .....	182
<b>Идентификация динамических объектов первого и второго порядка на основе применения нейроэмуляторов</b> <i>Умутбеков Д.А., Глазырин А.С., Глазырин А.С.</i> .....	185

<b>Способы защиты сетей генераторного напряжения от коммутационных перенапряжений</b> <i>Е.М. Фаттахов</i> .....	189
<b>Проблема повышения эффективности регулируемого электропривода с вентильными преобразователями при добычи нефти</b> <i>Филимонова О.В.</i> .....	190
<b>Расчет оптимального шага расщепления</b> <i>Хмелик М. С., Шевченко С. С.</i> .....	191
<b>Выбор мощности и места установки локального источника энергии в распределительной системе</b> <i>Я.Э. Шклярский, О.И. Цинкович</i> .....	194
<b>Разработка энергоэффективных систем катодной защиты магистральных газопроводов</b> <i>Абуняев А.С., Хасанова Л.Н., Цынаева А.А.</i> .....	195
<b>Требования к коммутационной способности линейных выключателей при отключении коротких замыканий</b> <i>А.Н. Чурина</i> .....	197
<b>О структурно-параметрической оптимизации режима перекачки при частотно-регулируемом электроприводе магистральных насосов</b> <i>Шабанов В.А., Шарипова С.Ф.</i> .....	201
<b>Повышение эффективности систем передачи и распределения электрической энергии</b> <i>Шевченко Н.Ю.</i> .....	203
<b>Задача сопряжения математической модели объекта регулирования с автоматическим регулятором, реализованным на базе ПЛК.</b> <i>Сафронов А.В., Глезер В.В.</i> .....	206
<b>Повышение эффективности газотурбинных установок в системе эксплуатации газопроводов</b> <i>Афанасьев К.Ю.</i> .....	209
<b>Энергоэффективность однотрубных систем отопления при различных методах регулирования теплопотребления</b> <i>Морозов М.Н., Стрижак П.А.</i> .....	212
<b>Влияние ремонтной кампании на сокращение потерь сетевой воды</b> <i>Москалёв И.Л.</i> .....	216
<b>Перспективные технологии энергосбережения с использованием тепловых насосов</b> <i>Батухтин А.Г., Кобылкин М.В., Минькович М.Е.</i> .....	218
<b>К анализу повышения эффективности кожухотрубных теплообменных аппаратов</b> <i>Белянин А.О.</i> .....	221
<b>Об эффективности работы авиационного гтд на газокompрессорной станции при совместном использовании параллельного подвода теплоты и регенерации</b> <i>Бирюков Б.В., Шапошников В.В., Шапошников А.В.</i> .....	223
<b>Возможности повышения энергоэффективности производства на ТЭС</b> <i>Борисов Г.М.</i> .....	226
<b>Применение солнечной энергии в теплоснабжении</b> <i>Валиева А.М., Хакимзянова Г.Ф., Лившиц С.А.</i> .....	229

<b>Оптимизация затрат электрической энергии на привод дымососов теплогенерирующего оборудования котельных</b> <i>Гаврилова А.А., Новичкова А.В., Бокарева Т.Н.</i> .....	230
<b>Применение торцевых диафрагм для учета расхода жидкостей и газов</b> <i>Гареев Р. С., Фафурин В. А. *, Фефелов В.В, Явкин В. Б.</i> .....	233
<b>Тепловой баланс экодому с учетом рекуперации вентиляционного воздуха</b> <i>Удалов С.Н., Грибов М.А.</i> .....	236
<b>Анализ масштабов тепловых потерь теплопроводов в условиях увлажнения изоляции с учетом испарении влаги</b> <i>Губина Е.В., Половников В.Ю.</i> .....	238
<b>Влияние регенерации на экономичность энергоблока с пароохлаждаемым быстрым реактором</b> <i>Гуков Е.В., Антонова А.М.</i> .....	241
<b>Оценка распространения газообразных выбросов от вертикальных тепловых источников</b> <i>Добросельский К.Г.</i> .....	245
<b>Кинетические параметры низкотемпературной конверсии органических топлив</b> <i>А.В. Казаков, К.В. Загидулина</i> .....	248
<b>Вариант использования кавитационного водоугольного топлива на действующих ТЭС</b> <i>И.П. Каменев, Е.Г. Карпов</i> .....	250
<b>Возможность повышения эффективности теплоэнергетических установок с конденсационными котлами</b> <i>Цынаева А. А., Каменева В. Ю., Ратникова Л. Ф.</i> .....	253
<b>Теплообмен в системе «капля расплава – подложка»</b> <i>Колесникова Е.А., Немова Т.Н.</i> .....	255
<b>Повышение энергетической эффективности системы теплоснабжения от водогрейной котельной</b> <i>Королёв П.В., Васильев С.В.</i> .....	259
<b>Влияние геометрии лопаток осевой гидротурбины пропеллерного типа на выходную мощность МикроГЭС</b> <i>Кузьмин Р.В.</i> .....	261
<b>Использование избыточной энергии давления природного газа на небольших газораспределительных станциях</b> <i>Кулагина О.В., Гатауллина А.Р., Молчанова Р.А.</i> .....	263
<b>Получение полукокса из бурых углей Шивэ-Овооского месторождения Монголии</b> <i>А.Н.Кучерина, А.С.Дьяченко, А. Ю.Долгих.</i> .....	264
<b>Особенности сжигания каменного угля в виде водоугольного топлива</b> <i>Латин Д.А.</i> .....	267
<b>Регенерация питательной воды высокотемпературных турбоустановок с использованием воздухоподогревателей</b> <i>К.Б. Ларионов, Б.Ф. Калугин</i> .....	270
<b>Перспективы применения нагревательных элементов трансформаторного типа в системах отопления</b> <i>Левин М.М., Сериков А.В.</i> .....	272

<b>Исследование массоэнергетических характеристик межорбитального буксира с солнечной энергоустановкой</b> <i>Мигунов Я.Н.</i> .....	275
<b>Исследование циркуляционного подогрева мазута в отдельных 4-х резервуарных схемах мазутных хозяйств ТЭС</b> <i>Московкина Е.О., Лившиц С.А.</i> .....	279
<b>Результаты экспериментального исследования циклонных пиролизеров горючих сланцев</b> <i>Мракин А.Н., Агеев М.А.</i> .....	280
<b>Оценка эффективности применения ПВМ на базе ТЭЦ-1</b> <i>Ахметов Э.А., Нигметзянова А.А., Ахметова Р.В.</i> .....	284
<b>Методика измерения тепловых сопротивлений материалов и конструкций. Расчет теплопроводности материалов</b> <i>Никитушкин И.В.</i> .....	286
<b>Преимущества и недостатки систем инфракрасного отопления</b> <i>Погодин А.И., Солнышкова Ю.С., Бухмиров В.В.</i> .....	290
<b>Разработка и исследование регулятора давления газа</b> <i>Погребижская Е.М., Цынаева А.А.</i> .....	292
<b>Особенности математического моделирования двухфазных потоков высокой концентрации</b> <i>Родионов Г.А., Бухмиров В.В.</i> .....	295
<b>Исследование повышения эффективности паротурбинных блоков сверхкритических параметров введением многоступенчатого промежуточного перегрева пара</b> <i>Ростунцова И.А., Шевченко Н.Ю.</i> .....	297
<b>К вопросу создания пылеугольного энергоблока на суперсверхкритические начальные параметры пара</b> <i>Матвеев А.С., Саввина Я.Г.</i> .....	300
<b>Анализ энергоэффективности работы дутьевых вентиляторов энергетического оборудования котельных</b> <i>Салов А.Г., Савинова А.В., Сагитова Л.А.</i> .....	304
<b>Водяной (паровой) калорифер новой конструкции, преимущества и опыт применения</b> <i>Киселев Ю.Е., Гецман А.Е. Сливной В.Н.</i> .....	306
<b>Исследование процессов тепловыделения в дисковом кавитационном теплогенераторе</b> <i>Беспалов В.И., Беспалов В.В., Коротких А.Г., Слюсарский К.В.</i> .....	310
<b>Исследование топочных процессов при сжигании природного газа в камерной топке</b> <i>Гиль А.В., Д.В. Лебедь Д.В.</i> .....	313
<b>Определение экономической эффективности применения энергосберегающего промышленного испарителя сжиженных газов</b> <i>Рулев А.В., Разманов А.А.</i> .....	317
<b>Математическое моделирование зажигания водоугольной частицы с учетом пиролиза угольной компоненты топлива</b> <i>Сыродой С.В.</i> .....	319

<b>Определение характеристик конструкционных материалов с целью уточнения параметров объектов теплоэнергетики в процессе эксплуатации</b>	
<i>Троицкий О.Ю., Медведев В.В.</i> .....	322
<b>Автоматизация процесса горения попутного нефтяного газа</b>	
<i>Хамматова Р.И., Ваньков Ю.В.</i> .....	325
<b>Состояние и перспективы угольных энергоблоков на суперсверхкритические параметры пара</b>	
<i>Цибульский С.А., Галашов Н.Н.</i> .....	327
<b>Повышение эффективности систем вентиляции с теплоутилизационными установками</b>	
<i>Степанова А.А., Таркаева А.Д., Цынаева А.А.</i> .....	330
<b>Повышение коэффициента использования топлива котельными установками за счет снижения потерь с уходящими газами</b>	
<i>Тарабрина О.М., Цынаева А.А.</i> .....	332
<b>Повышение эффективности работы питательных насосов производственно-отопительных котельных</b>	
<i>Салов А.Г., Гаврилова А.А., Штыкова Н.В., Петрова К.Н.</i> .....	335
<b>Импульсная очистка теплообменного оборудования</b>	
<i>Шумаева Е.А.</i> .....	338
<b>Повышение эффективности работы газоперекачивающих агрегатов в жаркое время года путем применения впрыска влаги в камеру сгорания</b>	
<i>Калмыкова Т.П., Антропов П.Г., Соколов А.А.</i> .....	341
<b>Использование индивидуального теплового узла с погодным регулированием и закрытой схемой горячего водоснабжения в качестве эффективного теплоэнергетического оборудования</b>	
<i>Королев А.Т.*, Богомолов А.Р., Новоселов А.С.</i> .....	343
<b>Анализ устойчивости критериев экономической эффективности ПГУ-ТЭЦ</b>	
<i>Ларин Е.А., Соколов А.А.</i> .....	346
<b>Практическое применение критериев статической устойчивости на примере одномашинной энергосистемы</b>	
<i>Д.Ф. Мавлетчина</i> .....	348
<b>Анализ средств повышения эффективности энергетической утилизации древесных отходов</b>	
<i>Голдаев С. Помыткин Д.А.</i> .....	352
<b>Тарифообразование и оптимизация в теплоснабжении</b>	
<i>Соломин И.Н., Даминов А.З.</i> .....	354
<b>Перспективы применения газотурбинных двигателей на ТЭС в качестве привода питательных насосов</b>	
<i>Цибульский С.А., Галашов Н.Н.</i> .....	358
<b>Анализ показателей энергетической эффективности компрессорной станции</b>	
<i>Шарафиева А.Н., Ахметов Э.А.</i> .....	361
<b>Влияние порошков железа, титана, бора на энергетические характеристики зажигания высокоэнергетических композиций</b>	
<i>Архипов В.А.*, Коротких А.Г., Янковский С.А.</i> .....	363

<b>Позиционный асинхронный электропривод</b> <i>Алеко М. Н., Карачев В. С.</i> .....	366
<b>Перспективы возобновляемой энергетики в Красноярском крае</b> <i>Амузаде А.С., Коваленко И.В.</i> .....	367
<b>Экспериментальные исследования переходных процессов при коммутациях вакуумных выключателей 110 кВ.</b> <i>Базавлук А.А.</i> .....	369
<b>Результаты обследования систем электроснабжения на основе ДЭС в децентрализованных районах</b> <i>Л.Л. Булыга, О.К. Муканов, Ю.А. Краснятов</i> .....	373
<b>Разработка цифрового измерительного трансформатора тока</b> <i>Волович Г.И., Топольский Д.В., Топольская И.Г.</i> .....	375
<b>Опыт применения датчиков абсолютной вибрации на гидроагрегатах</b> <i>Демшин К.А.</i> .....	378
<b>Оптимизация режимов работы системы электроснабжения собственных нужд Бийской ТЭЦ-1</b> <i>Козырев А.Д., Краснятов Ю.А.</i> .....	382
<b>Преимущества использования линий электропередач с резервной фазой</b> <i>Во Х.К., Косточкин А.А.</i> .....	385
<b>Систематическая погрешность расчета потерь мощности при планировании режимов систем электроснабжения с учетом неопределенности исходной информации</b> <i>Крубцова А.А., Малафеев А.В.</i> .....	388
<b>Система автономного освещения для регионов Сибири</b> <i>Майкова О.В., Юрченко А.В.</i> .....	391
<b>Повышение чувствительности дистанционных защит к коротким замыканиям за трансформаторами ответвлений для линий, защищаемых продольными дифференциальными токовыми защитами</b> <i>Колесов Л.М., Можжухина В.В.</i> .....	395
<b>Показатели экономической эффективности ветропарков</b> <i>Отрощенко А.А., Чернов С.С.</i> .....	399
<b>Энергоэффективное управление асинхронным электроприводом по критерию постоянства перегрузочной способности</b> <i>Смолин В.И., Топольская И.Г.</i> .....	402
<b>Взаимосвязь качества электроэнергии и режима заземления нейтрали в сетях 6-35 кВ</b> <i>Кочура Д.В., Цивилёв И.Ю.</i> .....	405
<b>Сопряжение генерирующих установок в гибридных системах электроснабжения</b> <i>Сарсикеев Е.Ж., Шолохова И.И.</i> .....	408
<b>Трехмерные солнечные батареи и их преимущества при использовании в высокоширотных областях Сибири.</b> <i>Юрченко А.В., Юрченко В.И.</i> .....	412



Научное издание

**ЭНЕРГЕТИКА:  
ЭФФЕКТИВНОСТЬ, НАДЕЖНОСТЬ, БЕЗОПАСНОСТЬ**

Материалы докладов XIX Всероссийской  
научно-технической конференции



**ЭНЕРГЕТИКА:  
ЭФФЕКТИВНОСТЬ,  
НАДЕЖНОСТЬ,  
БЕЗОПАСНОСТЬ**

**МАТЕРИАЛЫ ТРУДОВ  
XIX ВСЕРОССИЙСКОЙ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

**Том 2**

**Томск  
4-6 декабря 2013 г.**

ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ТОМСКОЕ ПРОФЕССОРСКОЕ СОБРАНИЕ  
СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
МЕЖДУНАРОДНАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ  
МЕЖДУНАРОДНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК ЭКОЛОГИИ И БЕЗОПАСНОСТИ  
ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

**МАТЕРИАЛЫ ТРУДОВ ДЕВЯТНАДЦАТОЙ  
ВСЕРОССИЙСКОЙ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

**«ЭНЕРГЕТИКА:  
ЭФФЕКТИВНОСТЬ, НАДЕЖНОСТЬ, БЕЗОПАСНОСТЬ»**

**Том II**



Томск - 2013

УДК 620.9+(621.311+621.039):504+621.039.058+621.311.019.3  
Э65

Э65 Энергетика: Эффективность, надежность, безопасность: материалы трудов XIX Всероссийской научно-технической конференции / Томский политехнический университет, 4-6 декабря 2013 – Томск: Изд-во ООО «Скан», 2013. Т. II. – 434 с.

Настоящий сборник содержит материалы девятнадцатой Всероссийской научно-технической конференции “Энергетика: эффективность, надежность, безопасность”, проведенной 4-6 декабря 2013 г. на базе ГОУ ВПО «Национальный исследовательский томский политехнический университет». В пленарных и секционных докладах обсуждаются проблемы эффективности и безопасности электроэнергетических и теплоэнергетических установок и систем, вопросы энергосбережения и проблемы ядерной энергетики. Рассматриваются научные проблемы и задачи экологии и защиты окружающей среды, медико-биологические аспекты техногенного влияния среды на организм.

**УДК 620.9+(621.311+621.039):  
504+621.039.058+621.311.019.3**

*Редакционная коллегия:*

Литвак В.В. (председатель), доктор технических наук, профессор ТПУ  
Кузнецов Г.В., доктор физико-математических наук, профессор ТПУ  
Панин В.Ф., доктор технических наук, профессор ТПУ  
Сечин А.И., доктор технических наук, профессор ТПУ

*XIX научно-техническая конференция “Энергетика: эффективность, надежность, безопасность” проводится по гранту РФФИ 13-08-06144-г.*

© Авторы 2013

Состав организационного и научного комитета  
**ХІХ-й Всероссийской научно-технической конференции:**  
**«Энергетика: эффективность, надежность, безопасность»**

Чубик Петр Савельевич	ректор ТПУ, профессор, председатель оргкомитета;
Пестряков Алексей Николаевич	проректор по НРИИ, профессор, сопредседатель оргкомитета;
Боровиков Юрий Сергеевич	проректор-директор ЭНИН, доцент, сопредседатель оргкомитета;
Кузнецов Гений Владимирович	зав. кафедрой ТПТ, профессор, зам. председателя оргкомитета;
Ушаков Василий Яковлевич	директор РЦР ТПУ; профессор, сопредседатель оргкомитета;
Литвак Валерий Владимирович	профессор каф. АТЭС ЭНИН, зам. председателя оргкомитета;
Коханенко Лидия Павловна	начальник отдела ОНТИ, член оргкомитета;
Богданова Елена Васильевна	секретарь конференции, ведущий инженер РЦР ЭНИН;
Заворин Александр Сергеевич	зав. кафедрой ПГС и ГТУ ЭНИН, профессор, председатель секции;
Хрущев Юрий Васильевич	профессор каф. ЭСиЭ ЭНИН, председатель секции;
Матковская Тамара Васильевна	зав. кафедрой СГМУ, профессор, председатель секции
Романенко Сергей Владимирович	зав. кафедрой ЭБЖ ИНК, профессор, председатель секции;
Лукутин Борис Владимирович	зав. кафедрой ЭПП ЭНИН, профессор, председатель секции;
Сечин Александр Иванович	профессор каф. ЭБЖ ИНК, член оргкомитета;
Богданов Евгений Петрович	доцент каф. ЭКМ ЭНИН, член оргкомитета.

## Секция 3

Энергетическая безопасность и  
энергосбережение**Клиентоориентированный подход к обеспечению надежности электроснабжения****Васильева М.В.***Новосибирский государственный технический университет, Россия, г. Новосибирск*[vas-mv@yandex.ru](mailto:vas-mv@yandex.ru)

Рассмотрение текущей ситуации в области обеспечения надежности электроснабжения в РФ естественно распадается на три аспекта:

- социопсихологический;
- технико-технологический;
- организационно-экономический.

Первый аспект предусматривает наличие критериев и норм, характеризующих надежность электроснабжения. Ранее требования по надежности определялись Правилами устройства электроустановок в рамках определения категории надежности. Сейчас нормы этого документа носят рекомендательный характер, и нормативные значения показателей надежности установлены только для потребителей третьей категории: допустимое число часов отключения в год составляет 72 часа, но не более 24 часов подряд, включая срок восстановления электроснабжения. Для первой и второй категории надежности границы этих показателей определяются сторонами договора об электроснабжении индивидуально, но они не могут быть больше соответствующих величин, предусмотренных для третьей категории [1, п.31(6)]. Таким образом, механизм категорирования потребителей электроэнергии в настоящее время теряет своё первоначальное значение.

На смену ему приходит концепция клиентоориентированности. В утверждённой от 3 апреля 2013 года Стратегии развития электросетевого комплекса РФ в области надежности электроснабжения поставлены задачи постепенно обеспечить адресное транслирование экономических эффектов по результатам деятельности сетевых компаний на конечных потребителей, а в долгосрочной перспективе «обеспечить диалог с потребителями об их приоритетах – надежности энергоснабжения или цены за соответствующий уровень надежности» [2].

Таким образом, в части обеспечения надежности электроснабжения России постепенно перенимает мировой опыт. За рубежом конечный потребитель самостоятельно определяет необходимый ему уровень надежности электроснабжения.

Очевидно, что для реализации такого подхода в России должны быть увеличены возможности электросетевых предприятий в технико-технологическом аспекте. В первую очередь, речь идет о необходимости установки систем АСКУЭ, позволяющих измерять и фиксировать показатели надежности электроснабжения, и доступности технических средств, позволяющих обеспечить конечному потребителю индивидуальный уровень надежности.

Привести в соответствие потребностям первого аспекта возможности второго можно при помощи разработки организационно-экономического механизма, или системы отношений между субъектами розничного рынка по поводу надежности электроснабжения с четким разделением прав и обязанностей сторон, а также однозначным определением взаимных финансовых обязательств.

За рубежом идея клиентоориентированности в обеспечении надежности электроснабжения реализуется при помощи двусторонних контрактов [3]. С учетом передовой мировой практики систему отношений между субъектами розничного рынка РФ в части обеспечения индивидуального уровня надежности предлагается строить на договорной основе.

В роли одной из сторон договора, предоставляющей соответствующую услугу, естественно рассматривать распределительную электросетевую компанию. Другой стороной – потенциальными заказчиками услуги – являются конечные потребители электрической энергии, не удовлетворенные текущим уровнем надежности электроснабжения.

Для того чтобы договорные отношения были жизнеспособны, необходимо выполнение следующих условий:

- стороны должны получить положительные экономические эффекты от заключения контракта;
- условия договора должны быть просты и прозрачны для участников;
- стороны договора должны строго выполнять свои обязанности, не нацеливаясь на получение дополнительного обогащения (другими словами, необходимо соблюдение принципа транспарентности отношений).

Предлагаемую схему отношений между сторонами по договору об обеспечении индивидуального уровня надежности электроснабжения иллюстрирует рисунок 1.

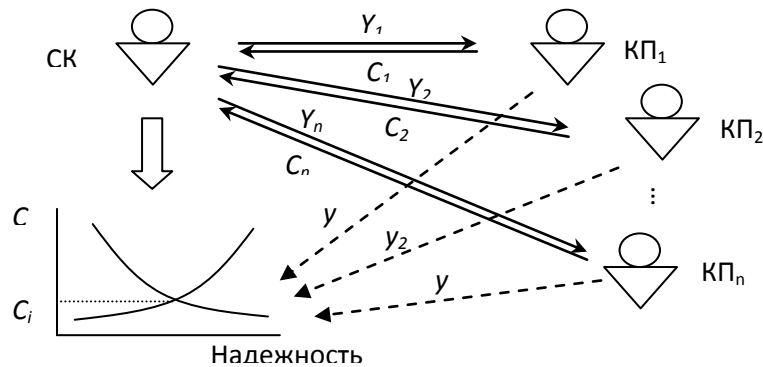


Рис. 1. Схема отношений субъектов розничного рынка по поводу обеспечения адресного уровня надежности электроснабжения

Клиенты (конечные потребители КП<sub>1</sub>, КП<sub>2</sub>...КП<sub>n</sub>) самостоятельно задают необходимую им надежность через определение размера компенсации  $y_i$ , которую они хотят получить в случае ограничения подачи электроэнергии за каждый недоотпущенный кВт\*ч. Сетевая компания СК обязуется обеспечить требования потребителей за денежное вознаграждение  $C_i$ . В случае ограничения электроснабжения потребителя сетевая компания выплачивает ему компенсацию в размере

$$Y_i = y_i \cdot \Delta \mathcal{E}_i,$$

где  $\Delta \mathcal{E}_i$  – недоотпуск электроэнергии  $i$ -му потребителю.

При условии выполнения принципа транспарентности отношений заявляемая потребителем величина компенсации равна его фактическим убыткам из-за ограничения электроснабжения. В этом случае с экономической точки зрения технический уровень надежности безразличен для потребителя, так как все убытки ему возмещаются. Чтобы у потребителя не было стимула завышать размер компенсаций, стоимость услуги  $C_i$  должна изменяться пропорционально его требованиям, т.е.

$$C_i = f(y_i)$$

Из полученных от потребителей денежных средств сетевая компания формирует целевой фонд для финансирования технических мероприятий для выполнения требований клиентов и возмещения возникающих у них из-за ненадежности убытков.

Очевидно, что целесообразность проведения технических мероприятий необходимо определять по критерию минимума суммарных издержек. Техническое решение будет эффективно, если требующиеся на его внедрение затраты меньше, чем снижение размера компенсационных выплат потребителю.

За счет предоставления вне рыночной услуги по обеспечению адресной надежности электроснабжения сетевые компании смогут:

- сформировать дополнительный целевой источник денежных средств, на размер и порядок образования которого не распространяется влияние регулятора розничного рынка электроэнергии;
- получить ценовые сигналы, позволяющие искать технические способы и средства эффективного обеспечения требуемого конкретным потребителям уровня надежности электроснабжения;
- осуществить адресные мероприятия, позволяющие извлекать экономический эффект от повышения надежности электроснабжения конкретного конечного потребителя.

С другой стороны, потребителю контракт по обеспечению индивидуальной надежности позволит

- во внесудебном порядке получать компенсацию за прерывания электроснабжения сверх нормативов, установленных в договоре, т.е. возмещение упущенной выгоды или понесенных убытков;
- снизить размер собственных единовременных капиталовложений на реализацию технических мероприятий по повышению уровня надежности электроснабжения.

#### Список литературы:

1. Правила недискриминационного доступа к услугам по передаче электрической энергии и оказания этих услуг // ПС Консультант плюс
2. Распоряжение Правительства РФ от 03.04.2013 № 511-р «Об утверждении Стратегии развития электросетевого комплекса Российской Федерации» / «Собрание законодательства РФ», 08.04.2013, № 14, ст. 1738.
3. Васильева М.В. Зарубежный опыт обеспечения надежности электроснабжения // Бизнес. Образование. Право. Вестник Волгоградского института бизнеса. – 2013, – № 4 (25), – С. 144-149.

### Повышение энергоэффективности объектов при реконструкции производств изопрена и ски на ООО "Тольяттикаучук"

*Деев М.А., Глухов Д.М.*

*ООО «Технопроект Синтез», Россия, г. Воронеж.*

[mitbor@rambler.ru](mailto:mitbor@rambler.ru)

В настоящее время в РФ сложилась уникальная ситуация, когда, с одной стороны, очень много уцелевших после трудных времён конца прошлого века предприятий продолжают выпускать всё ещё конкурентоспособную и востребованную на рынке продукцию, а с другой - практически все они нуждаются в срочной модернизации из-за слишком высоких затрат, требующихся для поддержания основной деятельности, обусловленных устаревшими технологиями и изношенным оборудованием. Менеджмент подобных производств, осознавая важность обозначенных выше проблем [1], как правило, в первую очередь обращается к руководству профильных проектных институтов для выявления возможностей и глубины модернизации. Часто подобные обращения завершаются заключением договоров на проведение проектно-исследовательских работ (ПИР).

В настоящей работе мы представляем один из аспектов современного проектирования в части энергосбережения, реализованный при разработке проектной документации "Реконструкция производства изопрена синтетического каучука изопренового на ООО "Тольяттикаучук".

Проектной документацией [2] по реконструкции производства синтетического каучука изопренового (СКИ) предусмотрено увеличение мощности производства СКИ до 120 тыс. т/год, а также увеличение мощности метилтребутилового эфира (МТБЭ) до 120 тыс. т/год с учетом мощности вновь проектируемой установки синтеза МТБЭ 60 тыс. т/год.

Производство состоит из следующих установок:

Установки получения изопрена (ИП) - 4 шт.

Операторные производств - 5 шт.

Отделения производств - 4 шт.

Основные показатели, характеризующие удельную величину расхода энергетических ресурсов в зданиях, строениях и сооружениях по помещениям предприятия представлены в табл.1.

Таблица 1.

№ п/п	Показатель	Ед.измер.	Значение
1	Расчётная температура воздуха помещений в холодный период года	<sup>0</sup> С	+22
2	Расчётная температура наружного воздуха в холодный период года	<sup>0</sup> С	-36
3	Средняя температура наружного воздуха в холодный период года	<sup>0</sup> С	-5,2
4	Продолжительность отопительного периода	сут.	203
5	Градусо-сутки отопительного периода	ГСОП	5522
6	Общая мощность электродвигателей систем вентиляции зданий и сооружений	Н, кВт	233,44



Инженерно-технические решения проектируемых зданий приняты с учётом их функциональных назначений, технологических процессов, климатических и инженерно-геологических условий площадки строительства, технического задания и действующих нормативных документов [3-6].

Сбережение как тепловой, так и электрической энергии предусматривается за счёт следующих мероприятий:

- автоматическое регулирование теплоотдачи нагревательных приборов при помощи термостатических регулирующих клапанов;
- качественное регулирование параметров теплоносителя калориферов приточных установок автоматизированными смесительными насосными узлами;
- применение трубопроводов из полипропилена, имеющих меньшие гидравлические сопротивления;
- диаметры трубопроводов подобраны с учетом допустимых скоростей движения жидкости во избежание больших потерь на трение;
- устройство систем авторегулирования теплопотребления приточных установок;
- тепловая изоляция внешних трубопроводов систем отопления и теплоснабжения;
- установка экономичного и энергоэффективного оборудования в части потребления электрической энергии, соответствующего требованиям государственных стандартов и других нормативных документов;
- применение люминесцентных светильников с повышенными светотехническими характеристиками и меньшей мощностью;
- применения для электроосвещения экономичных светодиодных и люминесцентных ламп;
- автоматическое управление наружным электроосвещением и освещением входов зданий в зависимости от уровня естественного освещения посредством фотореле и суточных таймеров;
- применение в схемах управления приводами технологического оборудования частотных преобразователей;
- применение современных электродвигателей с высоким значением коэффициента мощности  $\cos\varphi$ ;
- компенсация реактивной мощности посредством установки конденсаторных блоков на секциях ГРЩ-0,4 кВ в РП, РУНН-0,4 кВ в подстанциях.

Контроль за потреблением электроэнергии обеспечивают счётчики технического учёта на вводах 6/0,4 кВ в РП-0,4 кВ.

Для достижения максимальной эффективности в расходовании энергетических ресурсов требуется реализация всех заложенных в проектную документацию перечисленных выше мер.

Как правило, контроль за соблюдением заложенных решений возлагается на проектную организацию, которая обеспечивает авторский надзор за строительством с оформлением всей необходимой в таких случаях документации.

#### Список литературы:

1. Федеральный закон РФ от 23 ноября 2009 года № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».
2. ИП 120-00-ЭЭ. Проектная документация. Реконструкция производств изопрена и СКИ на ООО «Тольяттикаучук». Раздел 10(1). Мероприятия по обеспечению соблюдения требований энергетической эффективности и требований оснащённости зданий, строений и сооружений приборами учёта используемых энергетических ресурсов.
3. СНиП-23-02-2003 «Тепловая защита зданий».
4. СНиП 31-0302001 «Производственные здания».
5. СНиП 2.09.04-87\* «Административные и бытовые здания».
6. СНиП-23-02-2003 «Тепловая защита зданий».

## Утилизатор тепла и холода вентиляционного воздуха с целью энергосбережения в жилых зданиях

Захаров А.А., Низовцев М.И.

Новосибирский Государственный Технический Университет, Россия, г. Новосибирск

Институт теплофизики СО РАН, Россия г. Новосибирск

[pharaon13@mail.ru](mailto:pharaon13@mail.ru)

В рамках Федерального закона № 261-ФЗ «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности...» поставлена задача значительного снижения энергозатрат при эксплуатации зданий. К 2020 году должно быть достигнуто снижение энергоемкости ВВП на 40% к уровню 2007 года. Особенно остро проблема стоит в жилищном секторе. Наибольшие возможности снижения энергопотребления зданий связаны с совершенствованием систем вентиляции и с утилизацией тепла и холода вентиляционного воздуха [1].

Проблема вентиляции жилых и производственных зданий стала более острой в связи с повышением герметичности современных окон и дверей и ростом коммунальных тарифов. Современные окна и двери обладают высокими теплоизоляционными и акустическими характеристиками, однако почти полностью перекрывают приток свежего воздуха, который традиционно обеспечивался инфильтрацией через неплотности дверных и оконных проемов. Установка дополнительных воздушных клапанов в большинстве случаев оказывается мало эффективной, как с точки зрения энергосбережения, так и с точки зрения организации воздухообмена. В больших офисных и производственных зданиях эта проблема решается использованием крупных центральных систем вентиляции и кондиционирования. В коттеджах и многоквартирных домах она остается пока практически нерешенной.

В настоящее время наиболее широко применяются следующие типы воздушных утилизаторов тепла и холода:

- рекуперативного типа на базе пластинчатых воздухо-воздушных теплообменников [2];
- регенеративные вращающейся [3];
- с промежуточным теплоносителем [4].

В тоже время активно продолжают работы по разработке новых перспективных конструкций таких аппаратов [5,6].

При сходных массогабаритных показателях наибольшей энергетической эффективностью обладают регенеративные вращающейся теплоутилизаторы (80–95%), далее следуют рекуперативные (до 65%) и менее эффективны теплоутилизаторы с промежуточным теплоносителем (45–55%).

По своему исполнению в многоэтажных жилых зданиях теплоутилизаторы могут быть центральными на все здания или группу квартир и индивидуальными, поквартирными.

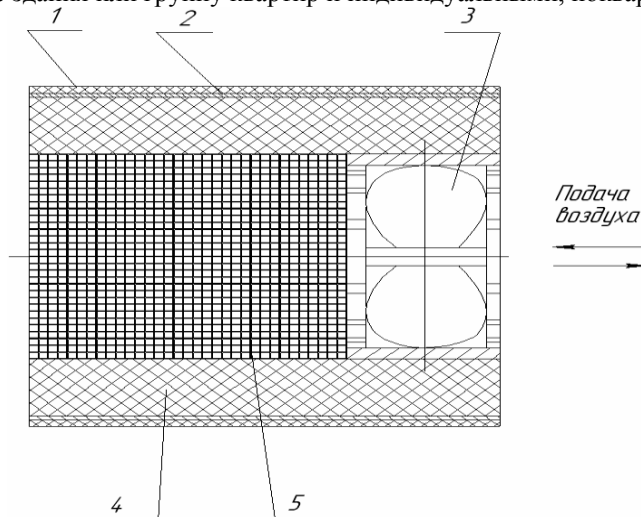


Рис.1. Конструкция регенеративного теплообменника с периодически изменяемым направлением прокачиваемого воздуха: 1 - корпус регенератора; 2 - теплоизоляционная фольга; 3 – вентилятор; 4 – теплоизоляция; 5 - регенеративная насадка.

По своим конструктивным особенностям теплоутилизаторы с промежуточным теплоносителем малоприспособлены для индивидуальной поквартирной вентиляции, и поэтому на практике их используют для центральных систем.

Одним из новых подходов к снижению энергозатрат при обеспечении необходимой циркуляции воздуха в помещении является использование локальных систем вентиляции с утилизацией теплоты удаляемого из помещения воздуха. Одним из таких перспективных теплоутилизаторов вентиляционного воздуха является регенеративный теплообменник с периодически изменяемым направлением прокачиваемого воздуха (рис.1.).

В аппарате направление движения воздуха периодически изменяется. Во всех каналах регенератора происходят одинаковые процессы теплообмена, поэтому можно рассматривать единичный канал. Процесс теплообмена в канале насадки является установившимся. Температура поверхности канала изменяется по длине насадки и по времени.

Принимаются следующие допущения:

- регенератор теплоизолирован, поэтому потери тепла из насадки в окружающую среду отсутствуют;
- теплообмен в насадке происходит без конденсации паров влажного воздуха;
- теплофизические свойства регенератора и воздуха постоянны;
- время прохождения воздуха через регенератор намного меньше, чем время цикла.

Процессы тепломассопереноса в регенераторе для воздуха и насадки описываются дифференциальными уравнениями (1) и (2).

$$G c_B \frac{\partial T_B}{\partial z} + c_B \rho_B s \frac{\partial T_B}{\partial \tau} + p \alpha (T_B - T_H) = 0 \quad (1)$$

$$\lambda_H c_H \frac{\partial^2 T_H}{\partial z^2} + p \alpha (T_H - T_B) + c_H \rho_H s_H \frac{\partial T_H}{\partial \tau} = 0 \quad (2)$$

Здесь:  $T_B$  — температура воздуха;  $T_H$  — температура насадки;  $s$  — площадь проходного сечения канала;  $\rho_B$  — плотность воздуха;  $p$  — периметр проходного сечения канала;  $\alpha$  — коэффициент теплоотдачи;  $\rho_H$  — плотность материала насадки;  $s_H$  — площадь поперечного сечения насадки;  $\lambda_H$  — теплопроводность материала насадки,  $G$  — массовый расход воздуха;  $c_B$  — теплоемкость воздуха;  $c_H$  — теплоемкость материала насадки.

Начальное условие (3) для уравнения (1) аналогично (2) с различием, что для (1) условие для  $T_B(\tau=0)$ :

$$T_H(\tau=0) = T_{in} - \frac{(T_{in} - T_{out})z}{L}, \quad (3)$$

Где  $L$  — длина канала.

Граничные условия (4) для уравнения (2) приняты с учетом допущения, что насадка теплоизолирована:

$$\left( \frac{\partial T_H}{\partial z} \right)_{z=0} = 0; \quad \left( \frac{\partial T_H}{\partial z} \right)_{z=L} = 0 \quad (4)$$

Таким образом, тепловой расчет процессов тепломассопереноса в канале регенеративного теплообменника сводится к совместному решению дифференциальных уравнений (1), (2) с крайними условиями (4) и начальным условием (3). Для решения дифференциальных уравнений применяется метод разностных аналогов.

Первые попытки запрограммировать модель регенеративного теплоутилизатора, проводились в г. Санкт-Петербурге [7].

Для выполнения расчета необходимо задать геометрию насадки, теплофизические характеристики материала насадки и теплоносителя и параметры работы регенератора. Результатом расчета в программе являются коэффициент теплоотдачи и коэффициенты аккумуляции и регенерации, а также температурные поля по временным слоям.

#### Список литературы:

1. ТРУДЫ АВОК—4—2004. Технические рекомендации по организации воздухообмена в квартирах многоэтажного жилого дома.— М.: АВОК-ПРЕСС, 2004.
2. <http://www.daikin-rus.com/opisanie31.htm>
3. Васильев В.А., Каменецкий К.К., Экспериментальное исследование регенеративного теплообменника и анализ тепловых процессов.// Холодильная техника и кондиционирование.

4. <http://www.recuperators.ru/information/recuperators/fluid.php>
5. Низовцев М.И. Экспериментальное исследование динамических и тепловых характеристик дискового вентилятора - регенератора тепла вентиляционного воздуха. Известия Вузов. Строительство, 2007г, № 10, с.46-50.
6. Ланда Ю.И. Децентрализованная рекуперативная вентиляция квартир. Спецвыпуск журнала Энергосбережение, 2012г, № 12, с.40-43.
7. Васильев В.А., Гаврилов А.И., Каменецкий К.К., Соболев Е.В. Параметрическое исследование регенеративного теплообменника.// Вестник МАХ, 2010, №1

#### **Расчет теплотерь при совместной прокладке трубопроводов тепловых сетей в условиях крайнего севера**

***Игнатьев В.С., Иванов В.А.***

*Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН, Россия, г. Якутск  
[a.p.shadrin@iptpn.yzn.ru](mailto:a.p.shadrin@iptpn.yzn.ru)*

Режим потребления тепловой энергии зависит от многих факторов. Основными из них являются режим работы предприятий, тепловые нагрузки отапливаемых зданий, потребление горячей воды населением, предприятиями и тепловые потери тепловыми сетями. Тепловая энергия является товаром и ее качество должна отвечать требованиям документов, регулирующих взаимоотношения между потребителями тепловой энергии и теплоснабжающими организациями.

При транспортировке тепловой энергии потребителям по тепловым сетям происходит потеря тепловой энергии, которая влияет на общую выработку тепловой энергии на источнике теплоты, так как эти потери могут достигать значительных величин в зависимости от многих факторов.

Определение потерь теплоты при транспортировке теплоносителя в условиях Севера, мало изученная проблема и зачастую величину тепловых потерь тепловыми сетями принимают без достаточных обоснований по нормативам, разработанным для Западных районов России. Климатические условия Центральной и Западной России очень сильно отличается от климатических условий Якутии. [1]. Эти климатические условия предопределили тип прокладки тепловых сетей и трубопроводов. В г. Якутске после многих неудачных результатов применения надземной прокладки тепловых сетей в непроходных каналах и подземной прокладки в проходном канале, постепенно отказались от таких видов прокладки в пользу надземной прокладки по отдельно стоящим опорам. Но приняв надземную прокладку тепловых сетей, не были разработаны нормативные документы, регламентирующие тепловые потери при таком способе прокладки в условиях сурового климата Крайнего Севера со сверхнизкой температурой воздуха (ниже минус 30°C), где часто происходит образование «морозного тумана» при температурах ниже минус 40°C, влияние которой на фактическое состояние тепловой изоляции вообще не изучено, где еще не изучены теплообменные процессы при эксплуатации тепловой сети. Кроме этого существует проблема предохранения замерзания воды в водопроводе, которая прокладывается в тепловых сетях совместно с трубопроводами сетевой воды.

В районах Крайнего Севера, где расположен город Якутск, в последнее время в основном предусматривается надземная прокладка тепловых сетей. Тепловые сети и магистральные и распределительные принадлежащие ОАО «Якутскэнерго» проложены по высоким отдельно стоящим опорам – надземно. Принятый тип прокладки имеет как положительные, так и отрицательные стороны. Этот способ прокладки было продиктовано мерзлотно-грунтовыми условиями и равнинным расположением города. Мерзлотно-грунтовые условия при подземной прокладке требуют дорогостоящих мероприятий по их сохранению, а вторая причина также требует не менее дорогостоящих мероприятий при отсутствии ливневой канализации в городе по отводу дренажных вод из каналов.

Величина тепловых потерь трубопроводами тепловых сетей зависит от:

- вида теплоизоляционной конструкции и применяемых в ней теплоизоляционных материалов;
- температурного режима и продолжительности работы тепловой сети;
- параметров окружающей среды;
- от материальной характеристики тепловой сети;
- срока и условий эксплуатации.

В г. Якутске в качестве тепловой изоляции в основном применяются минераловатные маты, пенополиуретан и базальтовое супертонкое волокно.

Для теплоизоляционного слоя трубопроводов тепловой сети применяются материалы и изделия со средней плотностью не более  $400 \text{ кг/м}^3$  и теплопроводностью не более  $0,07 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$  при температуре  $25^\circ\text{C}$  и влажности, указанной в ГОСТ и ТУ на эти материалы.

Расчет толщины тепловой изоляции трубопроводов тепловой сети при надземной прокладке производится по нормированной плотности теплового потока через изолированную поверхность по таблицам 1 и 2 обязательного приложения 4\* СНиП 2.04.14-88\*.

За расчетную температуру окружающей среды принимается:

- для трубопроводов тепловых сетей (водопровод, трубы горячего водоснабжения) по нормированной плотности теплового потока – среднюю за год;
- для трубопроводов тепловых сетей (подающий и обратный), работающих только в отопительный период, среднюю, за период со среднесуточной температурой наружного воздуха  $8^\circ\text{C}$  и ниже.

Значительное влияние на теплопроводность влияет температура, при которой они эксплуатируются. Это связано с повышением теплопередачи путем лучеиспускания и конвекции. Одним из способов передачи тепловой энергии является излучение, которая представляет собой превращение части внутренней энергии одного тела в энергию электромагнитных волн, которая распространяется в полностью или частично пропускающей это излучение среде и поглощается другим телом.

При совместной прокладке трубопроводов в одной оболочке происходит сложный лучистый теплообмен, который состоит для любого одного из этих трубопроводов из собственного излучения отраженного от других трубопроводов и отраженного собственного излучения. Прокладка этих трубопроводов производится на одном уровне на определенном расстоянии друг от друга, и лучистый теплообмен происходит между двумя этими трубопроводами.

При раздельной прокладке тепловых сетей и водопровода для предохранения последней от замерзания применяются следующие методы:

- принудительный сброс водопроводной воды в канализационную сеть через домовые приборы;
- прокладку с тепловым сопровождением (спутником);
- постоянную циркуляцию воды в водопроводе;
- электрообогрев (электрический спутник).

Одним из наиболее рациональных способов предохранения водопровода от замерзания является совмещенная прокладка водопровода с трубопроводами систем отопления зданий, которые обеспечиваются водой.

Для предохранения воды в водопроводе от замерзания при надземной прокладке практикуется совместная прокладка водопровода с трубопроводами тепловых сетей (обратным или подающим трубами в отдельности или обоими вместе в общей теплоизоляции в одном кожухе). В некоторых случаях в распределительных квартальных сетях в общей теплоизоляции (в одном кожухе) прокладываются кроме подающей и обратной трубы, трубы горячего водоснабжения. В итоге получается способ прокладки не отраженный в нормативных документах по теплоснабжению. При этом способе совместной прокладки труб разного назначения происходит сложный теплообменный процесс между этими трубами и связанный с этим процессом теплопотери этой конструкции в окружающую среду (наружный воздух).

Расчет тепловых потерь при совместной прокладке водопровода с обратным трубопроводом систем отопления имеет свои особенности, которая характеризуется при этом увеличением суммарных теплопотерь. При таком виде прокладки теплообмен между обратным трубопроводом, водопроводом и окружающим воздухом происходит в зависимости от толщины и вида теплоизоляционного материала, от диаметров труб и расстояния между ними и параметров окружающей среды (воздуха). Также происходит изменение теплофизических свойств теплоизоляционных материалов, применяемых в ограждающих конструкциях в период эксплуатации, которая происходит под воздействием внешних факторов таких как:

- изменение температуры и влажности наружного воздуха;
- температура и влажность воздуха внутри изоляции.

Для определения влияния всех этих факторов на величину тепловых потерь при совместной прокладке водопровода с трубопроводами сетевой воды необходимо разработать

методику решения величины тепловых потерь при совмещенной прокладке в одной изоляции труб отопления с водопроводом.

Общий алгоритм решения для разных вариантов отличаются диаметрами труб, расстояниями между ними, видом и толщиной теплоизоляции, а также климатическими условиями местности.

Во-первых, определяем температуру воздуха внутри кожуха совместной теплоизоляции. Далее определяем тепловые потери через теплоизоляцию:

- $q_1$  – через теплоизоляцию, облегающей обратный трубопровод сетевой воды;
- $q_2$  – через нижнюю часть теплоизоляции на месте полости;
- $q_3$  – через верхнюю часть теплоизоляции на месте полости;
- $q_4$  – количество теплоты, воспринимаемой водопроводом внутри полости;
- $q_5$  – потеря теплоты через теплоизоляцию, облегающей водопровод.

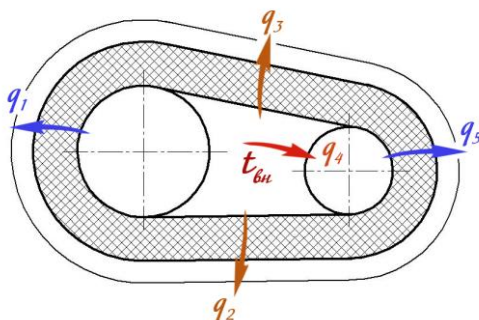


Рис.1. Схема тепловых потоков при совмещенной прокладке трубопроводов.

Разница между суммой этих потерь теплоты, не включая потерь теплоты через теплоизоляцию, облегающей водопровод, и величины тепловых потерь в случае отдельно проложенного трубопровода сетевой воды и будет дополнительная потеря теплоты при совмещенной прокладке водопровода и трубопровода сетевой воды.

По этой методике были проведены расчеты при совмещенной прокладке обратного трубопровода с диаметрами  $d_n=57$  и  $219$  мм с водопроводом с диаметром трубы  $d_n=108$  мм. В результате получилось, что при совмещенной прокладке этих трубопроводов величина теплотерь обратного сетевого трубопровода увеличилась, в случае с  $d_n=57$  мм на 39%, при  $d_n=219$  мм на 65,5%. Наибольшее количество теплоты (более 43%) было отдано поверхностью обратного трубопровода внутри кожуха на нагрев водопровода, около 30% затрачивается самим трубопроводом сетевой воды через теплоизоляцию в окружающую среду, а остальная часть уходит тоже через теплоизоляцию с кожуха.

Таким образом, при совмещенной прокладке трубопроводов сетевой воды и водопровода, теплотери обратного трубопровода увеличиваются от отдельно изолированного обратного трубопровода. Но при такой прокладке решается проблема предохранения замерзания воды в водопроводе, что не менее важно для суровых холодных зим в Якутии.

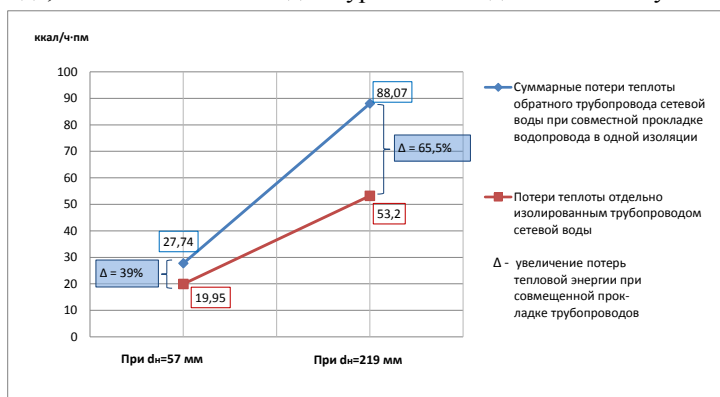


Рис. 2. Увеличение потерь тепловой энергии при совместной прокладке обратного трубопровода сетевой воды и водопровода в одной изоляции.

Для проверки расчетных значений тепловых потерь при эксплуатации тепловых сетей необходимо проводить инструментальные обследования для оценки эффективности работы системы теплоснабжения в целом, а также его отдельных элементов. Обследования проводятся в соответствии СО 153-34.20.523(3)-2003. [4]. МДК-03.2001.[5]. РД 34.09.255-97.[6].

Одним из последних внедренных методов контроля соответствия фактических потерь теплоты с нормативными значениями и заложенными при проектировании тепловых сетей является инфракрасная диагностика. Это метод неразрушающего контроля на основе современных приборов, которые позволяют обследовать и замерять тепловое поле вокруг обследуемого объекта.

#### Список литературы:

1. Пособие к СНиП 23-01-99 «Строительная климатология». –М., 2006.
2. СНиП 2.04.14-88\* «Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов». Госстрой России. – М.: ГУП ЦПП, 2002. – 28 с.
3. СП 41-103-2000. Проектирование тепловой изоляции оборудования и трубопроводов. Госстрой России, 2001. – 42 с.
4. СО 153-34.20.523(3)-2003. Методические указания по составлению энергетической характеристики для систем транспорта и распределения тепловой энергии по показателю «Тепловые потери». –М.: Минэнерго РФ, 2003.
5. МДК-03.2001. Методика определения нормативных значений показателей функционирования водяных тепловых систем коммунального теплоснабжения. –М., Госстрой России, 2001.
6. РД 34.09.255-97. Методические указания по определению тепловых потерь в водяных тепловых сетях. –М.: СПО ОРГРЭС, 1998.

#### О показателях энергетической эффективности

*Литвак В.В., Климова Г.Н.*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
[gariki@tpu.ru](mailto:gariki@tpu.ru)*

Федеральный закон №261 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности» [1] предусматривает осуществление государственного контроля, поддержки и регулирования действий, направленных на экономию энергетических ресурсов. При этом под энергетической эффективностью понимаются характеристики, отражающие отношение полезного эффекта от использования энергетических ресурсов к затратам энергетических ресурсов, произведенным в целях получения такого эффекта, применительно к продукции, технологическому процессу, юридическому лицу, индивидуальному предпринимателю.

Таким образом, значительная часть потребляемых топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) может быть исключена из рассмотрения, поскольку не создает измеряемого полезного эффекта. Примерами такого безэффективного использования могут являться потребление ТЭР в быту, на транспорте, в сфере услуг и т.д. Доля такого “безэффективного” потребления достаточно велика.

В связи с этим представляется целесообразным попытаться искусственно сформулировать “универсальный” критерий эффективности, который позволит сопоставлять полезность использования ТЭР на всех уровнях.

Под энергосбережением понимается “реализация организационных, правовых, технических, технологических, экономических и иных мер, направленных на уменьшение объема используемых ТЭР...”. Сегодня повсеместно создаются программы энергосбережения, планы энергосберегающих мероприятий и т.п. При этом остается без внимания то обстоятельство, что возможность энергосбережения на каком-либо объекте является свидетельством дисгармонии в составе, структуре и работоспособности этого объекта. Действительно, выявление возможности энергосбережения свидетельствует либо о несовершенстве норм и правил по которым был создан этот объект, некомпетентности создателей (проектировщиков, эксплуатационников) этого объекта, заложивших в его конструкцию избыточное энергопотребление, либо о несовершенстве правил и некомпетентности лиц, обнаруживших наличие и потенциал энергосбережения. И в том, и в другом случае нужно реализовывать новые технологии, правила, нормы и регламенты

совершенствования систем энергообеспечения по энергоэффективности. Какое место на этом пути за программами энергосбережения – большой вопрос.

В мировой практике в качестве основного показателя используемого для сравнения энергетической эффективности стран используется энергоёмкость валового национального продукта (ВНП). Она определяется как отношение суммарного потребления энергетических ресурсов, выраженного в тоннах нефтяного эквивалента (т н.э.) к величине валового национального продукта, произведенного в отраслях экономики на территории государства.

Таблица 1 – Энергоёмкость ВНП\* некоторых стран Мира, т н.э./1000 единиц национальной валюты

№	Страна	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
1	Россия	0,069	0,057	0,047	0,037	0,030	0,024	0,020	0,016
2	Канада	0,226	0,216	0,210	0,202	0,194	0,182	0,173	0,162
3	США	0,221	0,215	0,205	0,195	0,185	0,172	0,167	0,154
4	Франция	0,178	0,171	0,167	0,161	0,155	0,147	0,137	0,131
5	Германия	0,167	0,154	0,155	0,154	0,149	0,146	0,134	0,133
6	Великобритания	0,218	0,195	0,187	0,176	0,168	0,159	0,150	0,132
7	МИР в целом	-	-	-	-	-	-	-	0,191

Примечание: \* - по данным [2] Международного энергетического агентства. Валовой национальный продукт выражен в текущих ценах.

Показатель энергоёмкости валового национального продукта пригоден для сопоставления эффективности использования энергоресурсов разных стран. Что же касается сопоставления энергоэффективности объектов внутри страны, то энергоёмкость ВНП непригодна, так как ВНП статистически вычисляется только для страны в целом. Для оценки эффективности использования энергоресурсов на уровне региона, муниципального образования или предприятия может быть использована энергоёмкость производства валовой добавленной стоимости.

Валовая добавленная стоимость Томской области за ряд лет характеризуется следующими значениями (см. рис. 1). Здесь же приведены характеристики потребления энергоресурсов и энергоёмкости ВДС.

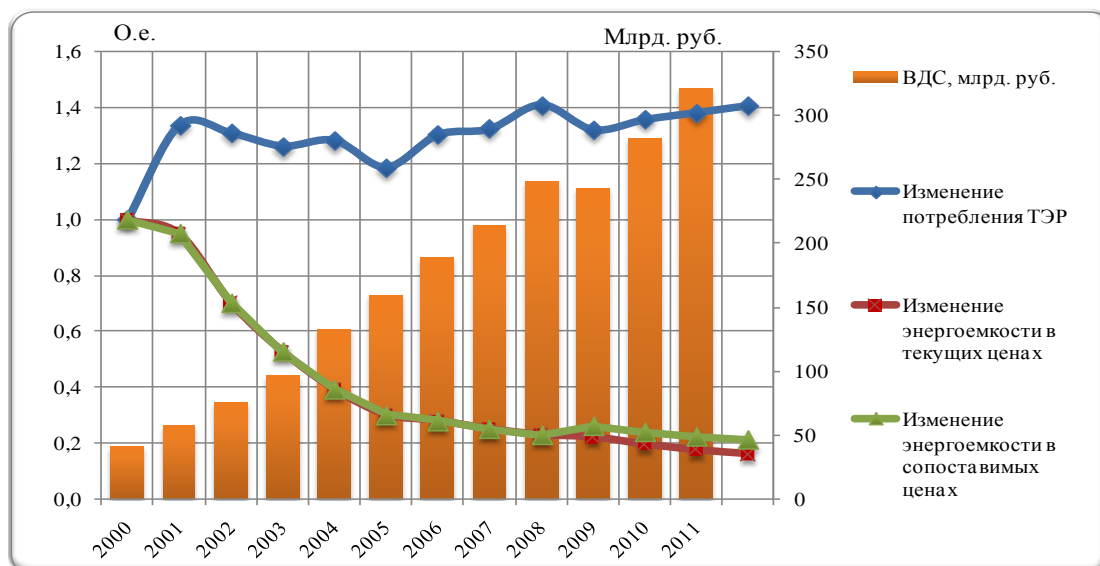


Рис. 1. Сопоставление динамики создания ВДС (млрд. руб., потребления топливно-энергетических ресурсов\*, о.е., энергоёмкости создания ВДС в текущих и сопоставимых условиях\*\*, о.е). \* - дана оценка изменения относительно 2000 года, \*\* - сопоставимые условия, начиная с 2008 года



Числовые характеристики энергоёмкости валового внутреннего продукта в Томской области приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Энергоёмкость ВВП Томской области

Годы	ВДС*		Потребление ТЭР, тыс. т у.т.	Энергоёмкость ВДС	
	всего, млрд. руб.	на душу населения, тыс. руб./чел.		г у.т./руб.	% к предыдущему году
2000	40,5	38,5	7293,3	179,9	-
2001	57,0	54,3	9751,0	170,9	95,0
2002	75,5	72,2	9554,5	126,5	74,0
2003	97,1	93,3	9212,9	94,9	75,0
2004	132,4	127,7	9359,8	70,7	74,5
2005	159,6	154,3	8663,7	54,3	76,8
2006	188,8	182,8	9507,3	50,4	92,8
2007	214,5	207,2	9656,9	45,0	89,4
2008	248,9	239,8	10287,1	41,3	91,8
2009	242,5	232,5	9637,6	39,7	96,2
2010	281,7	269,8	9900	35,15	88,43
2011	320,7	305,7	10082	31,44	89,45
2012	355	337,1	10265	28,92	91,97

\*Примечание. По данным сайта Федеральной службы государственной статистики <http://gks.ru> и данным территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Томской области [3, 4].

Преимущество ВДС по сравнению с ВВП (ВРП) для оценки энергоэффективности состоит, прежде всего, в том, что ВДС начисляется в ценах производителя, а ВРП – в конечных рыночных ценах. Это дает основание предположить более тесную взаимосвязь и взаимозависимость ВДС и энергопотребления.

Энергоёмкости отраслевых комплексов в Томской области в 2009 году различаются в широких пределах (рис. 2).

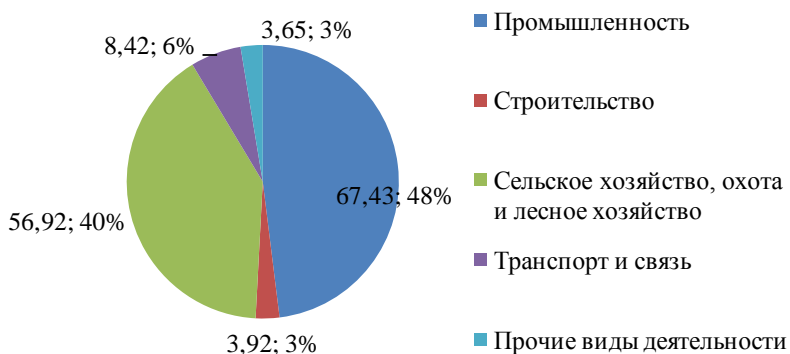


Рис. 2. Энергоёмкость производства в некоторых отраслевых комплексах Томской области, 2009г., г у.т./руб.

Энергоёмкости производства 1 руб. ВДС, 1 руб. заработной платы и расход топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) на 1 работника по видам экономической деятельности в 2009 году представлены в табл. 3.

Наибольшая энергоёмкость ВДС (216,4 г у.т./р.) и расход ТЭР на 1 работника (119,8 т у.т.) наблюдаются при производстве и распределении электрической энергии, газа и воды (доля создаваемой ВДС 2,3%), наименьшая энергоёмкость производства ВДС (1,3 г у.т./р.) и расхода ТЭР на 1 работника (0,4 т у.т.) отмечена в организациях оптовой и розничной торговли (доля

создаваемой ВДС 5,5%). Энергоемкость производства ВДС добывающими отраслями промышленности, которые создают 51% валовой добавленной стоимости равна 13,43 г у.т./р. (4 место).

Таблица 3 - Удельные показатели потребления ТЭР по видам экономической деятельности, 2009г.  
В Томской области

	С\х, охота и л\х	Добыча полезных ископаемых	Обрабатывающие производства	Пр-во ЭЭ, газа, воды	Строительство	Оптовая и розничная торговля	Транспорт, связь	Прочие ВЭД*
Энергоемкость ВДС, г у.т./р.	13	17,2	124,7	216,4	6,8	1,3	11	83
Энергоемкость заработной платы, кг у.т./1 руб.	0,417	1,716	3,151	1,498	0,01	0,032	0,295	0,958
Расход ТЭР на одно рабочее место, т у.т./чел.	3,8	89,4	52,3	119,8	2,1	0,4	7,4	11,1

Анализ индикаторов энергетической эффективности, приведенный выше показывает, что все они не обладают важным в данном случае свойством – свойством универсальности и применение любого из них по отдельности не дает существенных преимуществ. Поэтому необходимо искать такой показатель энергетической эффективности, который вобрал бы в себя и производственное потребление энергоресурсов и потребление, направленное на цели жизнеобеспечения. В связи с этим предлагается рассмотреть комплексный показатель, который составлен из энергоемкости производства  $E_o$  и энергоемкости жизнеобеспечения  $E_k$  – универсальный критерий энергоэффективности (УПЭ):

$$\text{УПЭ} = E_o + E_k = \frac{W_o}{\text{ВДС}} + \frac{W_k}{k \cdot N} = \frac{W_o \cdot k \cdot N + W_k \cdot \text{ВДС}}{\text{ВДС} \cdot k \cdot N},$$

где  $k$ , руб./чел. – удельная стоимость потребительской корзины,  $N$  – численность населения,  $W_o$ , тыс. т у.т. – потребление ТЭР на создание ВДС,  $W_k$ , тыс. т у.т. – потребление ТЭР на жизнеобеспечение, учитывая, что  $W_o + W_k = W$  – общее потребление ТЭР, и  $W_k = \alpha W$ ,  $W_o + W_k = W$  получим:

$$\text{УПЭ} = \frac{(1-\alpha) \cdot W \cdot k \cdot N + \alpha W \cdot \text{ВДС}}{\text{ВДС} \cdot k \cdot N} = \frac{W}{\text{ВДС} \cdot k \cdot N} \cdot (k \cdot N + \alpha(\text{ВДС} - k \cdot N)),$$

где  $\alpha$  – доля энергоресурсов, потребляемая для жизнеобеспечения человека, от суммарного потребления ТЭР.

Таблица 4 - Сопоставление критериев эффективности объектов

Наименование	ВДС, млн. руб.	Энергоемкость ВДС, кг у.т./руб.	Численность населения, тыс. чел.	Потребление ТЭР на человека, кг у.т./чел.	$k$ , руб./чел.	Критерий УПЭ, кг у.т./руб.
Красноярский край	605119	0,063	2890	1480	9015,3	1,476
Кемеровская область	471124	0,053	2822,7	1549	7057,8	1,268
Томская область	198834	0,042	1046,7	1701	8641,3	0,930
г. Томск	76111	0,043	545,7	1338	8641,3	0,698
Томский район	5574	0,028	66,8	55,4	8641,3	0,267

Кожевниковский район	2334	0,008	22,3	272	8641,3	0,099
Асиновский район	1533	0,009	36,4	217	8641,3	0,049

Сопоставление универсального показателя энергетической эффективности, произведенное для некоторых территориальных образований Томской области, а также рассчитанное для Кемеровской области и Красноярского края, представлено в таблице 4.

Как показывают данные, представленные в табл. 4, универсальный показатель энергоэффективности может быть определен для любого объекта, потребляющего энергоресурсы, что позволяет сравнивать эти объекты, судить об эффективности программ энергосбережения и выстроить сквозную систему оценки энергоэффективности предприятия, муниципального образования, города, отрасли и страны в целом.

#### Список литературы:

1. Закон РФ «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности» №261-ФЗ от 23.11.2009г.
2. Сайт Международного энергетического агентства// <http://iea.org>.
3. Сайт Федеральной службы государственной статистики// <http://gks.ru>.
4. Сайт Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Томской области// <http://tmsk.gks.ru>.

#### Оценка объективно-обусловленного спроса на энергоресурсы с учетом потребительской корзины

*Климова Г.Н.*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет*

Энергосбережение – свидетельство диссонанса (дисгармонии) в составе, структуре, производительности системы энергообеспечения: производства, поставки и потребления ТЭР.

Выявление объемов и возможностей энергосбережения при разработке долгосрочных целевых программ повышения энергетической эффективности свидетельствует о некомпетентности создателей этой системы, сформировавших избыточные объемы энергопотребления.

В этом случае необходимо искать новые пути или технологии совершенствования систем энергообеспечения по энергоэффективности и уточнять нормативы гармонизации энергопотребления, а не создавать эфемерные программы энергосбережения.

Спрос на топливно-энергетические ресурсы формируется спонтанно от достигнутых объемов потребления, а итоговые нормативы (показатели энергетической эффективности) складываются из того, что получилось.

Объективных признаков для оценки того, сколько нужно топливно-энергетических ресурсов для обеспечения энергетических потребностей территории, на данный момент нет. Оценка идет по тому «сколько получилось». В связи с этим выдвинуто предположение, что оценку энергетических потребностей территории можно с достаточной степенью точности провести, ориентируясь на данные потребительской корзины. В том числе устанавливать нормативы энергопотребления, рассчитывать показатели энергетической эффективности предприятия и территории не на основе сложившихся связей, а по потребительской корзине.

Оценка энергетических потребностей на основе энергетической потребительской корзины способствует созданию объективных рубежей (границ) энергопотребления территории и ограничивает расточительство со стороны промышленно-производственного комплекса.

«Корзина» регулирует энергетическое меню в зависимости от объективных внешних условий.

Площадь территориального образования и территория действия предприятия различаются – возникает идея разработки топливно-энергетического баланса по производственным границам, а не по административным.

Создание модели межотраслевых связей по топливно-энергетическим ресурсам на основе потребительской корзины через:

- статистические взаимосвязи потребления ТЭР и объемов производства продукции видами экономической деятельности;
- взаимосвязи добычи, производства, ввоза, вывоза и конечного потребления ТЭР;
- погодные, климатические, метеорологические, географические и другие особенности регионов и их влияние на спрос ТЭР;
- модели межстатейных и межвидовых связей для оценки суммарного спроса ТЭР;
- статистические взаимосвязи потребления электроэнергии, тепла и топлива;
- взаимосвязи потребления ТЭР по видам экономической деятельности (жилищно-коммунальное хозяйство – население и т.д.);
- временные характеристики взаимосвязей потребления;
- исторические характеристики спроса ТЭР в регионе;
- взаимосвязи и модели региональных, муниципальных и квартальных объектов.

Оценка и доказательство универсальности полученной модели межотраслевых связей в других регионах и стране в целом и устойчивость результатов оценки коэффициентов взаимосвязей во временной ретроспективе.

### **Аналитический обзор показателей для прогнозной модели топливно-энергетического баланса СФО**

*Леонова В.К., Климова Г.Н.*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
[gariki@tpu.ru](mailto:gariki@tpu.ru)*

В данной работе авторами проведен анализ статистических и расчетных показателей, оказывающих существенное влияние на энергопотребление территории (на примере Сибирского федерального округа (СФО)).

В качестве значимых показателей рассматриваются: динамика и структура по видам экономической деятельности валового регионального продукта (ВРП), демографические тенденции, социально-экономическая структура и денежные доходы населения, отраслевая структура топливно-энергетического баланса (ТЭБ) и структура ТЭБ по видам топливно-энергетических ресурсов (ТЭР), удельные потребления ТЭР на душу населения, энерго- и электроемкости производства ВРП в сопоставимых и текущих ценах.

Энергосбережение и энергоэффективность являются наиболее актуальными вопросами в сегодняшней повестке дня во всем Мире. Должное внимание уделяется им и в России. Так принятие в 2008 году закона президента №889 «О некоторых мерах по повышению энергетической и экологической эффективности экономики страны», в 2009 году Федерального закона №261 «Об энергосбережении...» послужило стимулом для проведения массовых энергетических обследований потребителей и разработке долгосрочных целевых программ (ДЦП) повышения энергетической эффективности территории [1].

Основой для расчета фактических и прогнозных индикаторов ДЦП служит единый (сводный) топливно-энергетический баланс (ТЭБ) территории, составляемый по данным официальной статистической отчетности, либо получаемых путем прямых запросов на предприятия.

Планирование развития территории предполагает разработку различных программ: социально-экономических, повышения энергетической эффективности, комплексных программ развития, ДЦП и т.д. Для оценки перспективного развития топливно-экономического комплекса необходима взаимная увязка всех вышеперечисленных программ. Этим связующим звеном и является сводный ТЭБ территории.

Площадь СФО составляет 30% территории Российской Федерации, численность населения достигает 20,8 млн. человек (14,3%). Климат резко континентальный: средняя температура января от -15 до -35°С, июля от +15 до +22°С[2].

СФО располагает своей богатой топливно-энергетической и сырьевой базой, обеспечивая не только свои потребности в нефти и газе, угле и прочих ТЭР, но и является важным поставщиком энергетических ресурсов в другие регионы. Красноречивым примером природного и сырьевого богатства СФО служит заявление некоторых представителей запада о том, что Сибирь должна стать такой же «общей» территорией, как и Антарктида[3].

В официальной статистике топливно-энергетического баланса СФО нет, но есть статистика о факторах, влияющих на энергопотребление территории. Рассмотрим влияние динамики производства и структуры ВРП на потребление топливно-энергетических ресурсов [4].

В текущих ценах объем производства ВРП на территории СФО за анализируемый период увеличился в 6 раз. В сопоставимых ценах, приведенных к уровню цен базового 2000г., рост производства ВРП составил 1,3 раза. Это объясняется темпами инфляции и говорит о том, что фактически экономика региона развивается гораздо медленнее (рис. 1 а, б, в).

Отраслевая структура ВРП за этот же период изменилась незначительно: увеличилась доля видов экономической деятельности, занимающихся добычей полезных ископаемых, торговлей и различными транспортными перевозками, уменьшилась доля отраслей обрабатывающей промышленности. Такие перемены влекут за собой рост энергоемкости производства единицы валового регионального продукта

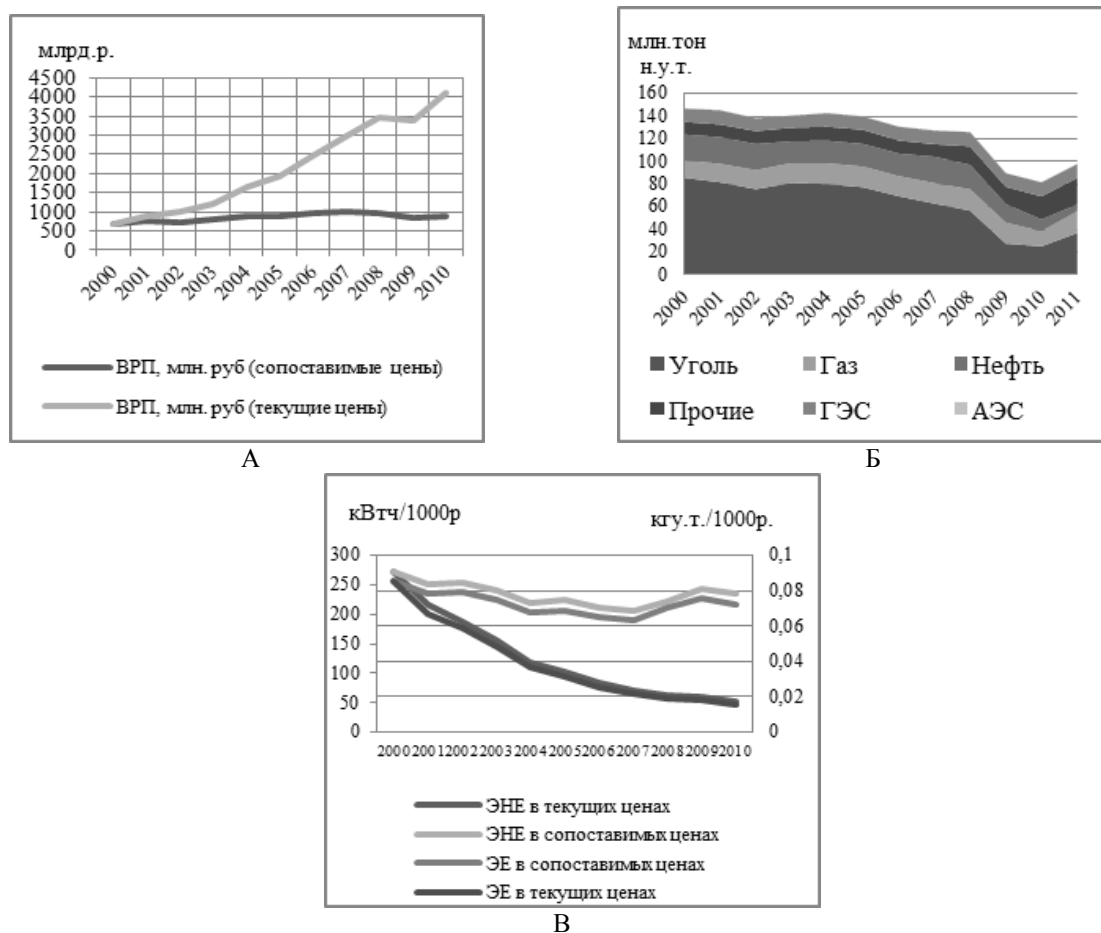


Рис 1. Динамики: А) – ВРП, млн.р в сопоставимых и текущих ценах, Б) - потребление ТЭР, млн.тонн.у.т., В) - электроемкость производства ВРП, кВтч/1000.р.,-энергоемкость производства ВРП, тонн.у.т./1000.р, в сопоставимых и текущих ценах.

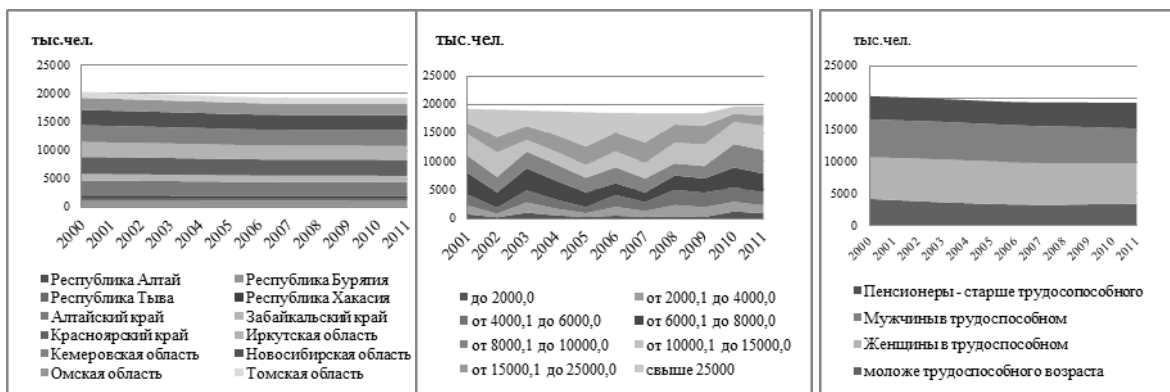
Топливо-энергетический комплекс (ТЭК) любой территории является основой его экономического развития и энергетической безопасности. ТЭБ отражает динамику развития ТЭК. В структуре потребления ТЭБ СФО преобладает доля угля, которая снижается к 2011г., топливом для выработки электрической и тепловой энергии служат также природный газ и нефтепродукты (рис.1 б).

Привычно считать, что с ростом ВРП электроемкость стремительно падает (что и наблюдается в текущих ценах), но по данным расчета в сопоставимых условиях мы видим реальный рост энерго- и электроемкости ВРП, что говорит о малом влиянии энергоэффективности и энергосбережения в регионе (рис.1 в). Объяснить этот факт можно географическим положением,

климатическими условиями, устаревшими технологиями, изношенным электротехническим оборудованием, менталитетом граждан.

Все виды экономической деятельности можно разделить на две группы: создающие средства производства и создающие товары народного потребления, т.е. конечным потребителем всегда будет являться население.

В связи с этим интерес представляют демографические тенденции, социально-экономическая структура и уровень доходов населения.



А)

Б)

В)

Рис. 2. Динамика населения: А) По численности, тыс.чел., Б) По уровню доходов, тыс.чел., В) По возрастным группам, тыс.чел.

Как видно из рис. 2а, численность населения в регионе за последние годы заметно снизилась. Незначительный прирост наблюдается в Красноярском крае, Кемеровской, Иркутской областях.

Рост потребления электрической энергии и топливно-энергетических ресурсов населением связан не только с демографическими тенденциями, но и с увеличением уровня доходов населения, с изменением социальной структуры (рис. 2б). От роста доходов сильно зависит обеспеченность населения бытовыми энергопотребляющими приборами (нагреватели, стиральные машины и т.д.).

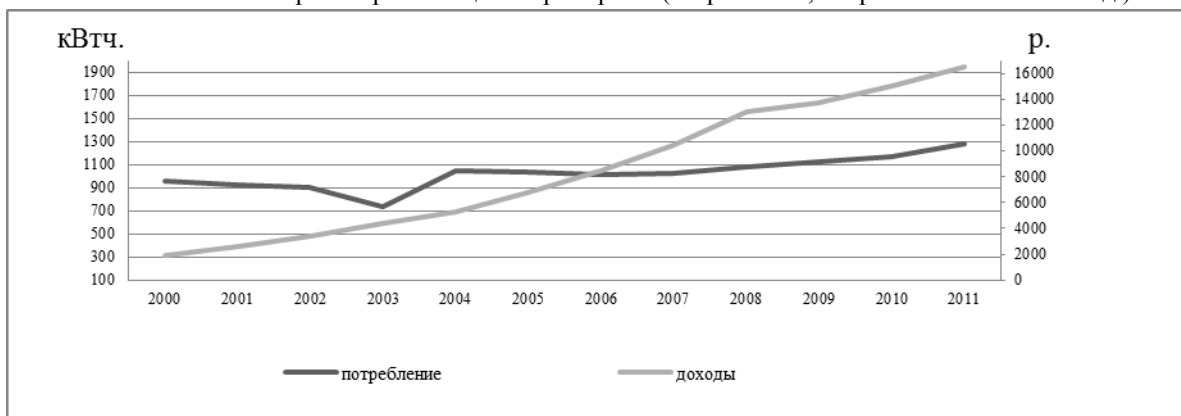


Рис. 3. Денежные доходы на душу населения (р.) и электропотребление на 1 чел. (кВтч.) по СФО с 2000-2011 гг.

На фоне роста доходов населения отмечается сокращение доли населения трудоспособного возраста (рис. 2в).

Представленная на рис. 3 зависимость свидетельствует о том, что рост доходов с 2000-2011 гг. несомненно, сыграл большую роль в формировании спроса на электроэнергию в быту, но не предполагает ее эффективного использования.

Интерес к энергосбережению со стороны населения может появиться только при значительном увеличении тарифов, но сдерживающим фактором здесь всегда будет минимальный размер оплаты труда.

Формирование программ энергосбережения в современных условиях основывается на полном (сводном) топливно-энергетическом балансе. Эта необходимость вытекает из принципа, высказанного еще академиком Л.А. Мелентьевым [5]: «объективная тенденция постоянного усиления технического и экономического единства энергетического хозяйства и его внутренних взаимодействий требует адекватного единого, уравновешенного и пропорционального управления эксплуатацией, ремонтным обслуживанием и развитием».

Топливо-энергетический баланс представляет собой сопоставление объемов производимых, потребляемых и теряемых энергоресурсов в том или ином технологическом объекте. Несмотря на сложности поиска, сбора, анализа и представления компонентов ТЭБ балансовый метод изучения энергетической эффективности остается единственным методом, обеспечивающим всю полноту охвата энергетического хозяйства и достаточную глубину анализа.

В данной работе дана оценка факторов, по мнению авторов, оказывающих наибольшее влияние на формирование объемов потребительской части топливно-энергетического баланса территории.

#### Список литературы:

1. Башмаков И.А. Практика формирования энергетического баланса в России. [http://www.cenef.ru/art\\_11212\\_119\\_node2.html](http://www.cenef.ru/art_11212_119_node2.html)
2. Дата обращения 06.12.2009г.
3. <http://aepszfo.ru/> Электронный ресурс: дата обращения 10.10.13г.
4. <http://www.sibfo.ru/> Электронный ресурс: дата обращения 25.05.13г.
5. <http://www.cdu.ru/> Электронный ресурс: дата обращения 07.09.13г.
6. Мелентьев Л.А. Оптимизация развития и управления больших систем энергетики. – 2-е изд. – М.: ВШ, 1982. – 319с.
7. <http://www.cisstat.com/> Электронный ресурс: дата обращения 25.09.13г.

#### О возможных мероприятиях энергосбережения в образовательных учреждениях

*Костоуова Е.В., Матвиевский А.М.*

*ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск  
kost-elen@yandex.ru*

Организации бюджетной сферы являются крупными потребителями энергетических ресурсов. Расходы бюджетов всех уровней на их содержание составляют значительную часть всех бюджетных расходов. Поэтому одной из приоритетных задач в области энергосбережения является проведение мероприятий, обеспечивающих снижение величины бюджетных средств, направляемых на данные цели.

Первым шагом в направлении энергосбережения является энергетическое обследование потребителя, которое позволяет провести анализ эффективности использования энергетических ресурсов и воды, определить потенциальные возможности их экономии и разработать перечень необходимых энергосберегающих мероприятий, направленных на совершенствование систем энерго- и ресурсопотребления.

Результаты энергетических обследований проводимых в большинстве учебных заведений показывают, что основными потребляемыми энергоресурсами являются тепловая и электрическая энергия, причем доля тепловой энергии в общем потреблении составляет порядка 55 – 70%, а электрической энергии доходит до 35%, в связи с этим задача экономии тепловой энергии является наиболее приоритетной.

В рамках исследовательской работы студентов проведено энергетическое обследование одного из зданий студенческих общежития Сибирского федерального университета, целью которого являлась разработка рекомендаций по энерго- и ресурсосбережению. Основные характеристики здания представлены в таблице 1.

Таблица 1. Основные характеристики здания

Характеристика	Значение (тип)
Наружный объем здания, м <sup>3</sup>	30217 (+0,4 м <sup>3</sup> объем подвального помещения)
Общая отапливаемая площадь, м <sup>2</sup>	6805
Этажность строения	9
Высота здания, м	28

Год постройки	1978
Основной материал стен	Кирпич строительный (250x120x65)
Тип системы отопления	Однотрубная с верхней разводкой
Вид отопительных приборов	Чугунный секционный радиатор М-140
Подземная этажность	Подвал
Остекление	Двойное (деревянный оконный переплет)

В работе проведено обследование ограждающих конструкций здания, выполнен их теплотехнический расчет, определены общие потери тепла по всем помещениям здания.

Результаты обследования и расчеты позволили разработать перечень возможных энергосберегающих мероприятий энергоресурсов, рекомендованных к внедрению для рассматриваемого объекта, и произвести возможную оценку их экономии. Перечень мероприятий представлен в таблице 2.

При реализации предлагаемых мероприятий, в первую очередь, необходимо обращать внимание на внедрение краткосрочных (со сроком окупаемости до 1 лет) и среднесрочных (со сроком окупаемости до 3÷5 лет) энергосберегающих проектов, которые обеспечивают достижение наибольшего эффекта при минимальных затратах с сохранением комфортности в помещениях, что чрезвычайно важно, на наш взгляд, для образовательных учреждений.

Таблица 2. Перечень мероприятий энергосбережения

Мероприятие	Возможная экономия, %
<b>Общие мероприятия</b>	
Дополнительная теплоизоляция наружных стен, перекрытий 9-го этажа и пола 1-го этажа, удовлетворяющая нормам тепловой защиты здания	5÷15 (от общих тепловых потерь)
<b>Система отопления</b>	
Оборудование здания приборами учета тепловой энергии	до 30 (от плановых нагрузок)
Автоматизация системы отопления путем установки индивидуального теплового пункта	20÷30 (от общего потребления тепловой энергии)
Установка термостатических регуляторов на приборы отопления	5÷7 (от общего потребления тепловой энергии)
Установка отражающих экранов за отопительными приборами	2÷3 (от общего энергопотребления)
Снижение потерь тепла с инфильтрацией воздуха путем уплотнения оконных и дверных проемов	10÷20 (от тепловых потерь через окна)
Установка на окна теплового экрана	40÷45 (от тепловых потерь через окна)
Замена окон и балконных дверей на окна и двери с повышенными теплозащитными характеристиками (тройное остекление), либо реконструкция существующих окон и балконных дверей с применением технологии утепления и ремонта	35÷40 (по сравнению с существующими окнами с двойным остеклением) до 30
Замена существующих входных дверей (наружных) на двери с теплоотражающей конструкцией	1÷3
Восстановление теплоизоляции трубопроводов систем отопления и ГВС в здании	7÷9 (от общего потребления тепла)
Замена отопительных приборов	5÷10 (от общего потребления тепла)
<b>Система горячего водоснабжения</b>	
Снижение потребления за счет оптимизации расходов и регулирования температуры	10÷20 (от общего потребления горячей воды)
Замена поворотных смесителей на рычажные и клавишные	5÷7
<b>Система водоснабжения</b>	
Ревизия фурнитуры сливных бачков, установка двухрычажных смывных бачков	30÷40



С целью возможной замены отопительных приборов более эффективными, надежными и эргономичными выполнен обзор имеющихся на отечественном рынке современных приборов, пригодных для использования в системе отопления рассматриваемого жилого здания. В качестве отопительных приборов рассматривались следующие типы:

- Чугунный секционный радиатор, модель «МС-140»;
- Алюминиевый секционный радиатор, модель «Calidor Super»;
- Биметаллический секционный радиатор, модель «РБС-500».

Проведен тепловой расчет отопительных приборов, в результате которого определены необходимые площади внешней нагревательной поверхности, и минимально допустимое число секций отопительного прибора для каждого помещения общежития. Для здания общежития в целом, определены суммарные необходимые площади наружной поверхности рассматриваемых типов отопительных приборов. Составлены сметы затрат (по трем вариантам) для замены существующих нагревательных приборов с учетом реализации проекта в 2014 году.

Для проведения сравнительного анализа отопительных приборов выделены наиболее значимые критерии (теплотехнические, эксплуатационные, экономические и др).

По результатам проведенных расчетов и сравнительного анализа в рассматриваемом здании к установке рекомендованы биметаллические радиаторы модели «РБС-500».

В случае реализации рассматриваемых мероприятий возможно существенно сократить общее потребление тепловой энергии образовательным учреждением, и необходимость развития работ в этом направлении не подвергается сомнению.

#### **К вопросу о правовых аспектах применения повышающих коэффициентов к тарифам за потребление реактивной мощности**

**Кузнецов А.В., Аргентова И.В.\***

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования (ФГБОУ ВПО)*

*Ульяновский государственный технический университет, Россия, Ульяновск.*

*\*ОАО «Ульяновскэнерго», Россия, Ульяновск.*

[argentum926@yandex.ru](mailto:argentum926@yandex.ru)

Величина снижения потерь электрической энергии, как известно, зависит от многих факторов. Одним из них является компенсация реактивной мощности (КРМ). Привлечение потребителей к участию в КРМ с помощью повышающих коэффициентов к тарифу в настоящее время сталкивается с правовыми барьерами [1]. Несмотря на высокий уровень технического совершенства компенсирующих устройств (КУ), и на утвержденный нормативно-правовыми актами механизм воздействия на потребителя, интереса к данной проблеме нет ни со стороны сетевых организаций (ЭСО), ни со стороны потребителя. Потребитель рассматривает данную ситуацию как снижение издержек на передачу электрической энергии (потерь) в сетях ЭСО, а не снижение своих затрат. В свою очередь ЭСО не спешит использовать предоставленный ей механизм воздействия и стимулировать потребителя на повышение эффективности КРМ, т.к. старается все возможные убытки включить в тариф на передачу. Потери электрической энергии в электроэнергетической системе не снижаются.

В статье [1] говорится, что появление приказа ФСТ №219-э/6 от 31.08.2010г. «Об утверждении методических указаний по расчету повышающих (понижающих) коэффициентов к тарифам на услуги по передаче электроэнергии в зависимости от соотношения потребления активной и реактивной мощности для энергопринимающих устройств (групп энергопринимающих устройств) потребителей электрической энергии, применяемых для определения обязательств сторон по договорам об оказании услуг по передаче электрической энергии по единой национальной (общероссийской) электрической сети (договорам энергоснабжения)» дает возможность применять на практике повышающие коэффициенты или стимулирующие надбавки к тарифу и вынуждать потребителей, участвовать в режиме регулирования реактивной мощности путем установки и эксплуатации КУ. Однако этот тариф является регулируемым. Он включает в себя затраты на содержание электрических сетей ЭСО, а также стоимость электроэнергии потерянной в электрической сети при ее передаче в соответствии с нормативом технологических потерь электроэнергии (НТПЭ) рассчитанным по [2].

В соответствии с [2] рассчитываются все потери и связанные с передачей реактивной мощности тоже. То есть в тариф на передачу включается составляющая обусловленная передачей потребителям реактивной мощности. Таким образом, в объем оплачиваемых потребителем потерь электрической энергии входит и объем, который согласно приказу должен оплачиваться при применении повышающего коэффициента к тарифу на передачу. При установлении регулируемых цен (тарифов) не допускается повторный учет одних и тех же расходов по указанным видам деятельности [3]. Для устранения правового несоответствия, необходимо, чтобы доходы от использования установленного тарифа на передачу не включали в себя оплату потерь, связанных с передачей сверхпредельных значений реактивной мощности. Эти доходы должны быть получены ЭСО от использования повышающего коэффициента.

В действующей методике расчёта НТПЭ для расчета потерь, при формировании регулируемого тарифа на передачу, наряду с другими параметрами используются фактические значения передаваемой реактивной мощности. Это значит что, в случаях, когда фактические значения реактивной мощности превышают установленные предельные значения, потери, рассчитанные по методике расчёта НТПЭ включают в себя потери связанные с передачей сверхпредельных значений реактивной мощности. Для того, чтобы в утверждаемый тариф эти потери не были включены, необходимо использовать при расчетах не фактические значения реактивной мощности, а установленные предельные значения реактивной мощности. Тогда оплата потерь связанных с передачей реактивной мощности до предельных значений будет включена в тариф, а оплата потерь, связанных с передачей сверхпредельных значений будет производиться за счет повышающего коэффициента. Правовое несоответствие будет устранено.

Предложения по изменению методики расчета НТПЭ применительно к расчёту регулируемого тарифа опубликованы в [1]. Суть изменений методики расчёта НТПЭ сводится к корректировке формул для расчета нагрузочных потерь. Предлагается использовать коэффициент приведения потерь для ветвей схемы сети, в которых фактический  $tg\varphi$  больше предельного. Авторы показывают, что потери в ветви снизятся при этом в  $=K_1$  раз. Указанное соотношение является коэффициентом приведения потерь при фактическом значении реактивной мощности к её значению.

Однако авторы не учли, что изменение потерь в сложной сети происходит не только в ветвях, где, изменение происходит и в других ветвях схемы. Эти ветви не являются ответвлениями к потребителю, а являются элементами магистральной или радиальной схемы питания. В такой схеме часть потребителей имеют.

Предложенные в [1] выражения для расчета потерь применимы только для частного случая, когда у всех потребителей. В общем случае это не так. Таким образом, для того чтобы выражение расчета потерь было бы приемлемо для общего случая необходимо выделить:

Ветви, представляющие собой ответвления к потребителю, в которых, их число в сети равно  $n_1$ .

Ветви, представляющие собой ответвления к потребителю, в которых, их число в сети равно  $n_2$ .

Ветви магистральной и (или) радиальной схемы питания нескольких нагрузок, не являющиеся ответвлениями к потребителям, в этих ветвях может быть их число в сети равно  $n_3$ .

Общее количество или суммарное число ветвей в сети  $n$  ( $n = n_1 + n_2 + n_3$ ). При этом сумма ( $n_1 + n_2$ ) представляет собой число потребителей.

При использовании соответствующих коэффициентов потери электроэнергии не будут включать в себя потери связанные с передачей сверхпредельных значений реактивной мощности. Стоимость этих потерь не будет включена в регулируемый тариф. Тогда с правовой точки зрения не будет противозаконным взимать плату за услугу по передаче сверхпредельных значений реактивной мощности с потребителей в форме повышающего коэффициента.

Применение существующих методических указаний по расчету повышающих (понижающих) коэффициентов к тарифам на услуги по передаче электроэнергии в зависимости от соотношения потребления активной и реактивной мощности ограничивается правовыми барьерами из-за несовершенства действующей методики расчёта нормативных технологических потерь. Предложенные изменения методики расчёта нормативных технологических потерь сетевой организации с использованием коэффициентов приведения потерь  $K_1, K_2$  исключают противоречия с действующим законодательством. Следовательно, использование повышающих коэффициентов к тарифу на передачу на практике будет оказывать стимулирующее воздействие на потребителей в части участия в регулировании режима реактивной мощности.

## Список литературы:

1. Кузнецов А.В. Аргентова И.В. Правовые аспекты применения повышающих коэффициентов к тарифам за потребление реактивной энергии.// Промышленная энергетика – 2013. – №3 – С.17 – 20.
2. Инструкция по организации в Министерстве энергетики РФ работы по расчёту и обоснованию нормативов технологических потерь электроэнергии при её передаче по электрическим сетям. Приказ № 326 Минэнерго РФ от 30.12.2008г. (<http://consultant.ru>).
3. О ценообразовании в области регулируемых цен (тарифов) в электроэнергетике (вместе с «Основами ценообразования в области регулируемых цен (тарифов) в электроэнергетике», «Правилами государственного регулирования (пересмотра, применения цен (тарифов) в электроэнергетике). [Постановление Правительства РФ](#) от 29 декабря 2011 г. № 1178. (<http://consultant.ru>).

## Определение параметров энергопотребления и качества электроэнергии предприятия

*Ле Ван Туан**Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск  
visaosang89@gmail.com*

Чтобы определить, сколько энергии использовал каждый потребитель, ее требуется учесть, для чего используются соответствующие приборы учета - счетчики электрической энергии. Внедрение новейших технологий учета энергоресурсов, в том числе автоматизированных, позволяет повысить точность и объективность учета электро-энергии, а также произвести оценку качества электрической энергии и коэффициента мощности предприятия.



Рис. 1. Прибор EDL175XR.

Задачей исследования являлось определение реальных параметров энергопотребления электрических вводов карамельного цеха кондитерской фабрики «Красная звезда», а также оценка качества поставляемой электроэнергии и  $\cos \varphi$  цеха. Обследование нагрузок выполнено в период с 1.03.11 (12 час. 16 мин.) по 2.03.11 (15 час. 22 мин.) Для измерения параметров режима использован анализатор количества и качества электрической энергии типа EDL 175XR производства фирмы «SATEC». Приборы этой серии соответствуют требованиям российских и международных стандартов. Данный прибор включен в Государственный реестр средств измерения РФ и имеет соответствующий сертификат. Учет потребленной цехом электроэнергии осуществляется счетчиком электрической энергии типа СЕ 303. Подключение прибора осуществлялось по схеме, приведенной на рис. 2.

Прибор EDL175XR израильской фирмы SATEC является переносным, многофункциональным, трёхфазным измерителем и анализатором качества энергии переменного тока [1,2]. Этот прибор предназначен для прямого измерения напряжений до 660 В и токов до 3000А. Данный прибор позволяет осуществлять трехфазные измерения напряжения, тока, частоты, мощности и  $\cos \varphi$ , осуществляет интегрирование мощности и энергии, а также оценивает несинусоидальность (в том числе по отдельным гармоникам до 40-й), т.е. может использоваться как анализатор качества и как трехфазный счетчик активной, реактивной и полной энергии. [4]

Все настройки прибора производятся непосредственно через панель дисплея либо через порты связи с помощью программы PAS. Эта программа устанавливается на компьютере пользователя и обеспечивает множество полезных функций: дистанционное управление прибором, накопление и обработку получаемых данных и др.

Для определения реальных параметров энергопотребления электрических вводов цеха были сняты следующие параметры энергопитания, которые фиксировались с частотой выборки 1 раз в минуту: линейные и фазные напряжения; токи по фазам; ток в нулевом проводе;  $\cos \varphi$  по фазам; активная и реактивная мощности, потребляемые по фазам; полная активная и реактивная мощность; частота сети.

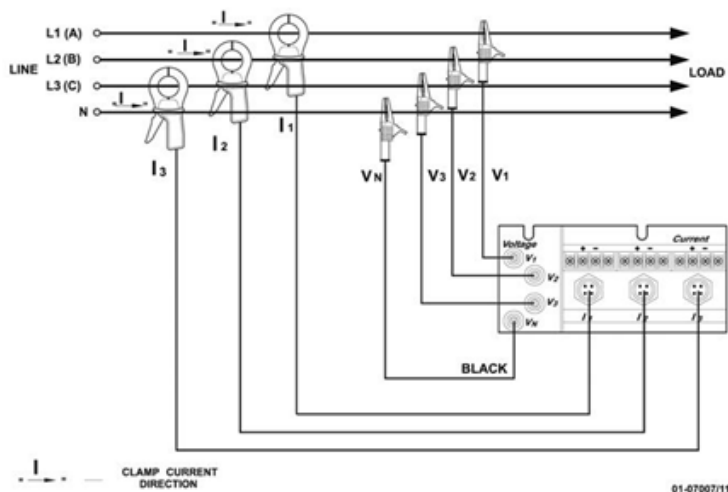


Рис. 2. Четырех-проводное соединение звездой.

Для проверки правильности работы счетчика электрической энергии параллельно с ними подключался контрольный прибор. Затем проводилось сравнение показаний счетчика электрической энергии и контрольного прибора. С помощью программы PAS были определены минимальные, максимальные и средние действующие значения измеренных величин. Можно отметить, что резких изменений нагрузки, т.е. частых включений и отключений нагрузок с большой мощностью в карамельном цехе нет. Активная мощность изменяется в пределах 44-50 кВт, реактивная – от 60 до 68 кВар. Такие соотношения активной и реактивной мощности дали основания, для вывода о том, что коэффициент мощности данного цеха очень низок и явно не соответствует стандарту.

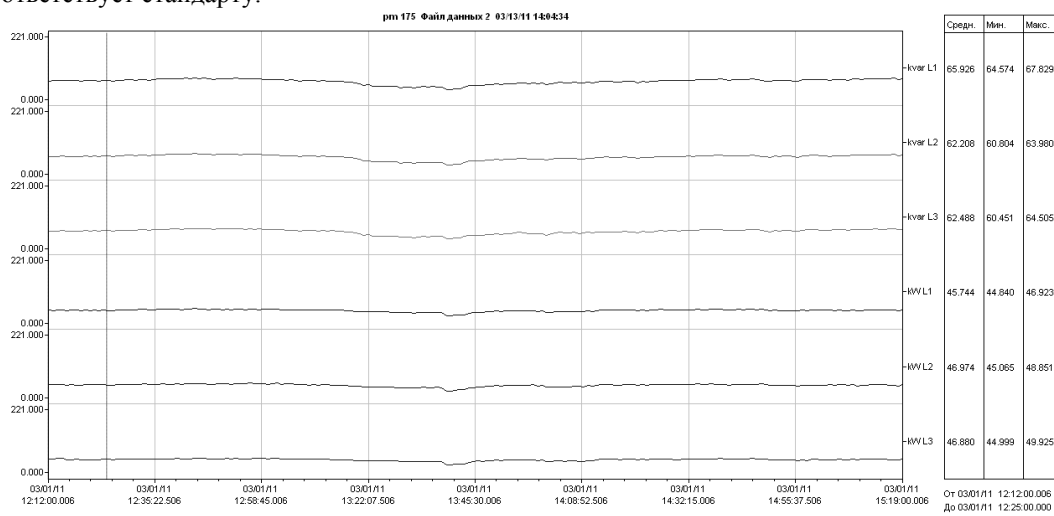


Рис. 3. Графики реактивной и активной мощности по фазам (время томское).

Для анализа качества электрической энергии в программе PAS были рассчитаны значения отклонения напряжения в режиме наибольших и наименьших нагрузок, а также установившиеся отклонение за сутки. Также рассчитан коэффициент искажения синусоидальности напряжения (THD); коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности; коэффициент n-ой гармонической составляющей напряжения; размах изменения напряжения; длительность провала напряжения. Все рассчитанные величины (в процентах) соответствуют требованиям ГОСТ 13109-97 [3]. Так, например, нормально допустимое значение THD для напряжений до 380 В – 8%, максимальный THD по прибору – 2,4 %, т.е. качество поставляемого напряжения удовлетворительное.

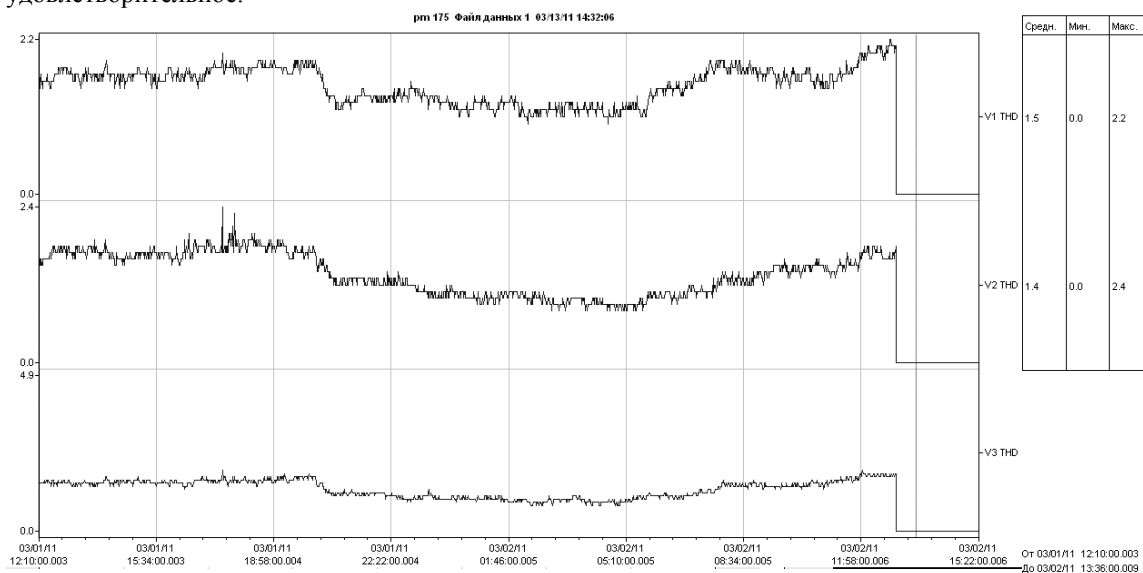


Рис. 4. Графики THD для фазных напряжений.

Проведенные измерения показали правильность работы приборов коммерческого учета электроэнергии. По снятым данным можно сделать вывод, что реактивная нагрузка на вводе карамельного цеха имеет индуктивный характер и величина  $\cos \varphi$  ввода = 0,5-0,8. Мощность потребления электрической энергии  $P_{ср} = 46$  кВт. Величина не скомпенсированной реактивной мощности ввода примерно 60 кВар. Качество электрической энергии удовлетворяет требованиям ГОСТ. Для повышения коэффициента мощности можно рекомендовать установку в электрощитовой на вводе карамельного цеха конденсаторной батареи до 60 кВар, а также установку автоматических регуляторов степени компенсации реактивной мощности с целью снижения потерь активной энергии и разгрузки оборудования от реактивных токов.

#### Список литературы:

1. <http://www.hte.com.ua/news/24.html>
2. <http://www.energometrika.ru/catalog/511/>
3. ГОСТ 13109-97 “Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения”.
4. Гаврилин А.Н., Косяков С.А. и др. Введение в энергосбережение. Томск: Издательский дом «Курсив», 2001г. 217 с.

УДК 620.9-049.5:332.1

#### Оценка состояния производственного комплекса региона с использованием дискриминантного анализа

*Мыльниченко С.М.*

*Черкасский государственный технологический университет, Украина, г. Черкассы*  
[mylsergej@yandex.ru](mailto:mylsergej@yandex.ru)

**Вступление.** Развитие энергетики оказывает решающее влияние на состояние экономики в государстве и уровень жизни населения. Главной целью обеспечения энергетической

безопасности является достижение состояния защищенности граждан, общества и государства от обусловленных внутренними и внешними факторами угроз дефицита в обеспечении их обоснованных потребностей в энергии экономически доступными топливно-энергетическими ресурсами приемлемого качества в нормальных условиях и при чрезвычайных обстоятельствах [1].

**Анализ последних источников исследований и публикаций.** Энергетическая безопасность – это понятие, которое можно рассматривать на разных уровнях: глобальном, межгосударственном, национальном, региональном, местном.

Современный уровень теоретической разработанности проблем и сущности энергетической безопасности обнаруживает определенные пробелы и фрагментарность описания отдельных ее аспектов, в частности, такой важной сферы как построение системы управления энергетической безопасностью для региональных образований с учетом их особенностей и специфики объектов управления.

На основе многолетних исследований [2, 3] систематизированы основные возможные угрозы энергетической безопасности. Вся совокупность угроз энергетической безопасности представлена в виде пяти групп: экономические, социально-политические, техногенные, природные, управленческо-правовые.

Мониторинг энергетической безопасности региона целесообразно осуществлять на основе процедуры постоянного отслеживания значений индикаторов-показателей. Вместе с тем мониторинг показателей-индикаторов не единственный инструмент оценки состояния энергетической безопасности. Не менее важно их качественное описание, тем более что не все угрозы могут быть достаточно полно раскрыты количественно [4].

В качестве индикаторов могут выступать как первичные показатели состояния или функционирования объекта, так и синтетические, созданные (рассчитанные) на основе нескольких первичных показателей. Система индикаторов для анализа может быть различной в зависимости от цели исследования и выбранного объекта исследования, однако принципы исследования не меняются.

**Целью** статьи является повышение адекватности оценки состояния производственного комплекса региона для обеспечения его энергетической безопасности.

**Основные материалы исследования.** Дискриминантный анализ как метод многомерной классификации выполняет разделение объектов на группы при наличии первоначальных представлений о характере группы. Эти первоначальные представления формализуются как выборка из общей совокупности объектов, причем каждая выборка относится к одному строго определенному классу (группе) объектов. Выборки считаются многомерными: каждый объект характеризуется комплексом  $m$  показателей  $X_i$ ; [5]. Задача дискриминантного анализа сводится к тому, чтобы определить правило, по которому все другие объекты множества будут отнесены к одному из классов. Выходные выборки, определяющие их принадлежность к тому или иному классу, называются обучающими выборками. Отнесение объектов к какому-либо из классов проводится на основе дискриминантной функции.

Таблица 1. Индикаторы для анализа энергетической безопасности региона

Блок надежности (технологический блок)	X1	Степень износа основных средств
	X2	Часть доминирующего вида топлива в суммарном количестве ПТЭР*
Блок использования (блок потребления)	X3	Использование ПТЭР* на душу населения
	X4	Использование тепловой энергии на душу населения
	X5	Использование электрической энергии на душу населения
Блок производства	X6	Отпуск тепловой энергии генерирующими источниками на душу населения
	X7	Отпуск электроэнергии, производимой на базе использования топлива, на душу населения
Экологический блок	X8	Выбросы загрязняющих веществ на душу населения
	X9	Удельные выбросы загрязняющих веществ
	X10	Плотность выбросов загрязняющих веществ
	X11	Удельные капитальные инвестиции и текущие расходы на охрану окружающей среды

ПТЭР\* – первичные топливно-энергетические ресурсы

Для каждого объекта совокупности определяется то значение дискриминантной функции, которое является критерием для отнесения района в тот или иной класс. В качестве дискриминантной чаще всего берется линейная функция

$$Z = C_1X_1 + C_2X_2 + \dots + C_mX_m,$$

где  $X_1, X_2, \dots, X_m$  – значения признаков у данного объекта;  $C_1, C_2, \dots, C_m$  – дискриминант множители.

С помощью дискриминантных множителей выполняем переход от  $m$  - мерного пространства исходных показателей к одномерному пространству.

В таблице 1 приведен состав важнейших индикаторов энергетической безопасности исследуемого региона, определенные экспертным путем [6].

По методике, изложенной в [7] с помощью кластерного анализа 20 районов и 6 городов областного значения Черкасской области за статистическими данными 2010 года были разбиты на 4 кластера. Состав кластеров приведен в табл. 2.

**Таблица 2.** Состав кластеров Черкасской области

Номер кластера	Количество объектов	Состав кластера
1	3	г. Черкассы, Христиновский р-н, Каневский р-н
2	4	г. Ватутино, г. Умань, г. Золотоноша, г. Канев
3	11	г. Смела, Звенигородский р-н, Городищенский р-н, Уманский р-н, Драбовский р-н, Монастырищенский р-н, Шполянский р-н, Корсунь-Шевченковский р-н, Жашковский р-н, Каменский р-н, Тальновский р-н
4	8	Золотоношский р-н, Катеринопольский р-н, Маньковский р-н, Черкасский р-н, Чигиринский р-н, Лысянский р-н, Чернобаевский р-н, Смелянский р-н

Все расчеты дискриминантного анализа выполнены с помощью пакета STATISTICA 6.1 StarSoft. Для кластеров, приведенных в таблице 2, за статистическими данными 2010 года получено показатель Wilks' Lambda (значение лямбды Уилкса) 0,0008882 и значение F – критерия 10,77158, по которым можно сделать вывод, что данная классификация корректна.

Построенный график рассеяния канонических значений для канонических корней помог определить влияние, которое вносит каждая дискриминационная функция в распределение между группами (рис. 1).

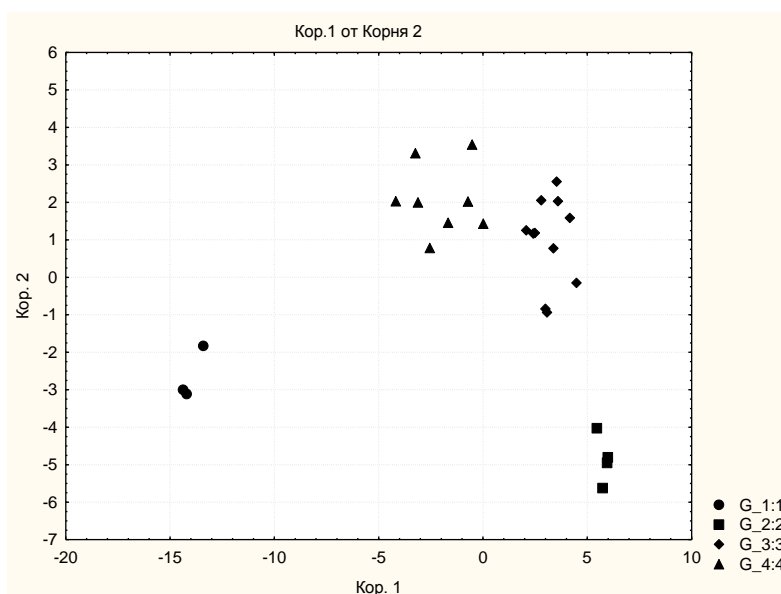


Рис. 1. График рассеяния канонических значений для канонических корней

Расстояние Махаланобиса является мерой расстояния, которую используют в многомерном пространстве (табл. 3). Расстояние Махаланобиса определяется как расстояние от

наблюдаемой точки до центра тяжести в многомерном пространстве, определяемом коррелированными (неортогональными) независимыми переменными. Эта мера позволяет, в частности, определить является ли данное наблюдение выбросом по отношению к остальным значениям независимых переменных.

Таблица 3. Квадраты расстояния Махаланобиса дискриминантного анализа

Районы и города областного значения	Наблюдения	G_1:1	G_2:2	G_3:3	G_4:4
г. Черкассы	G_1:1	14,5498	423,0725	332,9546	199,5357
г. Ватутино	G_2:2	389,4709	8,6408	40,1496	101,8007
г. Золотоноша	G_2:2	424,0076	15,0459	64,8191	127,7084
г. Канев	G_2:2	425,1309	13,4691	63,7902	124,2114
г. Смела	G_3:3	306,3982	43,2946	17,7229	55,6280
г. Умань	G_2:2	409,5154	6,0072	62,5948	124,5916
Городищенский р-н	G_3:3	350,1565	48,7201	4,6238	44,5191
Драбовский р-н	G_3:3	316,3335	50,3047	2,6565	47,0729
Жашковский р-н	G_3:3	279,1614	63,9715	7,0369	33,2041
Звенигородский р-н	G_3:3	350,0732	33,4127	5,0290	59,7351
Золотоношский р-н	G_4:4	164,0739	158,0891	60,5533	13,6956
Каменский р-н	G_3:3	299,1494	38,8325	7,9580	54,9109
Каневский р-н	G_1:1	14,4524	427,8898	338,2741	199,5669
Катеринопольский р-н	G_4:4	235,0869	119,8814	36,5898	14,2222
Корсунь-Шевченковский р-н	G_3:3	286,4701	60,4726	3,1870	36,8151
Лысянский р-н	G_4:4	149,4828	128,9305	51,2526	4,1224
Маньковский р-н	G_4:4	225,1375	77,5589	23,8576	8,9261
Монастырищенский р-н	G_3:3	334,9044	59,8565	5,0217	41,3885
Смелянский р-н	G_4:4	132,4709	150,1301	71,0598	7,3279
Тальновский р-н	G_3:3	309,9654	75,0256	6,7028	45,6179
Уманский р-н	G_3:3	342,3204	64,3832	11,8215	35,7686
Христиновский р-н	G_1:1	14,1524	395,9137	296,2363	166,6891
Черкасский р-н	G_4:4	164,5240	110,7186	56,1855	10,2671
Чигиринский р-н	G_4:4	193,9249	103,5342	51,0342	6,1815
Чернобаевский р-н	G_4:4	209,2617	101,7192	27,9605	15,5208
Шполянский р-н	G_3:3	289,6245	54,6699	3,6590	30,8245

На основе полученных выборок можно проводить классификацию тех районов, которые попали в выборки, и любых других районов и городов областного значения, которые необходимо группировать:

Кластер  $1=2,765 \cdot X_1 - 0,984 \cdot X_2 + 79,381 \cdot X_3 + 19,623 \cdot X_4 - 5,638 \cdot X_5 + 5,058 \cdot X_6 - 167,108 \cdot X_7 - 351,674 \cdot X_8 + 2045,861 \cdot X_9 + 246,199 \cdot X_{10} - 51,966 \cdot X_{11} - 353,2$

Кластер  $2=0,669 \cdot X_1 + 0,725 \cdot X_2 + 35,212 \cdot X_3 + 2,979 \cdot X_4 - 19,912 \cdot X_5 + 10,765 \cdot X_6 - 142,158 \cdot X_7 - 246,943 \cdot X_8 + 738,591 \cdot X_9 + 189,068 \cdot X_{10} - 10,766 \cdot X_{11} - 100,882$

Кластер  $3=0,936 \cdot X_1 + 0,573 \cdot X_2 + 32,373 \cdot X_3 - 3,87 \cdot X_4 + 5,817 \cdot X_5 + 8,457 \cdot X_6 - 45,564 \cdot X_7 - 257,012 \cdot X_8 + 774,804 \cdot X_9 - 84,239 \cdot X_{10} - 18,872 \cdot X_{11} - 79,857$

Кластер  $4=1,056 \cdot X_1 + 0,123 \cdot X_2 + 40,663 \cdot X_3 + 0,408 \cdot X_4 + 11,4111 \cdot X_5 + 6,768 \cdot X_6 - 34,153 \cdot X_7 - 329,492 \cdot X_8 + 1229,725 \cdot X_9 - 90,063 \cdot X_{10} - 22,142 \cdot X_{11} - 109,878$

Новый район или город областного значения относится к тому кластеру, для которого классификационное значение максимальное.

**Вывод.** Для классификации состояний производственного комплекса региона рассмотрен и может быть рекомендован дискриминантный анализ, который позволяет построить систему классификации на основе данных обучающей выборки. Большое количество процедур и проверок, используемых в методе, позволяет априори делать заключения о качестве полученной системы классификаций. Суть метода заключается в максимизации разницы между классами при одновременной минимизации внутригрупповых различий на основе данных обучающей выборки.



Такой подход позволил провести классификацию районов и городов Черкасской области на кластеры по уровню энергетической безопасности производственного комплекса.

#### Список литературы:

1. Литвак В.В., Силич В.А., Силич М.П., Яворский М.И. Концепция энергетической безопасности субъектов Федерации // Энергосбережение по-томски. Сборник статей, докладов и выступлений. – Томск: Изд-во ТГУ, 2001. – С. 93–111.
2. Энергетическая безопасность России / Бушуев В. В., Воропай Н. И. и др. – Новосибирск: Наука, Сиб. издат. фирма РАН, 1998. – 302с.
3. Воропай Н.И., Сендеров С.М. Энергетическая безопасность: сущность, основные проблемы, методы и результаты исследований. Открытый семинар «Экономические проблемы энергетического комплекса» – М., 2011. – 91 с.
4. Экономическая безопасность России: Общий курс: Учеб. / Под ред. В. К. Сенчагова. – М.: Дело, 2005. – 896 с.
5. Глинский В.В., Ионин В.Г. Статистический анализ: Учебное пособие. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: ИНФАР-М; Новосибирск: Сибирское соглашение, 2002. – 241 с.
6. Розен В.П., Мильніченко С.М., Ткаченко В.Ф. Методика індикативного аналізу стану енергетичної безпеки регіону // Вісник ЧДТУ. – ЧДТУ, 2013. – № 1. – 50-54с.
7. Розен В. П., Мильніченко С.М. Кластерний аналіз використання паливно-енергетичних ресурсів на прикладі Черкаської області // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»: Збірник наукових праць. – 2010. – Вип. 19. – С. 128 – 137.

#### Практическое применение базы энергосберегающих мероприятий

*Бухмиров В.В., Костерин А.Ю., Найденко В.В., Пророкова М.В.*

*ФГБОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,*

*Россия, г. Иваново*

[naydenko.vera@yandex.ru](mailto:naydenko.vera@yandex.ru)

Решение вопроса рационального использования энергетических ресурсов в промышленности, сельском хозяйстве и ЖКХ занимает важное место в экономике Российской Федерации. Документом, регулирующим отношения в сфере энергосбережения и повышения энергетической эффективности, является Федеральный закон № 261-ФЗ «Об энергосбережении...» от 23 ноября 2009 г. [1], цель которого - создание правовых, экономических и организационных основ стимулирования энергосбережения и повышения экономической эффективности. Согласно требованиям Федерального закона [1] организациям, перечисленным в статье 11, необходимо провести энергетическое обследование.

Заключительным и наиболее важным этапом энергоаудита является разработка комплекса энергосберегающих мероприятий (технологий) для обследуемого объекта. Внедрение энергосберегающих мероприятий позволяет уменьшить потребление топливно-энергетических ресурсов (далее ТЭР) организацией и соответственно финансовые затраты на их потребление.

В настоящее время разработано значительное количество энергосберегающих мероприятий при производстве, передаче и потреблении ТЭР. Для систематизации рекомендаций по повышению энергетической эффективности в Ивановском государственном энергетическом университете создана электронная база энергосберегающих мероприятий (далее БЭСМ). [2]. Электронная база разработана на платформе «Microsoft Excel» и в настоящее время включает в себя более 300 методов и способов повышения эффективности использования топливно-энергетических ресурсов на объектах различного назначения.

Таблица 1. Классификация мероприятий по видам ресурсов для экономии

Вид ресурса			Экономия топлива
Экономия тепловой энергии	Экономия электрической энергии	Экономия воды	
При производстве	При производстве	При водозаборе	При производстве электрической энергии
При транспортировке	При транспортировке	При транспортировке	При производстве тепловой энергии
При потреблении	При потреблении	При потреблении	

Для удобства выбора мероприятия в БЭСМ предложена классификация по виду ресурса, экономии которого необходимо произвести и по этапам «жизни» энергии (производство,

транспортировка, потребление) [3]. Классификация энергосберегающих мероприятий представлена в таблице 1.

Для увеличения функциональности БЭСМ предложена градация энергосберегающих мероприятий по величине вложения денежных средств на внедрение мероприятия и по срокам его окупаемости. В связи с этим выделено три группы мероприятий в области повышения энергоэффективности [4]:

- организационные и малозатратные со сроком окупаемости до 1-2 лет;
- средnezатратные со сроком окупаемости от 2-х до 5 лет;
- крупнозатратные (долгосрочные) со сроком окупаемости более 5 лет.

Для увеличения эффективности проведения энергоаудита предлагается использовать БЭСМ для реализации комплексного подхода к выбору энергосберегающих решений, который возможен, потому что база содержит кроме перечня мероприятий их описание и возможность выполнения оценочного расчета показателей экономической эффективности. Перейдя на персональную страницу мероприятия можно рассчитать два основных показателя энергоэффективности:

- простой срок окупаемости:

$$T = \frac{K}{\Pi} \text{ (лет)},$$

где  $K$  – капитальные затраты на реализацию мероприятия, руб.;  $\Pi$  – среднегодовая величина поступления денежных средств, полученных от реализации проекта, руб./год;

- чистый дисконтированный доход (ЧДД), показывающий абсолютную величину прибыли, приведенную к началу реализации проекта:

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=1}^{T_{ж}} \left( \frac{\Pi_t}{(1+R)^t} \right) - K \text{ (руб.)},$$

где  $R$  – норма дисконта;  $T_{ж}$  – время жизни проекта, лет.

Условиями экономической целесообразности предлагаемого к внедрению мероприятия являются положительная величина чистого дисконтированного дохода ( $\text{ЧДД} > 0$ ) и срок окупаемости, не превышающий предварительно заданной величины (например, в энергетике рекомендуется максимальный срок окупаемости 7 лет [5]).

Таким образом, БЭСМ позволяет быстро и качественно выбрать необходимые энергосберегающие мероприятия при производстве, передаче и потреблении тепловой и электрической энергии и воды для объектов различного назначения, а также оценить их эффективность. База энергосберегающих мероприятий находится в развитии и регулярно дополняется новыми энергосберегающими технологиями и энергоэффективными решениями.

#### Список литературы:

1. Федеральный закон № 261-ФЗ от 23.11.2009 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».
2. РАДИОЭЛЕКТРОНИКА, ЭЛЕКТРОНИКА и ЭНЕРГЕТИКА: Девятнадцатая Междунар. науч. – техн. конф. студентов и аспирантов: Тез. докл. В 4 т. Т.3. М.: Издательский дом МЭИ, 2013
3. Бухмиров В.В. Классификация методик проведения энергетического обследования / В.В. Бухмиров, В.В. Банников // Вестник энергоэффективности. – 2012. - № 1.
4. Стандарты и правила Некоммерческого Партнерства – Саморегулируемой Организации «Гильдия Энергоаудиторов. Техническая часть. Т.1. Московская область, 2012.
5. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (Вторая редакция, исправленная и дополненная), утв. Минэкономки РФ, Минфином РФ и Госстроем РФ от 21 июня 1999 г. N ВК 477.

#### Роль системы энергосбережения на предприятии

*Несветайло М.В.*

*Омский государственный технический университет, Россия, г. Омск*

[nesvet\\_22@mail.ru](mailto:nesvet_22@mail.ru)

Энергетическая безопасность (согласно Европейской экономической комиссии ООН) – состояние общества, которое позволяет при наличии угроз внешнего и внутреннего характера и влияния дестабилизирующих факторов экономического, социально-политического, природного и

техногенного происхождения поддерживать необходимый уровень национальной безопасности страны, устраняя и компенсируя негативное влияние этих факторов [5]. Энергобезопасность включает в себя политическую, экономическую, техногенную энергобезопасность.

В период экономического кризиса в России значительно снизился объем потребления электроэнергии (ЭЭ), процесс обновления мощностей практически остановился. Российские энергетические компании отставали по технологическим показателям от компаний развитых стран. Общая ситуация в отрасли характеризовалась следующими показателями [3]:

1. Отсутствовали стимулы к повышению эффективности, рациональному планированию режимов производства и потребления электроэнергии, энергосбережению, снижению производственных затрат.

2. В отдельных регионах происходили перебои энергоснабжения, наблюдался энергетический кризис, существовала высокая вероятность крупных аварий.

3. Отсутствовала платежная дисциплина, были распространены неплатежи.

4. Предприятия отрасли были информационно и финансово "непрозрачными", что привело к невозможности достоверно определить необходимые ресурсы для поддержания и развития предприятий.

5. Низкая рентабельность энергетического сектора, необходимость инвестиций.

ЭЭ считается эффективным и экологически чистым энергоносителем, в связи с чем, можно говорить о том, что ее потребление в будущем будет непрерывно расти. Таким образом, появилась необходимость в создании стимулов для повышения энергоэффективности предприятий, обеспечения надежного и бесперебойного энергоснабжения потребителей. Необходима организация системы энергосбережения на предприятии.

Считается, что энергосбережение – один из важных факторов, способствующих повышению уровня энергобезопасности. Согласно Федеральному закону №261-ФЗ «Об энергосбережении» [2] под энергосбережением понимается реализация организационных, правовых, технических, технологических, экономических и иных мер, направленных на уменьшение объема используемых энергетических ресурсов (ЭР) при сохранении соответствующего полезного эффекта от их использования (в том числе объема произведенной продукции, выполненных работ, оказанных услуг).

Постоянное удорожание ЭР заставляет всерьез задуматься о жестком контроле использования, что требует внедрения эффективных средств учета, способствующих снижению затрат на ЭЭ, разработки энергосберегающей политики и мероприятий по энергосбережению. В настоящее время отсутствуют современные автоматизированные системы контроля и учета отпуска и реализации энергоресурсов (ЭР); отсутствует мониторинг отпуска, распределения и потребления ЭР в режиме реального времени. Использование автоматизированных систем управления позволяет осуществлять точный контроль в реальном времени за потреблением ЭР, повышая достоверность учета, оптимизируя затраты на ЭР[1].

Для энергосбережения характерны нормирование и учет энергопотребления. Целью нормирования является установление норм потребления, исключающих излишний расход для улучшения использования ЭР и основных фондов энергохозяйства, снижения доли энергозатрат в себестоимости продукции. Должен быть соблюден баланс экономических интересов ресурсоснабжающих организаций и интересов потребителей.

Существуют следующие группы решений в энергосбережении предприятий [4]:

1. Повышение эффективности операционного управления режимами энергообеспечения и энергопотребления предприятия. Достигается путем развития системы планирования энергодансов, разработки прогрессивных нормативов, развития систем приборного автоматизированного учета, мотивации энергосбережения.

2. Поиск, формирование и реализация инженерно-технических и организационных мероприятий энергосбережения. Осуществляется при проведении энергетических обследований и энергоаудитов, улучшений операционной деятельности.

На основе энергетических целей и задач разрабатываются программы энергосбережения, включая мероприятия, сроки, ответственных и ресурсы. В общем случае, при разработке программы энергосбережения следует придерживаться следующего алгоритма:

- ранжирование и классификация мероприятий;
- определение последовательности реализации мероприятий;
- определение сроков, ответственных должностных лиц, требуемых результатов выполнения мероприятий;

• уточнение и дополнение инвестиционных расчетов – в случае, если мероприятие носит инвестиционный характер;

• разработка механизмов управления и контроля реализации программы энергосбережения;

• проработка вопросов источников инвестиций (внутренних и внешних) - в случае, если мероприятие носит инвестиционный характер;

• подготовка инвестиционных обоснований для банков-инвесторов согласно установленным ими требованиям - в случае, если мероприятие носит инвестиционный характер.

Грамотная оценка потенциала энергосбережения с последующей реализацией позволяет осуществить перевод экономики на энергосберегающий путь развития, решить многие экологические проблемы. Более широкое использование экологически чистых возобновляемых источников энергии, усовершенствование процесса преобразования топлива в ЭЭ способствуют повышению уровня энергобезопасности.

Энергетической эффективностью называется отношение или другая количественная взаимосвязь между полученным результатом, относящимся к выполнению работы, услуге, товарам или энергии, и поступившей на вход энергией.

Потенциал энергосбережения, энергоэффективности и снижения выбросов парниковых газов касается, прежде всего, зданий и промышленного сектора:

- Здания и сооружения (34%)
- Промышленность (20%)
- Электротовары (13%)
- Освещение (10%)
- Транспорт (23%)

Основные требования к энергоэффективности зданий определены СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий».

Технологии, использованные при строительстве энергоэффективных домов, соответствуют Перечню требований к энергетической эффективности зданий, строений, сооружений и позволяют значительно снизить энергопотребление. В [1] рассматриваются мероприятия, обеспечивающие минимизацию удельных потерь тепла и энергии при строительстве жилья, а также установка систем, обеспечивающих автономную генерацию ресурсов. К таковым можно отнести: применение энергоэффективных окон, датчиков движения, энергосберегающих ламп; утепление наружных стен, чердачных перекрытий и подвалов; установку солнечного коллектора, солнечных батарей; систем, позволяющих производить электрическую и тепловую энергии путем применения когенерационных установок. Таким образом, можно достичь экономии тепла до 40%, ЭЭ – до 50% в части расходов на общедомовые нужды.

Общий принцип создания благоприятных условий для энергосбережения заключается в поддержке таких энергоэффективных проектов, предельные расходы которых не превышают предельных расходов на прирост предложения ЭР.

В России в настоящее время на освещение расходуется от 12 до 21% (по разным источникам) всей ЭЭ, причем на лампы накаливания – 42%, на флуоресцентные лампы – 41% всех используемых источников света.

Федеральный закон №261 [2] запрещает лампы накаливания (ЛН) с 1.01.2011 г. мощностью 100 Вт, с 1.01.2013 – 75 Вт, с 1.01.2014 – 25 Вт. Согласно подсчетам в Минэкономразвития отказ от ЛН обойдется России минимум в 100 миллиардов рублей.

Предложены альтернативные источники освещения:

- ЛН стандартной формы E27 (60 Вт, жизненный цикл – 2000 час, световой поток 710 люмен, стоимость – 0,8 евро/шт);

- Галогенная лампа (OsramEco) формы E27/14 (42 Вт аналогично 55 Вт, 1000/1500 час, 670/580 люмен, 1,5/3 евро/шт);

- Компактная люминесцентная (MegamanLiliput MM30812-3) (8 Вт, 400 люмен, 10000 час, 5 евро/шт);

- Светодиодная лампа (SamsungClassic A) формы E27 (10 Вт, 30000 час, 550 люмен, 23 евро/шт);

- Флуоресцентные трубки нового поколения (X-Bright 230 V LEDlamp (LED Tube) T8i) (10 Вт, неограниченный срок службы, 1100 люмен, 50 евро/шт).

Также следует обратить внимание на внедрение эффективных электродвигателей, т.к. электропривод потребляет 50% ЭЭ. В России доля высокоэффективных двигателей не превышает

3%, «запасная» мощность переоценена, электромоторы эксплуатируются более 20 лет, капитальные ремонты происходят 3-5 раз с последующей потерей мощности и снижением КПД.

По опыту стран СНГ [5] можно говорить о том, что энергосберегающие мероприятия способствуют экономии финансовых средств, требуемых для функционирования топливно-энергетического сектора и расширения его производственной, генерирующей и сетевой базы, закупок топливно-энергетических ресурсов за рубежом, а также предотвращения и (или) ликвидации связанных с этим сектором негативных экологических последствий. Несомненно, требуются инвестиционные затраты на проведение энергосберегающих мероприятий, но именно они в процессе реализации уменьшают инвестиции в развитие системы энергообеспечения страны.

Должны быть созданы такие условия, в которых поставщик обеспечивал бы бесперебойное и надежное питание энергией потребителя по стабильным и доступным ценам. Проблемы низкой энергоэффективности и высокой энергоемкости могут быть решены благодаря успешной реализации системы управления энергоэффективностью и энергосбережением. Причем, для реализации этой системы не столько необходимы высокие затраты, сколько целенаправленная и технически грамотная совместная работа местной власти, ресурсоснабжающих организаций и потребителей.

Следует отметить, что особенное финансирование и поддержку со стороны государства необходимо оказать тем предприятиям, на которых мероприятия по энергосбережению ведутся активно, где уже наблюдается значительное уменьшение потребления ЭР.

#### Список литературы:

1. Кожарин Ю.В., Абдулхакимов Р.К. Полученный опыт и результаты – отправная точка к новым горизонтам//Информационный электронный журнал по энергосбережению Координационного совета Президиума Генерального совета Всероссийской политической партии «Единая Россия» по вопросам энергосбережения и энергетической эффективности «Энергосвет». – 2013. - №5.
2. Федеральный закон от 23.11.2009 N 261-ФЗ (ред. от 02.07.2013) "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации". – М.: 2009.
3. Шматко С. Особенности переходной экономики//Российский исторический иллюстрированный журнал «Родина». – 2011. - №12.
4. Энергосбережение и энергоэффективность. Основные понятия. [Электронный ресурс]. – URL: <http://academipo.ru/energoberezhenie-energoeffektivnost-osnovy/> (дата обращения: 23.11.2013).
5. Энергоэффективность и энергетическая безопасность в Содружестве Независимых Государств. Энергетический выпуск ЕЭК №17 – Нью-Йорк и Женева, 2001.

#### Обоснование концепции образцовой системы теплоснабжения для повышения энергоэффективности действующих систем

*Николаев Ю.Е., Дубинин А.Б., Вдовенко И. А., Зябкин В.И.*

*Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,*

*Россия, г. Саратов*

*[mazddaf@mail.ru](mailto:mazddaf@mail.ru)*

Энергосбережение является стратегически важным направлением развития экономики, обеспечивающим национальную безопасность России. Емким потребителем тепловой энергии является жилищно-коммунальное хозяйство (ЖКХ), использующим более 20% энергоресурсов и имеющее высокий потенциал энергосбережения (25-30%). В настоящее время в ЖКХ сложилась негативная ситуация: высокий износ основного и вспомогательного оборудования, задолженность перед кредитными организациями, низкая энергетическая эффективность существующих систем теплоснабжения, недостаточное использование энергосберегающих технологий, невысокое качество жилищно-коммунальных услуг.

В качестве основной меры по энергосбережению рассматривается модернизация схем теплоснабжения, предусматривающей внедрение энергосберегающего оборудования и прогрессивных технологий во всех звеньях теплового хозяйства [1]. Для количественной оценки потенциала энергосбережения существующей системы теплоснабжения предлагается введение концепции образцовой системы, под которой понимается реальная система с прогрессивным оборудованием и наиболее выгодной на данный момент времени технологической схемой,

рациональными режимами эксплуатации, обеспечивающая эффективное теплоснабжение с минимальными энергетическими затратами. Аналогичная терминология использована при разработке образцовых циклов теплоэнергетических установок (ТЭУ) [2], где под образцовыми понимаются такие теоретические циклы, приближением к конфигурации которых в реальных условиях достигается максимальный энергетический эффект. Следовательно, основное отличие образцовых систем теплоснабжения заключается в достижении наилучших показателей энергоэффективности в конкретных условиях при использовании передовых технологий на данный момент времени. Образцовая система теплоснабжения должна разрабатываться для каждой действующей системы, учитывающая структуру теплопотребления, наличие потенциала первичных, вторичных и возобновляемых энергетических ресурсов, особенностей планировочных решений городской территории и расположение потребителей, климатические факторы, требований по надежности теплообеспечения. На основе образцовой системы теплоснабжения можно не только оценить потенциал энергосбережения, но разработать программы поэтапного внедрения передового оборудования и технологий в коммунальном хозяйстве с учетом их экономического обоснования.

Наиболее совершенными источниками теплоты являются блочно-модульные автоматизированные котельные на природном газе с водоподготовительными установками. КПД таких котельных находится в пределах 93-95%, а с учетом использования глубокого охлаждения продуктов сгорания до 98%. Себестоимость производства теплоты на таких котельных при использовании природного газа сегодня находится на уровне 700-800 руб./Гкал. Дальнейшее повышение энергетической и экономической эффективности возможно за счет комбинированного производства электрической и тепловой энергии на базе газопоршневых (ГПУ) и газотурбинных (ГТУ) установок. Коэффициент полезного использования энергии топлива на таких ТЭЦ достигает 85-90%, а себестоимость тепловой энергии при этом снижается на 30-40%.

Для транспорта тепловой энергии наилучшие показатели имеют теплопроводы повышенной заводской готовности с изоляцией из пенополиуретана и пенополимеров с коэффициентом теплопроводности 0,03 -0,035 Вт/м К, имеющие срок службы до 30 лет и нормированные величины теплопотерь [3]. В качестве тепловых узлов потребителей целесообразно рассмотреть блочных автоматизированных пунктов, обеспечивающих коммунально-бытовые нагрузки зданий. Потребители теплоты (здания) должны иметь нормативные тепловые потери через ограждающие конструкции, соответствующие действующим СНиП, а также быть оснащенными системами автоматического регулирования нагрузки отопления и горячего водоснабжения[4].

В образцовой системе наряду с использованием передового теплоэнергетического оборудования для каждого источника должны быть выбраны оптимальными тепловая мощность и радиус зоны теплоснабжения в соответствии с экономическим критерием с учетом обеспечения требуемого уровня надежности теплоснабжения всех потребителей..

Для разработки образцовой системы теплоснабжения необходимы: 1-топологическая схема размещения существующих потребителей, источника и сетей, 2- существующие и перспективные тепловые нагрузки потребителей, 3-ограничения на возможность расширения существующих и строительства новых источников, 4-ограничения на масштаб вредных выбросов источников.

В качестве относительного показателя энергетической эффективности существующей системы теплоснабжения по сравнению с образцовой рекомендуется использовать коэффициент  $\beta$ , представляющий отношение энергетических затрат в существующей и образцовой системах:

$$\beta = \frac{I_{ЭН}^C}{I_{ЭН}^O}, \quad (1)$$

где  $I_{ЭН}$  - энергетические годовые затраты в систему теплоснабжения, руб./год; верхние индексы соответствуют существующей и образцовой системам теплоснабжения.

Коэффициент  $\beta \geq 1$ , тогда потенциал энергосбережения системы теплоснабжения

$$\Pi = \beta - 1. \quad (2)$$

При использовании в качестве источника теплоты котельной представим выражение энергетической составляющей в виде:

$$I_{эн} = c_m \cdot b_k \frac{Q_T}{\eta_{ТС}} + c_э \cdot \varepsilon_n \frac{1}{\eta_{ТС}}, \quad (3)$$

где  $c_m, c_э$  - тарифы на топливо и электрическую энергию, руб./кг у.т., руб./кВт ч;  $b_k$  - удельный расход топлива на отпуск теплоты в котельной, кг у.т./ГДж;  $Q_T$  - количество тепловой энергии, израсходованное потребителем, ГДж/год;  $\eta_{ТС}$  - КПД тепловой сети;  $\varepsilon_n$  - удельный расход электроэнергии на перекачку теплоносителя и собственные нужды источника теплоты, кВт ч/ГДж.

При подстановке выражения (3) для существующей и образцовой систем в (1) с учетом преобразований получим:

$$\beta = \frac{(b_k^c + \gamma \cdot \varepsilon_n^c) / \eta_{ТС}^c}{\varepsilon \cdot (b_k^o + \gamma \cdot \varepsilon_n^o) / \eta_{ТС}^o}, \quad (4)$$

где  $\varepsilon = Q_T^o / Q_T^c$  - коэффициент снижения тепловой нагрузки системы теплоснабжения из-за усиления тепловой защиты зданий и применения сберегающих технологий для горячего водоснабжения;  $\gamma = c_э / c_m$ .

С использованием приведенных выражений выполнены расчеты по определению относительной эффективности существующей системы теплоснабжения тепловой мощностью 5,2 МВт, расположенной в центральном федеральном округе. Потребителями являются 2-5 этажные жилые и общественные здания постройки 50-80 годов прошлого века. Доля нагрузки отопления составляет 0,85; горячего водоснабжения - 0,15. В качестве источника теплоты используется котельная с котлами НР-18, работающих на природном газе и имеющих КПД 0,81. Тепловые сети закрытые, работают по графику 95/70 °С. Протяженность сетей 4120 м со средним диаметром 108 мм. Износ источника и сетей составил около 70%. В образцовой системе теплоснабжения рассмотрена котельная со среднегодовым КПД нетто 0,92, КПД сетей рассчитан с учетом нормативов тепловых потерь. За счет утепления зданий в соответствии с нормами тепловой защиты и установки на горячем водоснабжении водосберегающих приборов снижение тепловой нагрузки составило 28% ( $\varepsilon = 0,72$ ). Стоимость топлива принята 3,5 руб./кг у.т., электроэнергии - 3,8 руб./кВт ч. Результаты расчетов приведены в таблице.

Таблица. Характеристика существующей и образцовой систем теплоснабжения

Наименование показателя, единицы измерения	Существующая система с котельной	Образцовая система с котельной
Присоединенная тепловая нагрузка, МВт	4,04	2,91
Количество тепловой энергии, израсходованное потребителем, ГДж/год	35761,7	25745,4
Потери тепловой энергии при транспорте, ГДж/год	3973,5	1073,4
Собственные нужды, ГДж/год	810,9	408,4
Выработка тепловой энергии, ГДж/год	40546,1	27226,2
Расход топлива, млн. кг у. т./год	1,67	1,01
Удельный расход топлива на отпуск теплоты с коллектора источника, кг у. т./ГДж	41,9	37,6
Удельный расход электроэнергии на перекачку теплоносителя и собственные нужды источника, кВт*ч/ГДж	6	4,29
Расход электроэнергии на перекачку, кВт*ч/год	241922	116800,4
Затраты на топливо, млн. руб./ год	5,82	3,57
Затраты на электроэнергию, млн. руб/ год	0,924	0,44
Энергетические годовые ,млн. руб/ год	6,74	4,01
КПД транспорта теплоты, %	90	96
Относительный показатель энергетической эффективности	1,68	1
Потенциал энергосбережения	0,68	1

Из анализа таблицы следует, что в образцовой системе при нормативных тепловых потерях присоединенная нагрузка снизилась на 28%, КПД тепловых сетей вырос на 6%, удельный расход топлива уменьшился на 4,3 кг у.т./ГДж. Показатель энергетической эффективности существующей системы теплоснабжения получился равным 1,68, что означает перерасход энергетических затрат в размере 68% по сравнению с образцовой системой.

**Список литературы:**

1. Николаев Ю.Е., Дубинин А.Б., Вдовенко И.А. Проблемы повышения эффективности систем теплоснабжения малых городов // Энергосбережение в системах тепло-и газоснабжения. Повышение энергетической эффективности. Мат. науч.-практ. конф. СПб. ООО "К-8", 2012г. С.115-118.
2. Андрищенко А.И., Дубинин А.Б. Образцовые циклы теплоэнергетических установок и их оптимизация: учеб. Пособие/Саратов. политехн. ин - т, Саратов, 1988– 68 с..
3. СНиП 41-03-2003. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. Введ. 2003-11.01. М.: ФГУП ЦПП, 2003. - 30 с.
4. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий. Введ. 2003-10-01. М.: ФГУП ЦПП, 2003. - 23с.
5. СНиП 41-02-2003. Тепловые сети. Введ. 2003-06-24. М.: ФГУП ЦПП, 2003. - 37с.

УДК 621.316.1.017

**Особенности модели на основе коэффициентов распределения для определения параметров энергосберегающих технологий**

*В.С. Павлюков, С.В. Павлюков, С.П. Сусанин*

*ФГБОУ ВПО Южно-Уральский государственный университет (НИУ), г. Челябинск, Россия  
E-mail: pws1938@mail.ru*

На основе матрицы коэффициентов распределения получены математические модели определения потерь мощности и энергии. Представлены результаты экспериментальных исследований.

Развитие рыночных отношений в электроэнергетике России между производителями электрической энергии и ее потребителями требуют повышения эффективности мероприятий по снижению уровня потерь энергии, качество которой зависит от точности моделирования процессов в электроэнергетической системе, характеризующейся разнообразным и большим объемом информации о схемных и режимных параметрах.

В настоящее время в большинстве сетевых компаний доминирующим методом для решения задач энергосбережения и управления электрическими режимами сетей разных уровней напряжений является узловой баланс мощностей (токов) [1], но, отметим, и достаточно трудоемкий. Поэтому актуальность исследований более совершенных моделей для различных задач, в том числе и определения потерь электроэнергии, позитивно влияющих на упрощение и уменьшение трудоемкости перечисленных процессов, не утрачивается и в упомянутое время.

Наиболее перспективное направление для разработок как линейных, так и нелинейных моделей поставленной задачи открывает универсальность свойств матрицы  $\mathbf{C} = \mathbf{C}' + j\mathbf{C}''$  коэффициентов распределения [1].

Рассмотрим моделирование режимной информации в виде вектора-функции графиков полных мощностей за некоторый дискретный интервал времени  $T$

$$\mathbf{s}(t) = [\underline{s}_v(t)] = [p_v(t) + jq_v(t)], \quad (v = \overline{1, n} - \text{число независимых узлов в схеме сети}) \quad (1)$$

или в виде узловых токов [2]

$$\mathbf{j}(t) = [\underline{j}_v(t)] = j'_v(t) + jj''_v(t). \quad (2)$$

Представим модель потерь на основе узловых токов в детерминированной форме  $\mathbf{J} = [\underline{j}_v]$  [2], определяющую распределение комплексных токов  $\mathbf{i}_{kv}$  по ветвям  $kv$  схемы электрической сети по выражению

$$\mathbf{i}_{kv} = \mathbf{c}_{kv} \mathbf{j}_v = i'_{kv} + ji''_{kv}, \quad (k = \overline{1, \hat{a}}; \hat{a} - \text{число ветвей в схеме}), \quad (3)$$

где  $i'_{kv} = c'_{kv} j'_v - c''_{kv} j''_v$ ,  $i''_{kv} = c'_{kv} j''_v + c''_{kv} j'_v$  – соответственно действительная и мнимая составляющие вектора токораспределения в схеме электрической сети.



Матричное выражение для токораспределения по ветвям электрической схемы на основе (3) в комплексной форме имеет следующий вид

$$\mathbf{I} = \mathbf{I}' + j\mathbf{I}'' = \mathbf{C}\mathbf{J}. \quad (4)$$

Современное управление режимами электрических систем и энергосберегающими технологиями требует достоверную и полную узловую и другую информацию. Качественная режимная информация может быть получена при помощи новых способов и комплексов измерения. Но не все узлы системы оснащены дорогостоящей аппаратурой, что приводит к использованию устаревших данных или данных замеров характерных режимов, распространяющихся на большой период времени. В таком случае можно предложить модель для решения указанной задачи с комбинированными параметрами, которую получим с использованием узловых уравнений на базе матрицы  $\mathbf{Y}$  собственных и взаимных проводимостей:

$$\mathbf{Y}\Delta\mathbf{U} = \mathbf{J} - \mathbf{M}diag\mathbf{Z}_{\mathbf{B}}^{-1}\mathbf{E}, \quad (5)$$

где  $\Delta\mathbf{U} = \mathbf{U} - \mathbf{U}_0$  – вектор падений напряжений искомого вектора напряжений  $\mathbf{U}$  относительно вектора базисного напряжения  $\mathbf{U}_0$ ;  $\mathbf{M}$  – матрица соединений ветвей в узлах схемы;  $diag\mathbf{Z}_{\mathbf{B}}^{-1}$  – инвертированная диагональная матрица ветвей схемы;  $\mathbf{E}$  – вектор э.д.с. в ветвях схемы замещения, который может моделировать элементы векторного (продольно-поперечного) воздействия на режим электрической сети.

В зависимости от значимости режимной информации или других факторов, уравнение (5) при условии  $\mathbf{E} = 0$  можно преобразовать к блочному виду

$$\begin{bmatrix} \mathbf{Y}_{\alpha\alpha} & \mathbf{Y}_{\alpha\beta} \\ \mathbf{Y}_{\beta\alpha} & \mathbf{Y}_{\beta\beta} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\mathbf{U}_{\alpha} \\ \Delta\mathbf{U}_{\beta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{J}_{\alpha} \\ \mathbf{J}_{\beta} \end{bmatrix} \quad (6)$$

и для дальнейших операций рассмотреть (6) в алгебраической форме

$$\begin{cases} \mathbf{Y}_{\alpha\alpha}\Delta\mathbf{U}_{\alpha} + \mathbf{Y}_{\alpha\beta}\Delta\mathbf{U}_{\beta} = \mathbf{J}_{\alpha}, \\ \mathbf{Y}_{\beta\alpha}\Delta\mathbf{U}_{\alpha} + \mathbf{Y}_{\beta\beta}\Delta\mathbf{U}_{\beta} = \mathbf{J}_{\beta}. \end{cases} \quad (7)$$

Допустим, что известны замеры режимных параметров с индексом  $\alpha - \mathbf{J}_{\alpha}$ , с индексом  $\beta$  параметры достоверно неизвестны на момент времени  $t$ . Вместо последних параметров для итерационных процессов численных методов можно использовать приближенные величины в виде номинальных напряжений сети или выбрать из диспетчерских журналов ретроспективные данные, или баз оперативно-информационных комплексов. Алгоритм преобразования системы (7) прост и сводится к тому, чтобы вектор неизвестных параметров  $\mathbf{J}_{\beta}$  переместился в структуру вектора неизвестных системы уравнений (6) или (7). Из второго уравнения системы (7) имеем  $\Delta\mathbf{U}_{\beta} = \mathbf{Y}_{\beta\beta}^{-1}(\mathbf{J}_{\beta} - \mathbf{Y}_{\beta\alpha}\Delta\mathbf{U}_{\alpha})$  и, подставляя в первое уравнение системы, получим  $(\mathbf{Y}_{\alpha\alpha} - \mathbf{Y}_{\alpha\beta}\mathbf{Y}_{\beta\beta}^{-1}\mathbf{Y}_{\beta\alpha})\Delta\mathbf{U}_{\alpha} + \mathbf{Y}_{\alpha\beta}\mathbf{Y}_{\beta\beta}^{-1}\mathbf{J}_{\beta} = \mathbf{J}_{\alpha}$ . Последнее уравнение вместе с преобразованным первым уравнением системы (7) представляют форму уравнений с вектором комбинированных неизвестных переменных

$$\begin{bmatrix} \mathbf{Y}_{\alpha\alpha} - \mathbf{Y}_{\alpha\beta}\mathbf{Y}_{\beta\beta}^{-1}\mathbf{Y}_{\beta\alpha} & \mathbf{Y}_{\alpha\beta}\mathbf{Y}_{\beta\beta}^{-1} \\ -\mathbf{Y}_{\beta\beta}^{-1}\mathbf{Y}_{\beta\alpha} & \mathbf{Y}_{\beta\beta}^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\mathbf{U}_{\alpha} \\ \mathbf{J}_{\beta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{J}_{\alpha} \\ \Delta\mathbf{U}_{\beta} \end{bmatrix}. \quad (8)$$

Для практического использования данной модели был осуществлен этап ее исследования на тестовой схеме замещения с пятью узлами и семью ветвями. Целью исследования было установить адекватность полученных решений для вектора комбинированных режимных параметров при изменении исходных данных, но не противоречивых соответствующему уровню напряжений. При использовании классического одношагового итерационного метода без влияния ускоряющих элементов решение для вектора неизвестных (8) было получено на шестой итерации при заданной погрешности  $\varepsilon_s = 0,01$ .

На основе метода наложения векторы-столбцы действительных и мнимых составляющих токов (3), представим следующими формулами

$$\mathbf{I}' = \mathbf{C}'\mathbf{J}' - \mathbf{C}''\mathbf{J}'', \quad (9)$$

$$\mathbf{I}'' = \mathbf{C}'\mathbf{J}'' + \mathbf{C}''\mathbf{J}'. \quad (10)$$

Данный подход определения токораспределения обеспечивает наглядность и адресность составляющих токов в каждой ветви схемы электрической сети от соответствующих регулируемых режимных параметров, переписав (9,10) в раскрытом виде[2].

Потери полной мощности в питающей сети при известном токораспределении (9,10) можно определить из выражения

$$\Delta S = \left( \mathbf{I}^* \right)^T \text{diag}(\mathbf{Z}) \mathbf{I} = \text{Re}(\Delta S) + j \text{Im}(\Delta S) = \pi + j q ,$$

где  $\mathbf{Z} = \mathbf{R} + j\mathbf{X}$  – матрица полных сопротивлений ветвей схемы электрической сети;  $T$  – операция транспонирования;  $\pi$  и  $q$  – потери соответственно активной и реактивной мощностей.

Составляющая потерь активной мощности из выражения (11) имеет вид

$$\begin{aligned} \pi &= \text{Re}(\Delta S) = \text{Re} \left[ \left( \mathbf{I}^* \right)^T \text{diag}(\mathbf{Z}) \mathbf{I} \right] = \\ &= \text{Re} \left[ \left( (\mathbf{I}')^T - j(\mathbf{I}'')^T \right) \text{diag}(\mathbf{R} + j\mathbf{X})(\mathbf{I}' + j\mathbf{I}'') \right] = (\mathbf{I}')^T \mathbf{R} \mathbf{I}' + (\mathbf{I}'')^T \mathbf{R} \mathbf{I}'' . \end{aligned}$$

(11)

При использовании модели(1) для режима средних нагрузок, потери электроэнергии в схеме электрической сети, исключая промежуточные выводы, можно определять по выражению

$$\begin{aligned} \Delta \mathcal{E} &= \frac{1}{T} \int_0^T \pi(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T \begin{bmatrix} \mathbf{P} \mathbf{F}^P(t) \\ \mathbf{Q} \mathbf{F}^Q(t) \end{bmatrix}^T \mathbf{B} \begin{bmatrix} \mathbf{P} \mathbf{F}^P(t) \\ \mathbf{Q} \mathbf{F}^Q(t) \end{bmatrix} dt = \\ &= \begin{bmatrix} \mathbf{P} \\ \mathbf{Q} \end{bmatrix}^T \mathbf{B} \begin{bmatrix} \mathbf{P} \\ \mathbf{Q} \end{bmatrix} \frac{1}{T} \int_0^T \begin{bmatrix} \mathbf{F}^P(t) \\ \mathbf{F}^Q(t) \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} \mathbf{F}^P(t) \\ \mathbf{F}^Q(t) \end{bmatrix} dt . \end{aligned} \quad (12)$$

В выражении (11)  $\mathbf{B}$  представляет матрицу формулы потерь, а множители,

$$\xi_{vj}^p = \frac{1}{T} \int_0^T f_v^p(t) f_j^p(t) dt , \quad \xi_{vj}^q = \frac{1}{T} \int_0^T f_v^q(t) f_j^q(t) dt ,$$

определяемые скалярными произведениями относительных графиков, соответственно, активных  $\mathbf{F}^P(t)$  и реактивных  $\mathbf{F}^Q(t)$  мощностей в узлах  $v$  и  $j$  сети, посредством которых учитывается характер изменения узловых нагрузок во времени.

В качестве апробации предложенного подхода были выполнены исследования энергорайона, сложного в эксплуатации из-за энергоемких потребителей и существенно загруженных линий 110 кВ, охватывающего более семидесяти линий и около шестидесяти узлов 110-500 кВ, в связи с вводом новых генерирующих мощностей до 2016 г. В энергорайоне линии не перегружались по длительно-допустимому току нагрева, уровни напряжений узлов находились в допустимых пределах согласно ГОСТа качества (максимальная загрузка линий до 60%; в сети 110 кВ отклонение напряжений менее 10%, в сети 220 кВ до 8,3 и 500 кВ до 4%). Расчеты реальной схемы показывают эффективность применение предложенного подхода для определения энергосберегающих параметров. Использование моделей (11),(12) приводит к более точному определению потерь, примерно на 3-3,5%, по сравнению с традиционным методом[1] при детерминированных режимных параметрах.

Рассмотренная модель (12), обеспечивают независимую от разнородности характера нагрузок узлов сети точность определения потерь мощности и энергии, что является важным фактором для получения правильных решений поставленной выше задачи при управления энергосберегающими режимами электрических сетей.

#### Список литературы:

1. Электрические системы. Электрические сети / В.А. Веников, А.А. Глазунов, Л.А. Жуков и др.; под ред. В.А. Веников и В.А. Строева. – М.: Высшая школа, 1988. – 512 с.

2. Фомин Н.И., Павлюков В.С. Метод определения потерь электроэнергии в питающей сети для задачи комплексной оптимизации схем распределительных электрических сетей // Электробезопасность.– Челябинск: Изд.-во ЮУрГУ, 1999. – №3-4.– С. 3–7.

#### Алгоритм составления плана мероприятий по снижению потерь электроэнергии

*Пейзель В.М., Бондарева К.В.*

*Северо-Кавказский федеральный университет, Россия, г. Ставрополь  
stepas1955@mail.ru*

В электросетевых организациях работа по снижению потерь энергии (ПЭ) начинается с разработки мероприятий по снижению потерь (МСП) в электрических сетях. Результатом является конкретный набор организационных и технических мероприятий, обеспечивающих снижение ПЭ до экономически обоснованного уровня. При этом уже в год внедрения МСП желательно получить от них наибольший экономический эффект, т.е. обеспечить рациональную последовательность выполнения этих мероприятий в течение отчетного периода (месяца, квартала, года). Особенно актуален этот вопрос для МСП, проводимых в электрических сетях 0,4-10 кВ, не требующих, как правило, крупных материальных и финансовых затрат и выполняющихся персоналом самих электросетевых организаций.

Объемы материальных ресурсов, необходимых для проведения МСП, определяются при их расчете. Далее возникает задача рационального использования трудовых ресурсов, которые может выделить организация в течение года на реализацию запланированных мероприятий.

Эту задачу можно сформулировать и решить следующим образом. Необходимо составить календарный план выполнения МСП, характеризующихся трудозатратами на их выполнение  $t_i$  и годовым эффектом  $\mathcal{E}_i$  ( $i=1, \dots, N_M$ ), который обеспечивал бы получение наибольшего суммарного эффекта за период планирования и был удобен с точки зрения его выполнения. В качестве годовых эффектов  $\mathcal{E}_i$  для каждого из  $N_M$  мероприятий может использоваться ожидаемое годовое снижение потерь от внедрения данного МСП, как это регламентировано в [1].

Период планирования разбивается на ряд интервалов  $N_H$  (месяцев или кварталов), причем для каждого интервала задается величина располагаемых трудоресурсов  $T_j$  ( $j=1, \dots, N_H$ ), которые могут быть выделены на проведение МСП. Трудозатраты  $t_i$  для организационных и технических МСП должны использоваться в полном объеме за один интервал периода планирования.

Разработанный годовой план МСП с одной стороны должен удовлетворять требованиям максимальной эффективности, а с другой – равномерности распределения трудозатрат по интервалам. О равномерной напряженности плана можно судить по примерному равенству коэффициентов использования трудоресурсов за периоды, которые определяются как отношение необходимых трудозатрат к выделяемым на данный интервал трудоресурсам. Эти требования противоречивы, т.к. максимального эффекта от МСП можно добиться, внедрив их все в начале планового периода. Однако при этом план получается максимально неравномерным. Таким образом, поставленная задача является оптимизационной, а в силу одновременности ряда МСП – еще и целочисленной. Поэтому для ее решения целесообразно использование методов целочисленного программирования [2].

Введем следующие обозначения:

$x_{ij}$  – переменная, принимающая в общем случае значения в интервале от нуля до 1, а для МСП, требующих одновременного выполнения, – дискретные значения 0 или 1 в зависимости от

того, выполняется мероприятие  $i$  в интервале  $j$  или нет, причем  $\sum_{j=1}^{N_H} x_{ij} = 1$ ;

$\tau_j$  – относительная продолжительность получения эффекта от мероприятия в течение периода планирования, которая для кварталов, например, может быть задана значениями 0,875; 0,625; 0,375; 0,125.

Тогда требованию максимальной эффективности плана МСП соответствует целевая функция

$$F_{\circ}(x) = \sum_{j=1}^{N_H} \sum_{i=1}^{N_M} \mathcal{E}_i \tau_j x_{ij} \rightarrow \max \quad (1)$$

с наложенными ограничениями

$$\sum_{i=1}^{N_M} x_{ij} t_i \leq T_j, \quad j = 1, \dots, N_H. \quad (2)$$

Вместе с тем, величины располагаемых трудоресурсов по интервалам  $T_j$  обычно известны ориентировочно, поэтому для учета возможности их незначительного превышения имеет смысл в правой части выражения (2) ввести коэффициент возможного превышения трудозатрат над трудоресурсами  $k_{Hj} \geq 1$ , а для учета «ущерба» от этого превышения – ввести в (1) функцию штрафа вида

$$\varphi_{uj} = \max \left[ 0, Y_j (T_{3j} - T_j) \right], \quad (3)$$

где  $T_{3j} = \sum_{i=1}^{N_M} x_{ij} t_i$  – суммарные трудозатраты за  $j$ -й период.

Значения коэффициентов  $k_{Hj}$  и удельного «ущерба» от превышения трудоресурсов  $Y_j$  могут задаваться отдельно для каждого интервала, исходя из технико-экономических показателей работы предприятия. Величина  $Y_j$  определяет жесткость ограничений на превышение располагаемых трудоресурсов и регламентирует необходимость привлечения дополнительных сил на выполнение МСП.

С учетом функции штрафа (3) целевую функцию (1) и ограничения (2) можно переписать в виде

$$F_{\varnothing}(x) = \sum_{j=1}^{N_H} \left\{ \tau_j \sum_{i=1}^{N_M} \varnothing_i x_{ij} - \max \left[ 0, Y_j (T_{3j} - T_j) \right] \right\} \rightarrow \max \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^{N_M} x_{ij} t_i \leq k_{Hj} T_j, \quad j = 1, \dots, N_H. \quad (5)$$

Целевая функция  $F_{\varnothing}(x)$  является суммой слагаемых по интервалам, т.е.

$$F_{\varnothing}(x) = \sum_{j=1}^{N_H} F_{\varnothing j}(x).$$

Поэтому задачу (4) – (5) можно разбить на  $N_H$  отдельных подзадач. Однако, учитывая, что  $\tau_j$  уменьшается с увеличением  $j$ , для обеспечения максимального эффекта следует решать эти подзадачи последовательно, начиная с первого интервала.

Задача может быть решена с помощью алгоритма «укладки ранца» целочисленного программирования. При этом последовательность расчета такова.

Для всех МСП определяются показатели  $\beta_i = \varnothing_i t_i$ ,  $i=1, \dots, N_M$ . Мероприятия ранжируются в порядке убывания показателей  $\beta_i$ , т.е.  $\beta_{k-1} \geq \beta_k$ ,  $k=2, \dots, N_M$ . Последовательно, начиная с первого интервала ( $j=1$ ), ранжированным переменным по порядку присваиваются максимально возможные значения  $x_{kj}$  до тех пор, пока не нарушится условие (5). При этом когда наступает момент

$$T_j \leq \sum_{i=1}^{N_M} x_{ij} t_i \leq k_{Hj} T_j$$

присвоение переменным  $x_{kj}$  максимальных значений осуществляется путем последовательного перебора всех МСП с  $x_{kj} < 1$  и проверки на постоянное возрастание текущего значения функции  $F_{\varnothing j}(x)$ . Осуществляется переход к следующему интервалу  $j+1$ , и процедура

расчета повторяется, но в рассмотрении участвуют только те МСП, для которых  $\sum_{j=1}^{N_H} x_{kj} < 1$ .

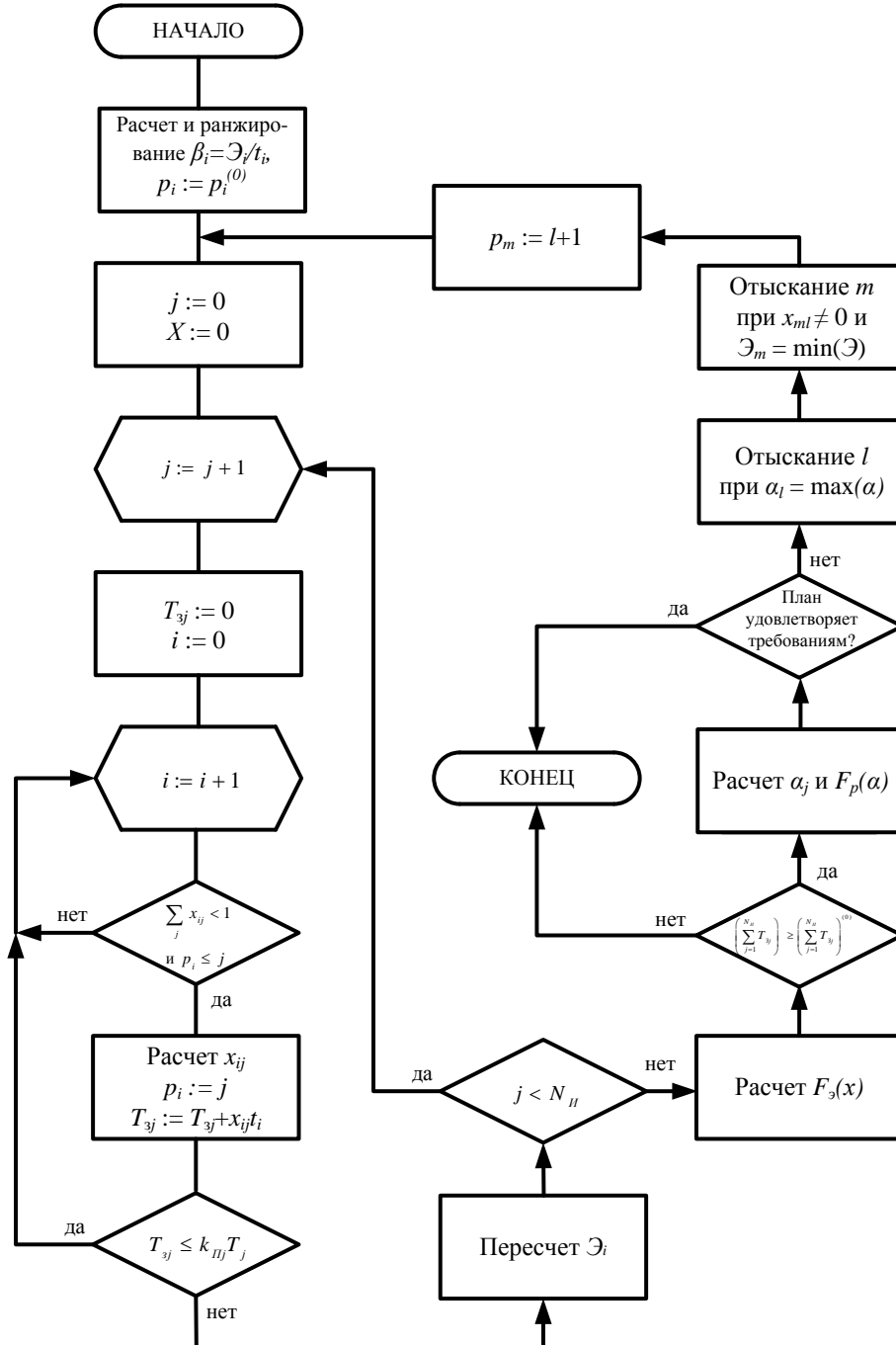
Задача решается последовательно для всех интервалов и определяется эффективный план МСП на плановый период. Однако очевидно, что этот план будет наименее равномерным. Например, в случае превышения выделяемых на период трудоресурсов над суммарными необходимыми трудозатратами на выполнение МСП первые интервалы будут более загруженными, чем последующие. План может оказаться и не самым эффективным за счет сравнительно высоких величин «ущербов» для первых интервалов.

Требование равномерной загруженности плана может быть достигнуто путем решения задачи минимизации суммы квадратов отклонений коэффициентов использования трудоресурсов от среднего:

$$F_p(\alpha) = \sum_{j=1}^{N_{II}} (\alpha_j - \bar{\alpha})^2 = \sum_{j=1}^{N_{II}} \alpha_j^2 - \frac{1}{N_{II}} \left( \sum_{j=1}^{N_{II}} \alpha_j \right)^2 \rightarrow \min \quad (6)$$

во внешнем по отношению к описанному алгоритму цикле. Здесь  $\alpha_j = T_{3j} / T_j$  – коэффициент использования трудоресурсов в  $j$ -м интервале.

Для решения задачи (6) предлагается следующий алгоритм направленного выравнивания первоначального неравномерного плана.



Рисунок– Блок-схема алгоритма рационального планирования МСП

Каждому мероприятию ставится в соответствие признак  $p_i$  ( $i=1, \dots, N_M$ ), значение которого равно номеру интервала, начиная с которого это МСП может включаться в план. В частности,

задавая этим признакам начальные значения  $p_i^{(0)}$ , можно учесть тот факт, что обеспечение МСП материалами и оборудованием осуществляется постепенно в течение года или само мероприятие носит сезонный характер. В общем случае  $p_i \geq 1$ .

После расчета первоначального плана выбирается интервал  $l$ , для которого коэффициент использования трудовых ресурсов  $\alpha_l$  имеет наибольшее значение. В этом интервале отыскивается мероприятие  $m$ , имеющее  $x_{ml} \neq 0$  и наименьшее значение эффекта  $\mathcal{E}_m$ . Для этого МСП значение признака  $p_i$  устанавливается равным  $l+1$ . Снова решается задача (4)-(5) с учетом новых значений  $p_i$ , т.е. каждое мероприятие включается в план, только начиная с интервала  $j = p_i$ .

По формуле (6) рассчитывается значение целевой функции  $F_p(\alpha)$  и если оно меньше предыдущего, то полученный на текущей итерации годовой план МСП запоминается. Затем расчет повторяется, начиная с выявления интервала с максимальным  $\alpha_l$ .

Таким образом, задача составления годового плана МСП в такой постановке сводится к минимизации функции (6) с учетом максимизации функции (4) на каждой итерации.

В качестве критерия окончания итерационного расчета можно использовать условие нарушения на какой-либо  $n$ -ой итерации соотношения

$$\left( \sum_{j=1}^{N_j} T_{zj} \right)^{(n)} \geq \left( \sum_{j=1}^{N_j} T_{zj} \right)^{(0)}. \quad (7)$$

Условие (7) указывает на тот факт, что количество МСП, включенных в выровненный план, не должно быть меньше, чем в первоначальном плане. Расчет может быть закончен также в случае достижения определенной степени выравненности плана, удовлетворяющей расчетчика. На рисунке приведена блок-схема описанного алгоритма.

#### Список литературы:

1. Положение об организации в Министерстве промышленности и энергетики Российской Федерации работы по утверждению нормативов технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям / Утверждено приказом Минпромэнерго России от 4 октября 2005г. № 267.- 61 с.
2. Исследование операций. В 2-х томах. Т.1 Методологические основы и математические методы / Под ред. Дж. Моудера, С. Элмаграби // М.: Мир, 1981.- 712 с.

#### Перспективные направления реализации ресурсосберегающего управления технологическим процессом движения поездов

*Петуров В.И., Ташлыкова В.И., Шубин Д.А.*

*Забайкальский институт железнодорожного транспорта, Россия г. Чита*

*Peturov\_vi@rambler.ru*

История развития цивилизации с технической точки зрения – это история создания, накопления и развития технологий, а любая технология подразумевает под собой использование энергии в той или иной форме.

Одним из основных приоритетов успешного функционирования любого производственно-технологического процесса и всей экономики в целом является эффективное использование топливно - энергетических ресурсов (ТЭР), и, в частности ресурсо- и энергосбережение. Ресурсо- и энергосбережение – это те проблемы, которые необходимо решать в любом государстве, независимо от уровня благосостояния.

Не является исключением в этом плане и такая область экономики как транспорт, в том числе железнодорожный.

В настоящее время большинство отечественных железных дорог переведено на электровозную тягу. Электрификация участков железных дорог продолжается согласно планов ОАО "РЖД". Электрифицированными железными дорогами выполняется более 90 % всего объема перевозок, при этом данный вид транспорта является крупным энергоемким потребителем и, как следствие, требует больших затрат электроэнергии, иных ТЭР. Доля потребления электрической энергии железными дорогами в России составляет 8% [1].

Расходы на тягу поездов и прочие нужды от общих эксплуатационных расходов составляют 12 %. Из затрат на топливно - энергетические ресурсы 77 % приходится на тягу поездов и 23 % на прочие нужды. В тарифах на перевозку грузов затраты на энергию составляют 10 %. Рост стоимости электроэнергии увеличит энергетическую составляющую затрат.

Значительное потребление электроэнергии железными дорогами и увеличение энергетической составляющей затрат позволяет считать энергосбережение на железнодорожном транспорте приоритетным направлением уменьшения эксплуатационных затрат.

Наибольший объем электропотребления (75...80)% осуществляется электроподвижным составом. Поэтому основные направления экономии электрической энергии связаны с техническим состоянием электровоза, уровнем его эксплуатации и организацией движения поездов. Электропотребление на тягу поездов определяется всей системой эксплуатации железной дороги.

Энергосбережение на железнодорожном транспорте выделилось в самостоятельное направление со следующими основными задачами:

- совершенствование методов анализа энергоемкости железнодорожного транспорта.
- обоснование наиболее целесообразных с экономической точки зрения путей сокращения энергозатрат;

Одним из перспективных направлений реализации энерго- и ресурсосберегающих мероприятий и, как следствие, повышения экономической эффективности эксплуатационной деятельности железнодорожного транспорта является принятие управляющих решений на основе оперативного мониторинга резервов провозной способности сети железных дорог [2]. Это позволит повысить эффективность перевозочного процесса в условиях конкуренции перевозчиков, наличия частных вагонных парков и других обстоятельств. При этом следует учитывать необходимость формирования оптимального энергоэффективного расписания движения поездов и оценку "стоимости нитки" графика, как технологического ресурса.

В рамках реализации направления по созданию и внедрению ресурсосберегающих технологий на Южно-Уральской железной дороге состоялся эксперимент по организации движения грузовых поездов по энергооптимальным "ниткам" графика [3]. Результаты эксперимента подтвердили высокую эффективность технологии организации движения грузовых поездов по энергосберегающим "ниткам" графика. Экономическая оценка результатов эксперимента показала, что за счет снижения расхода электроэнергии экономический эффект составил 22,8 млн. руб. Общий экономический эффект за счет снижения эксплуатационных расходов – 37,6 млн. руб.

Успешная реализация проекта системы построения прогнозных энергосберегающих графиков движения поездов позволит приступить к созданию сетевой модели движения поездов на наиболее грузонапряженных участках железных дорог.

#### Список литературы:

1. Молин Н.И. Лекции по дисциплине «Энергосбережение на железнодорожном транспорте». – Иркутск, ИрГУПС, 2003.
2. Виноградов С.А., Кирякин В.Ю., Анфиногенов А.Ю. Прогнозные энергосберегающие графики движения поездов. // Железнодорожный транспорт. - № 8, 2011. – С. 22 – 25.
3. Попов В.А. Организация вождения поездов по энергооптимальному графику: итоги эксперимента // Железнодорожный транспорт. - № 8, 2011. – С. 26 – 32.

#### Сравнительный анализ и оценка эффективности электропотребления на технологических участках меднорудного карьера

*Пичуев А.В., Петров А.А., Овсянников Н.Б.*

*Московский государственный горный университет, Россия, Москва  
[allexstone@mail.ru](mailto:allexstone@mail.ru)*

В основу анализа электропотребления технологических участков РОР «ЭРДЭНЭТ» были положены плановые и фактические данные по объемам добываемого полезного ископаемого и ежемесячному расходе электроэнергии по основному карьеру, включающему в себя: участок буровой, участок экскавации участка дороги и отвалов, завод ВВ, УЦРГО, УЦРЭ; по центральному участку, ДСУ и в целом по РОР.

Предварительный анализ показал, что плановые и фактические показатели расхода электроэнергии подчиняются нормальному закону распределения.

Для определения энергетических характеристик технологических комплексов и установок использовался корреляционно-регрессионный метод.

Зависимости месячного расхода электроэнергии по РОР и на основных технологических участках от месячной производительности приведены на рис.1÷4.

Анализ зависимостей технологического и удельного расходов электроэнергии по РОР (рис.1) показал, что выход на плановые показатели обеспечивается только при производительности  $Q \geq 1450$  тыс.м<sup>3</sup>/мес., а оптимальными являются при производительности  $Q \geq 1550$  тыс.м<sup>3</sup>/мес. По основному карьере в плановые показатели (рис.2) заложено заведомое увеличение технологического расхода электроэнергии, при этом выход на его оптимальный уровень возможен только при уровне месячной производительности  $Q \geq 1575$  тыс.м<sup>3</sup>.

Устойчивые показатели технологического расхода электроэнергии приходится на  $Q = 1450 \div 1550$  тыс.м<sup>3</sup>. При снижении производительности фактический технологический расход электроэнергии по основному карьере возрастает. В целом удельный расход электроэнергии по основному карьере оказывается незначительно больше плановых показателей, приближаясь к оптимальному значению при месячной производительности  $Q = 1500$  тыс.м<sup>3</sup>.

По участку экскавации в плановые показатели (рис.3) заложено увеличение технологического расхода электроэнергии, при этом выход на оптимальный уровень возможен только при месячной производительности  $Q \geq 1525$  тыс.м<sup>3</sup>. Устойчивые показатели технологического расхода электроэнергии приходится на  $Q = 1475 \div 1525$  тыс.м<sup>3</sup>/мес. По показателям удельного расхода электроэнергии на участке экскавации за контрольный период на плановые показатели выйти не удалось.

На участке бурения устойчивый уровень соответствия плановых и фактических показателей технологического и удельного расходов электроэнергии достигается при месячной производительности  $= 27,5 \div 28,5$  тыс.п.м. При этом в случае снижения производительности технологический и удельный расход электроэнергии возрастает.

В результате статистического анализа режимов энергопотребления в целом по РОР и на технологических участках было установлено следующее.

Общий расход электроэнергии на РОР состоит из нескольких частей:

– расход на основной технологический процесс. Данный расход в определенной мере зависит от простоев оборудования, т.е. если экскаватор не грузит или буровой станок не бурит, а двигатель генератора и вспомогательное оборудование при этом потребляют электроэнергию, т.е. расход электроэнергии имеется, а производство стоит. Для объективной оценки в любой период времени как экономично работала каждая единица техники (сколько машино-часов отработано, сколько отгружено руды (породы) или пробурено метров и сколько при этом затрачено электроэнергии) необходимо, чтобы велся индивидуальный учет расхода электроэнергии по каждому экскаватору или станку;

– расход на собственные нужды (освещение, отопление, вспомогательное оборудование, механические мастерские, столовая и т.д.). Данный расход электроэнергии носит сезонный характер и зависит от температуры окружающей среды, количества осадков, освещенности и др.;

– потери электроэнергии в линиях электропередачи. Данный расход электроэнергии обусловлен значительной удаленностью от ближайшего источника электроэнергии Гусиноозерской ГРЭС (407 км).

В связи с этим установлено, что при снижении объемов производства доля расхода электроэнергии на собственные нужды и потери в линии электропередачи по отношению к общему расходу на основной технологический процесс растут и, как следствие, растет удельный расход. При увеличении объемов производства данный показатель улучшается.

Рудник открытых работ ведет горные работы в смещенной зоне первичных и вторичных руд со значительным колебанием содержания руды, что влечет за собой более тщательный подход к шихтовке руды, подаваемой на обогатительную фабрику. Так по объемным показателям достаточно было бы трех экскаваторов для подачи руды на ОФ, но для снижения колебания по содержанию необходимо держать четыре – пять экскаваторов с неполной загрузкой, что приводит к повышенному расходу электроэнергии.

При составлении плана удельного расхода электроэнергии невозможно учесть такие факторы, как качество забоя, проходка съезда, перекидка горной массы, климатические условия (суровая зима) и т.д. Поэтому не удается выходить на плановый показатель в зимний период ведения работ.

Плановые показатели технологического и удельного расхода рассчитываются в ноябре-декабре, дифференцируются по месяцам и кварталам на основании плана производства комбината и результатам геологоразведочных работ. При этом всегда имеет место расхождение ожидаемого и фактического качества руды, что приводит к изменению плановой разработки рудного тела, т.е. добыча ведется с других участков.



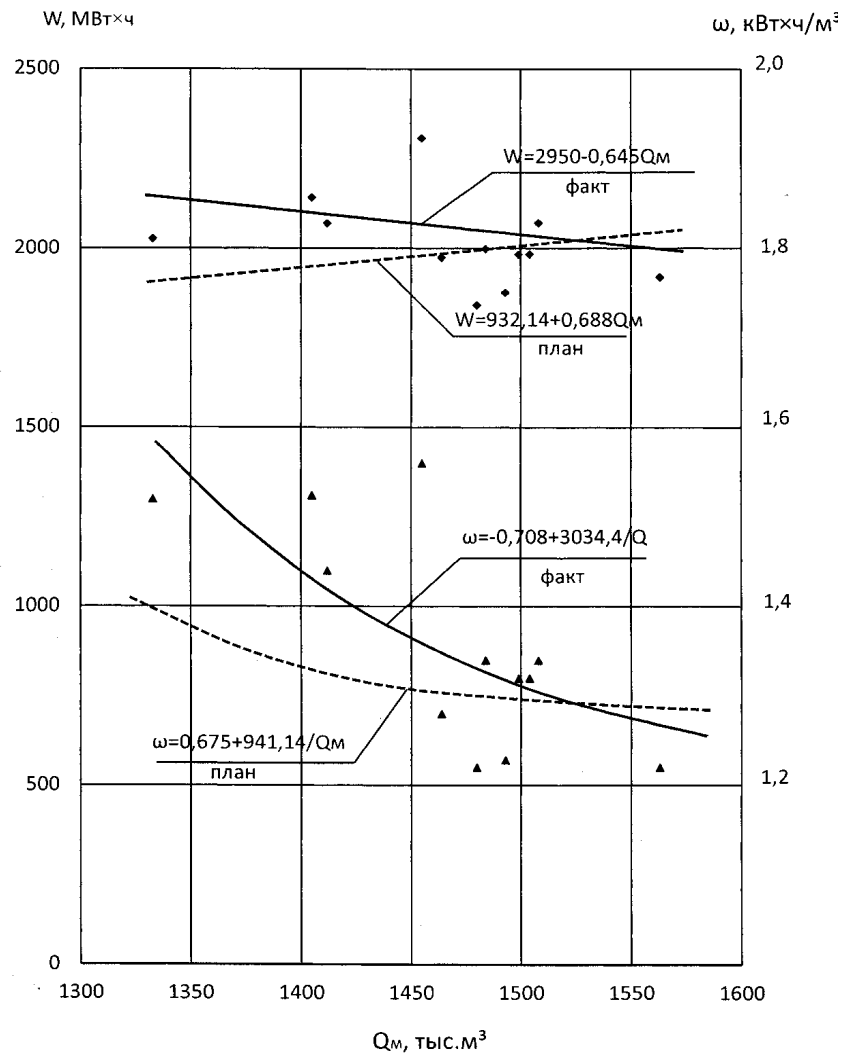


Рис.1. Зависимости технологического и удельного расхода электроэнергии от месячной производительности по ПОР

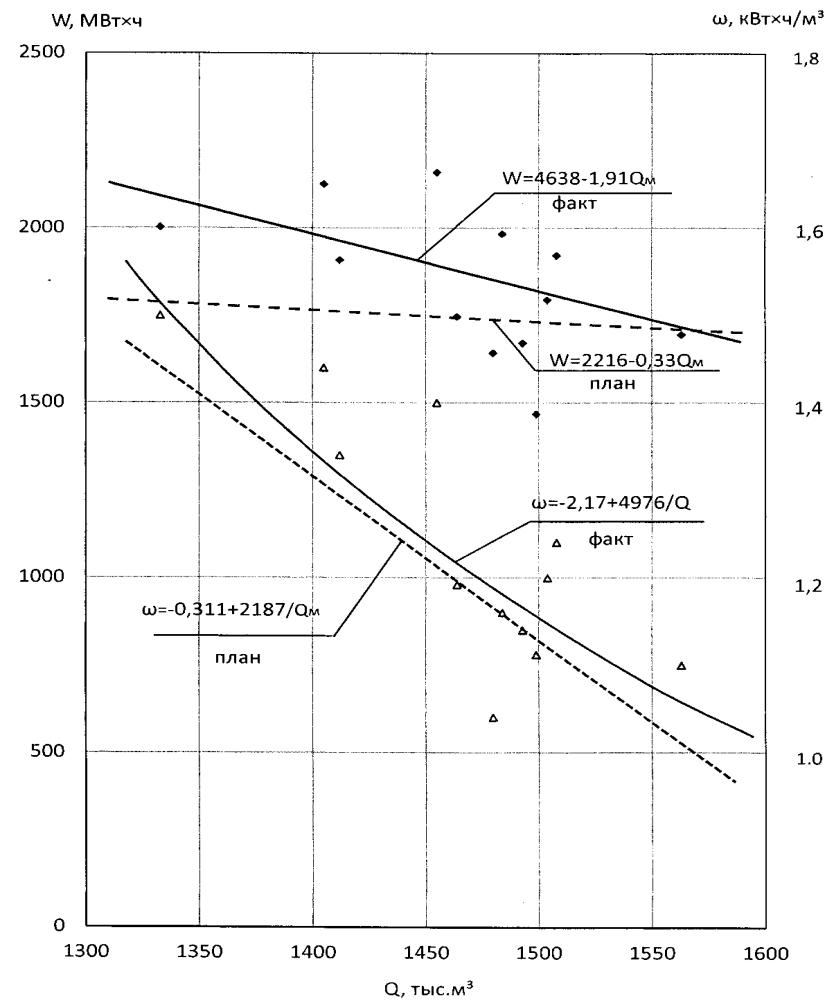


Рис.2. Зависимости технологического и удельного расхода электроэнергии по основному карьере

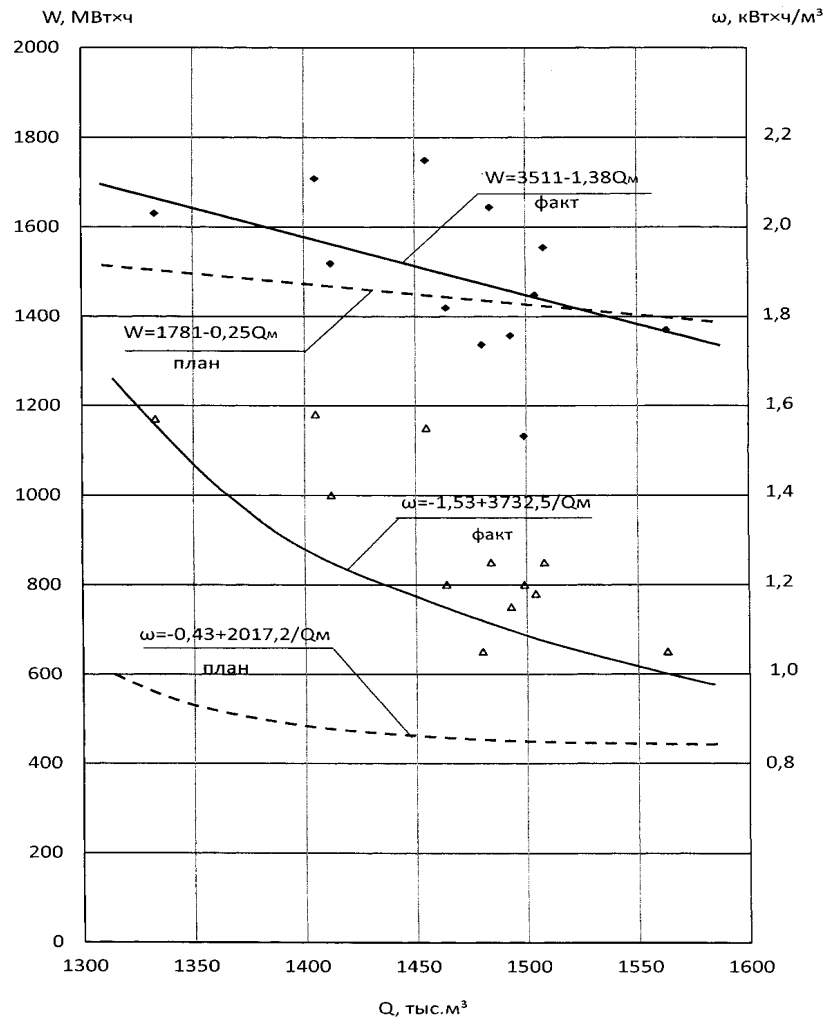


Рис.3. Зависимость расхода электроэнергии по участку экскавации от производительности по горной массе

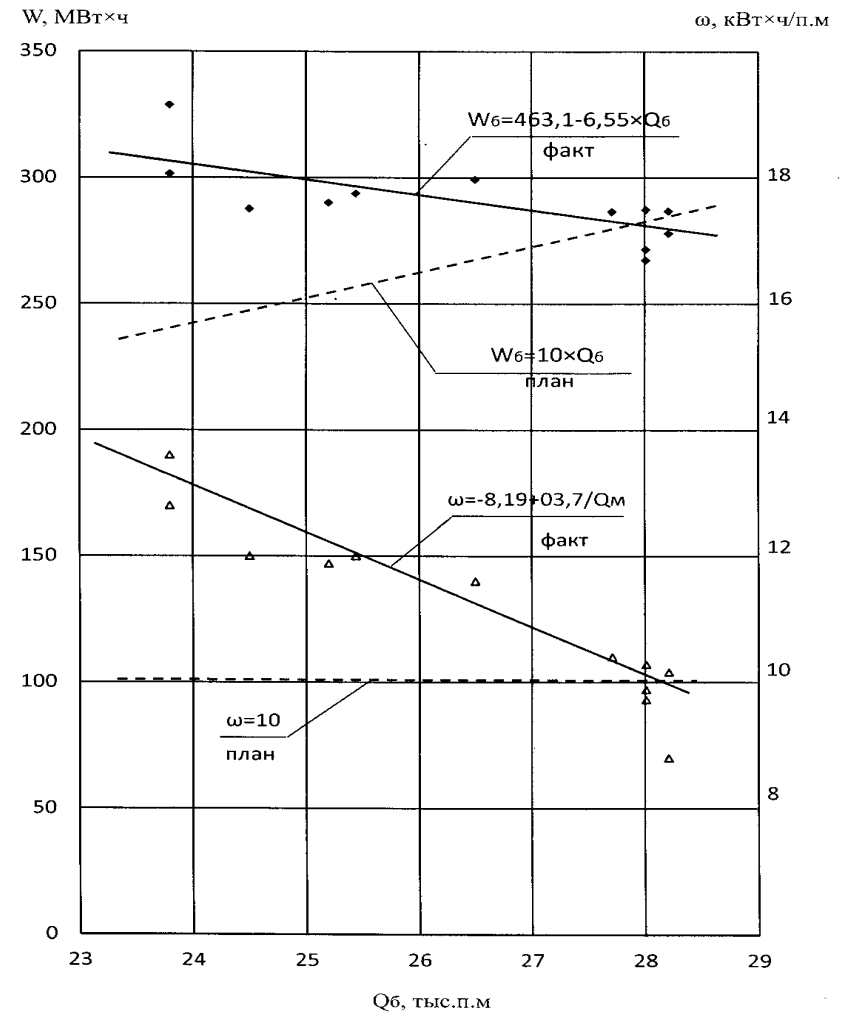


Рис.4. Зависимости технологического и удельного расхода электроэнергии по буровому участку от производительности по бурению

Постоянно ведется сверхплановое шихтование руды, что обуславливает дополнительный расход электроэнергии. Удельный расход электроэнергии и как следствие общий расход энергии (денежные затраты) утверждаются советом совместного предприятия и не подлежат изменению (корректировки) в течение года. Все это обуславливает расхождение показателей сезонного планирования экономической службой рудника, ПТО и ОГЭ и результатов фактического производства.

В конце года количественный общий расход электроэнергии растет в связи с выполнением дополнительного задания сверх плана, в то время, как затраты на его выполнение не планируются и принимаются как факт получения дополнительной продукции (медного концентрата).

Полученные в результате анализа энергетические характеристики могут быть использованы при планировании и прогнозировании электропотребления по технологическим участкам и обосновании норм расхода электроэнергии.

### Анализ динамики электропотребления на технологических участках меднорудного карьера

*Пичуев А.В., Петров А.А., Овсянников Н.Б.*

*Московский государственный горный университет, Россия, Москва*

[allexstone@mail.ru](mailto:allexstone@mail.ru)

Месторождение медно-молибденовых руд Эрдэнэтийн-Овоо расположено в Монголии, в 400 км к северо-западу от г. Улан-Батор, на территории Булганского аймака, и представляет собой штокверк, который в плане имеет размер 2,5÷1,3 км.

Горно-обогатительный комбинат "Эрдэнэт" является объектом монголо-российского сотрудничества, осуществляемого в рамках совместного предприятия. Он включает в себя рудник открытых работ, обогатительную фабрику, тепловую станцию, ремонтно-механический завод с литейным производством, другие объекты вспомогательного назначения. К ГОКу подведена ЛЭП от Гусиноозёрской ГРЭС (407 км).

Объектом исследования являлись плановые и фактические данные электропотребления технологических участков в зависимости от объемов добываемого полезного ископаемого. Одним из аспектов энергетического обследования являлся анализ динамики электропотребления по отдельным участкам и в целом по РОР с целью оценки характера изменения основных показателей электропотребления и установления соответствующих зависимостей.

Исследования выполнялись методами статистической обработки данных с использованием спектрального анализа и представления временных зависимостей в виде рядов Фурье.

Уравнения динамики изменения месячной производительности по общему объему добываемой руды и соответствующему расходу электроэнергии по основному карьеру, включающем в себя участок буровой, участок экскавации участок дороги и отвалов, завод взрывчатых ВВ, УЦРГО, УЦРЭ, центральный добычной участок, дорожно-строительное управление и в целом по РОР, приведены в табл.1. Также указаны коэффициент корреляции и величина среднеквадратического отклонения расчетных и фактических параметров.

Динамика изменения технологического расхода электроэнергии по участку экскавации и по буровому участку представлена соответственно на рис.1 и рис.2.

Анализ динамики плановых показателей производительности показывает ее достаточную стабильность в течение года ( $Q_{\text{пл.}}^3/\text{мес.}$ ) с незначительным снижением в период с середины октября по конец февраля ( $Q_{\text{пл.}}^3$  - декабрь). Наибольшая интенсивность работ приходится на период с марта по сентябрь ( $Q_{\text{пл.}}^3$  - июнь). Фактический рост электропотребления в указанные периоды по отношению к плановым показателям оказываются значительно выше:  $Q_{\text{мэкс.фэкт.}}^3 = 1563 \text{ тыс. м}^3$ . При этом следует отметить, что выйти на оптимальный уровень по удельному расходу электроэнергии, соответствующему фактической месячной производительности  $Q_{\text{опт.}} = 1550 \text{ тыс. м}^3$ , удалось только 1 раз - в июле. В целом динамика производительности имеет выраженный сезонный характер, с тенденцией снижения в осеннее-зимний период с небольшим ростом декабре, обусловленным сверхплановой добычей.

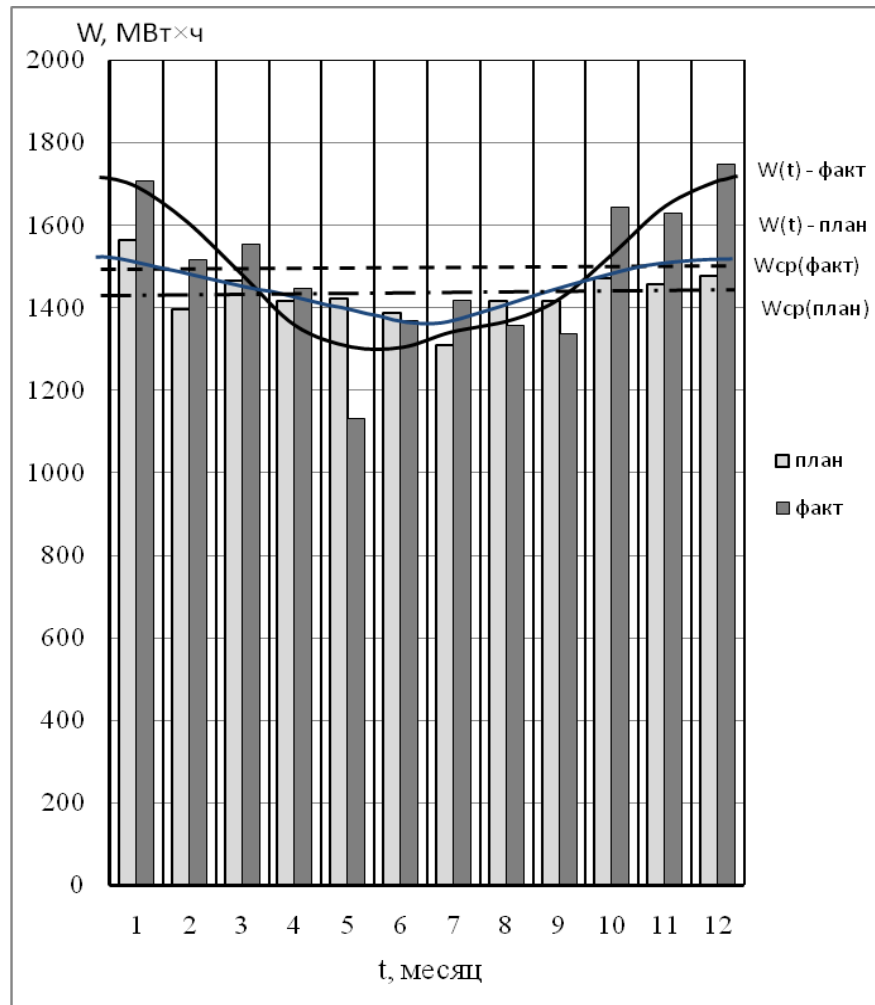


Рис.1. Динамика изменения технологического расхода электроэнергии по участку экскавации

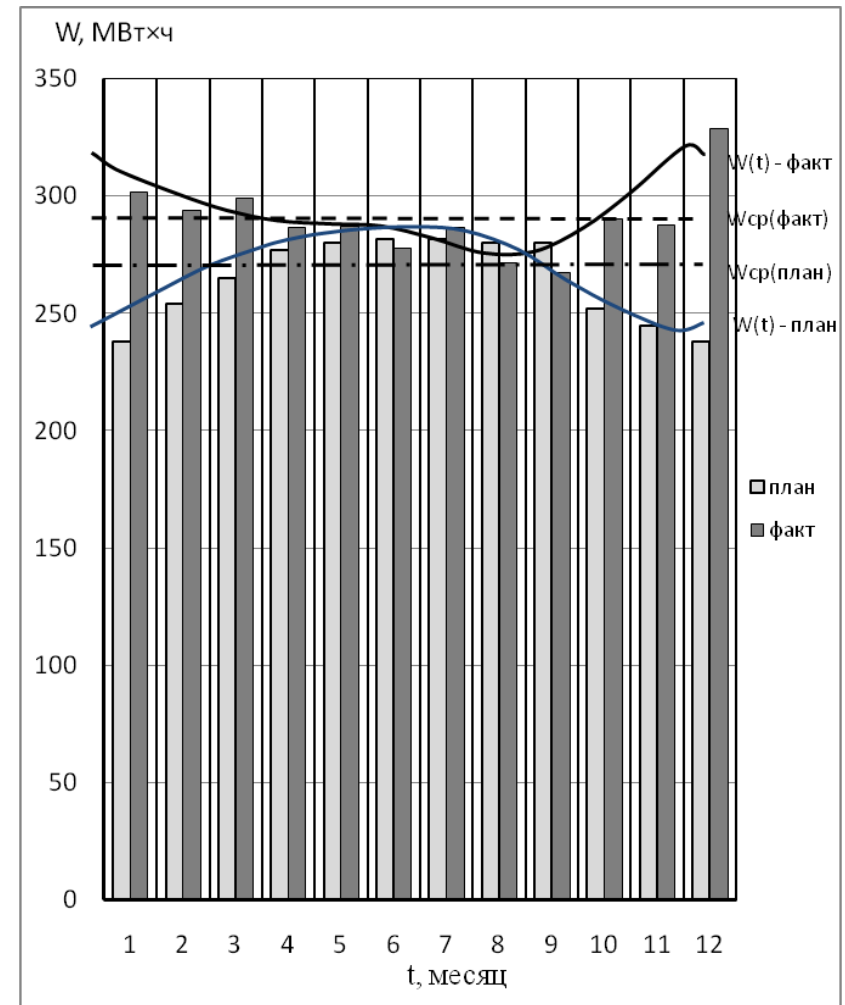


Рис.2. Динамика изменения технологического расхода электроэнергии по буровому участку

Таблица 1  
Динамика изменения расхода электроэнергии и производительности участков по РОР в 2012 г.

Показатель		Уравнение	$R$	$\sigma$
Производительность по горной массе, тыс.м <sup>3</sup>	план	$Q = 1375 - 69,56\cos t + 42,25\sin t - 28,75\cos 2t + 29,59\sin 2t$	0,92	26,72
	факт	$Q = 1466,7 - 48,62\cos t + 33,59\sin t - 11,25\cos 2t + 6,21\sin 2t$	0,75	38,14
Расход электроэнергии по РОР, МВт×ч	план	$W = 1878 - 19,17\cos t + 52,72\sin t - 12,83\cos 2t + 37,54\sin 2t$	0,82	34,21
	факт	$W = 2016,1 + 134,37\cos t + 7,97\sin t + 43,25\cos 2t - 54,46\sin 2t$	0,9	51,77
Расход электроэнергии по основному карьеру, МВт×ч	план	$W = 1756,6 + 59\cos t - 9,1\sin t - 12,59\cos 2t - 3,32\sin 2t$	0,75	37,92
	факт	$W = 1843,75 + 231,47\cos t - 86,9\sin t + 49\cos 2t - 26\sin 2t$	0,9	87,7
Расход электроэнергии по участку экскавации, МВт×ч	план	$W = 1432,4 + 60,4\cos t - 15,9\sin t - 9,1\cos 2t - 7,07\sin 2t$	0,76	38,7
	факт	$W = 1488,75 + 185,8\cos t - 91,3\sin t + 34,3\cos 2t - 16,7\sin 2t$	0,87	85,5
Расход электроэнергии по буровому участку, МВт×ч	план	$W = 264,5 - 21,54\cos t + 8,6\sin t - 2,8\cos 2t + 4,96\sin 2t$	0,98	3,02
	факт	$W = 289,8 + 15,78\cos t + 1,72\sin t + 4,5\cos 2t - 7,26\sin 2t$	0,84	8,2

Анализ динамики технологического расхода электроэнергии в целом по РОР показывает, что в период с февраля по сентябрь плановые и фактические показатели практически совпадают, а в зимний период имеется значительное расхождение, что обусловлено сокращением объемов добычи (на 12,6%) и повышенным электропотреблением в отопительный период (на 22,1% выше плановых показателей).

Наиболее выражена сезонность в динамике электропотребления участка экскавации и на буровом участке (рис.1 и рис.2). Если в период с апреля по сентябрь плановые и фактические показатели электропотребления практически совпадают, то с октября по март эти расхождения значительны и достигают максимума в декабре-январе (15,5% - по экскавации; 27,5% - по бурению).

В общем балансе электропотребления на долю участка экскавации приходится 81% , на долю участка буровой – 16%, на прочие – 3%.

Сравнительный анализ динамики плановых и фактических показателей электропотребления по центральному участку показал, их фактическое совпадение, за исключением мая и декабря, когда участок был загружен с превышением на 120% (фактически в период с октября по февраль участок законсервирован).

Динамика изменения технологического расхода электроэнергии по участку дороги и отвалов по плановым и фактическим показателям практически совпадает. При этом сохраняется общая тенденция превышения фактического расхода электроэнергии над плановыми в зимний период времени (на 45% - в январе).

Динамика изменения технологического расхода электроэнергии по заводу ВВ также имеет явно выраженный сезонный характер с превышением фактических показателей в зимний период от 18% до 36%.

Динамика изменения технологического расхода электроэнергии по ДСУ не отражает зависимости между плановыми и фактическими показателями, т.к. первые устанавливаются фиксированными на одном уровне (8000 кВт×ч/мес.), а вторые – в зависимости от объемов текущего строительства и технологических возможностей ДСУ (от 7500 до 35000 кВт×ч/мес.).

Фактические показатели удельного расхода электроэнергии технологических участков, отнесенные к общей производительности карьера РОР за прошедший период составили: на участке экскавации – 1,015кВт×ч/м<sup>3</sup>, на участке буровой – 0,198 кВт×ч/м<sup>3</sup>, в целом по карьеру – 1,257 кВт×ч/м<sup>3</sup>, в целом по РОР – 1,375 кВт×ч/м<sup>3</sup>.

В результате анализа электропотребления на технологических участках и в целом по РОР были получены статистические зависимости в виде динамических рядов, позволяющие выполнить сравнительный анализ плановых и фактических показателей расхода электроэнергии и соответствующей производительности по объемам добываемой руды.

Использование данных зависимостей наглядно показывает сезонный характер энергопотребления, позволяет на стадии планирования учесть данные наблюдений за предшествующие календарные периоды и сбалансировать режимы работы технологических участков на последующие периоды работы, обосновать нормы удельного расхода электроэнергии.

#### **Оптимальная загрузка газотурбинных и газопоршневых агрегатов**

*Обоскалов В.П., Кирпикова И.Л., Померанец Д.И. \**

*Уральский федеральный университет, Россия, г. Екатеринбург*

*\*ОАО «ЕЭСК», Россия, г. Екатеринбург*

[upo1704@mail.ru](mailto:upo1704@mail.ru)

Экономическая эффективность устройств распределенной генерации, к числу которых в первую очередь относятся газотурбинные и газопоршневые установки (в дальнейшем обобщенно называемые как газодвигательные установки – ГДУ), зависит от стратегии его загрузки. Здесь возможны различные сценарии: работа ГДУ в пиковой зоне графика цены на рынке электроэнергии (ЦГ), в базе с непрерывной генерацией тепловой и электрической энергии, по переменному графику, согласованном с суточным графиком цены, в качестве резервного источника питания и др. В любом случае стратегия загрузки ГДУ в течение суток и в зависимости от сезонности является значимым фактором при технико-экономическом обосновании их сооружения.

Качественное решение о пропорциональности дохода и коэффициента корреляции  $k(\varpi, P)$  между ценой и мощностью

1

$$\begin{aligned} D &= \bar{\varpi} \bar{P} + \text{Cov}(\varpi, P) = \bar{\varpi} \bar{P} + \sigma_{\varpi} \sigma_P k(\varpi, P) = \vartheta \bar{\varpi} \bar{P}, \\ \vartheta &= 1 + v_{\varpi} v_P k(\varpi, P) \end{aligned} \quad (1)$$

не всегда соответствует максимальному чистому дисконтированному доходу (ЧДД). В выражении (1)  $\bar{\varpi}, \bar{P}, \sigma_{\varpi}, \sigma_P, v_{\varpi}, v_P$  – математические ожидания, среднеквадратические отклонения коэффициенты вариации соответственно цены и мощности ГДУ;  $\text{Cov}(\varpi, P)$  – корреляционный момент между ценой и мощностью.

Нельзя делать вывод, что максимальный ЧДД соответствует  $k(\varpi, P) = 1$ . Наличие дисперсии  $\sigma_P^2$  генерации при пропорциональном регулировании  $P_t = c \cdot \varpi_t$  приводит к отклонению генерируемой мощности от максимальной и, в результате, к снижению среднегодовой выработки электроэнергии, что в конечном итоге может привести к снижению ЧДД.

Действительно, рассмотрим две стратегии работы ГДУ при производстве только электроэнергии:

работа ГДУ в базе с максимальной загрузкой. При этом корреляционный момент  $\text{Cov}(\varpi, P) = 0$ ;

работа ГДУ по графику рыночной цены  $P_t = c \cdot \varpi_t$ ,  $\sigma_P \neq 0$  При этом  $k(\varpi, P) = 1$ .

При анализе эффективности текущей загрузки РГ основным критерием является максимум суточной прибыли, которую в режиме производства только электроэнергии, с учетом (1) можно записать в виде:

$$\Pi = \sum_{t=1}^{24} \varpi_t P_t - \sum_{t=1}^{24} B(P_t) = \vartheta \cdot \bar{\varpi} \cdot W - \sum_{t=1}^{24} B(P_t). \quad (2)$$

Здесь  $B(P)$  – характеристика затрат на производство электроэнергии (расходная характеристика), где превалирует топливная составляющая. При линейности  $B(P) = cP$ , где  $c$  – себестоимость производства электроэнергии топливные затраты также можно представить через математическое ожидание мощности, в результате чего ((2) преобразуется к виду

$$\Pi = (\vartheta \cdot \bar{\varpi} - c) W.$$

В первом случае (работа с максимальной нагрузкой) коэффициент корреляции между ценой электроэнергии и нагрузкой генератора равен нулю. Отсюда, согласно (1)  $\vartheta = 1$  и суточная прибыль

$$\Pi_1 = 24(\bar{\varpi} - c) P_{\max}^{\Gamma} \quad (3)$$

Данное соотношение математически доказывает почти тривиальный вывод – в силу аддитивности функции прибыли, при неучете пусковых характеристик, для выполнения условия  $\Pi_t > 0$  необходимо отключать ГДУ на интервалах где рыночная цена электроэнергии ниже себестоимости ее производства на ГДУ. Выражение ((3) было получено при условии неизменности нагрузки на суточном интервале. Однако оно справедливо для интервала любой длительности, в том числе и часового. Отсюда сделанный вывод имеет обобщающий характер.

Во втором варианте (работа генератора с переменной нагрузкой) наибольший экономический эффект имеет место при коэффициенте корреляции между ценой электроэнергии и мощностью генератора равном единице (мощность ГДУ пропорциональна цене). В этом случае

$$\Pi_2 = \left[ (1 + v_{\varpi} v_P) \bar{\varpi} - c \right] W. \quad (4)$$

Принимая во внимание инженерное правило двух сигм (правило, приемлемое для определения расчетных нагрузок в системе электроснабжения, приближенно можно считать

$$\bar{P} \approx P_{\max} - 2\sigma_P = P_{\max} - 2v_P \bar{P}.$$

Отсюда

$$\bar{P} = \frac{P_{\max}}{1 + 2\nu_P},$$

а выражение (4) можно записать в виде

$$\Pi_2 = 24 \left[ \bar{c} - c + \nu_{\text{ц}} \nu_P \bar{c} \right] \frac{P_{\max}}{1 + 2\nu_P}.$$

Повариантная разница прибыли

$$\Pi_1 - \Pi_2 = 24 P_{\max} \left[ \bar{c} - c - \left( \bar{c} - \beta_{\text{ц}}^T + \nu_{\text{ц}} \nu_P \bar{c} \right) \frac{1}{1 + 2\nu_P} \right].$$

Эта разность положительна, если

$$\left( \bar{c} - \beta_{\text{ц}}^T \right) (1 + 2\nu_P) - \left( \bar{c} - \beta_{\text{ц}}^T + \nu_{\text{ц}} \nu_P \bar{c} \right) > 0.$$

Простые математические преобразования приводят к условию:  $\Pi_1 - \Pi_2 > 0$  при

$$\sigma_{\text{ц}} < 2(\bar{c} - c).$$

Таким образом, на интервалах, где цена электроэнергии выше себестоимости ее производства на ГДУ, при относительно малом колебании суточной цены оптимальной стратегией является работа ГДУ в базе, с максимальной загрузкой, в то время, как при достаточно большой дисперсии цены – работа ГДУ по графику цены (мощность ГДУ пропорциональна цене).

Пусть  $\text{ц} = 1,5 \text{ р/кВтч}$ ;  $\text{с} = 1,2 \text{ р/кВтч}$ . Здесь работа ГДУ в базе выгодна, если  $\sigma_{\text{ц}} < 0,6 \text{ р/кВтч}$  или если рыночная цена электроэнергии колеблется в пределах  $(0,3 - 2,7) \text{ р/кВтч}$ . Однако, если цена топлива увеличивается на 20%  $\text{с} = 1,44 \text{ р/кВтч}$  диапазон экономичности работы ГДУ в базе сокращается до  $(1,33 - 1,62) \text{ р/кВтч}$ , согласно критерию  $\Pi_1 - \Pi_2 > 0$  необходимо  $\sigma_{\text{ц}} < 0,06$ . Реальное суточное колебание цены значительно больше, и становится выгодным режим загрузки, пропорциональной цене.

Выше показано, что при определенных условиях работа ГДУ с постоянной (максимальной) генерацией более выгодна, нежели работа с пропорциональной загрузкой. Возникает вопрос об оптимальности максимальной нагрузки. Возможно, что работа с постоянной нагрузкой, отличной от максимальной, более эффективна, нежели работа с максимальной загрузкой.

При фиксированной и функционально неизменной на часовом интервале нагрузке ГДУ суточная прибыль:

$$\Pi = \sum_{t=1}^{24} \Pi_t = \sum_{t=1}^{24} \left[ \text{ц}_t P_t - \text{ц}_T B(P_t) \right] = \sum_{t=1}^{24} \left[ \text{ц}_t - \text{ц}_T b(P_t) \right] P_t, \quad (5)$$

где  $B(P_t)$ ,  $b(P_t) = B(P_t) / P_t$  – соответственно часовой и удельный расход топлива,

соответствующий мощности  $P_t$ .

При отсутствии интегральных ограничений в силу аддитивности (5)  $\max(\Pi) = \sum_{t=1}^{24} \max(\Pi_t)$ .

Отсюда оптимальным режимом работы ГДУ является работа с мощностью, в каждый момент времени, удовлетворяющей условию минимального удельного расхода топлива

$$\max \left[ \text{ц}_t^S - \text{ц}_T b(P_t^F) \right] = \text{ц}_t^S - \min \left\{ \text{ц}_T b(P_t^F) \right\}.$$

Нелинейность характеристики затрат

Известно, что расходная характеристика энергоагрегата близка к квадратичной



$$B(P) = aP^2 + bP + c.$$

Отсюда характеристика удельного расхода топлива имеет гиперболический характер

$$b(P) = B(P)/P = aP + b + c/P.$$

Однако наличие линейной составляющей приводит к тому, что  $b(P)$  имеет локальный минимум, соответствующий условию

$$\frac{d}{dP}b(P) = a - c/P^2 = 0.$$

Этому условию удовлетворяет мощность.

Можно показать, что данной мощности соответствует максимальный КПД установки. Действительно, КПД, выраженный через энергетическую характеристику топлива

$$\eta = W / \beta[B(P)t] = \frac{P}{\beta B(P)} = \frac{1}{\beta b(P)}, \quad (6)$$

где  $\beta$  – энергетический коэффициент топлива (для натурального газа  $\beta = 10,8$  кВтч/м<sup>3</sup>).

Согласно ((6) минимальному удельному расходу (условие **Ошибка! Источник ссылки не найден.**) соответствует максимальный КПД, что и требовалось показать.

В свою очередь, КПД установки, является функцией от мощности ГДУ. При этом согласно техническим характеристикам ГПУ и ГТУ максимальный КПД соответствует максимальной мощности. Отсюда если рыночная цена электроэнергии выше себестоимости ее производства на ГДУ, то оптимальным режимом работы является работа с максимальной мощностью. Следует отметить, что в силу достаточно большой пологости удельных затрат вблизи точки минимума, небольшое отклонение мощности ГДУ от оптимальной практически не влияет на экономичность режима.

Как было сказано выше, если рыночная цена электроэнергии ниже себестоимости ее производства на ГДУ, то ГДУ должен быть отключен. В результате формируется экономический диапазон () мощности генератора, где минимальная (по критерию экономичности)нагрузка определяется из условия

$$\alpha_T b(P_{\min}) = \alpha, \quad (7)$$

$\alpha$  – условием максимальности КПД.

Режим когенерации

Энергоснабжение от когенерационной установки позволяет снизить ежегодные расходы на электро- и теплоснабжение по сравнению с централизованным энергоснабжением примерно на \$100 за каждый кВт номинальной электрической мощности когенерационной электростанции, в том случае, когда когенерационная установка работает в базовом режиме генерации энергии (при 100% нагрузке круглогодично). Это возможно, когда когенерационная установка питает нагрузку в непрерывном цикле работы, или если она работает параллельно с сетью, с возможностью выдачи энергии в сеть без ограничения.

Тепловая мощность ГДУ, как правило, пропорциональна электрической, . Поскольку электрическая мощность является первичной по отношению к тепловой, то удельные затраты определяются электрической мощностью и основной вывод об экономичности максимальной нагрузки распространяется и на режим когенерации. Некоторая специфика относится к зоне минимальной (по критерию экономичности)нагрузки.

Условие **Ошибка! Источник ссылки не найден.** для режима когенерации принимает вид

$$\Pi = \sum_{t=1}^{24} \Pi_t = \sum_{t=1}^{24} \left[ \alpha_t^{ЭЭ} P_t^{ЭЭ} + \alpha_t^{ТЭ} P_t^{ТЭ} - \alpha_T B(P_t^{ЭЭ}) \right] = \sum_{t=1}^{24} \left[ (\alpha_t^{ЭЭ} + \alpha_t^{ТЭ} \mu) P_t^{ЭЭ} - \alpha_T B(P_t^{ЭЭ}) \right]$$

Отсюда условием экономической необходимости отключения ГДУ является

$$(\alpha_t^{ЭЭ} + \alpha_t^{ТЭ} \mu) \geq \alpha_T b(P_t^{ЭЭ})$$

или

$$b(P_t^{ЭЭ}) \leq \frac{C_t^{ЭЭ} + C_t^{ТЭ} \mu}{C_T}$$

Нетрудно видеть, что экономический диапазон мощности генератора в режиме когенерации расширяется по сравнению с диапазоном, определяемым (7). Это объясняется снижением удельных затрат в режиме когенерации.

Вывод. Математически доказано, что основным режимом работы газотурбинных и газопоршневых установок является режим максимальных нагрузок при условии, что себестоимость производства энергии ниже ее рыночной цены.

#### Список литературы:

1. Обоскалов В.П., Померанц Д.И. Оценка эффективности сооружения распределённой генерации с учетом динамики цен на энергоносители //Промышленная энергетика, 2013. №9. С.2-7.

### Проблемы обеспечения надёжность электроснабжения города Душанбе и пути его решения Рахимов Ф.М., Касобов Л.С.

Таджикский Технический Университет имени академика М.С. Осими  
[loiknstu@mail.ru](mailto:loiknstu@mail.ru)

Для питания потребителей, расположенных на территории городов, создаются системы электрических сетей, которые по сравнению с электрическими сетями энергетических систем имеют свои характерные особенности. Сети образуют специфические системы электроснабжения городов. Различают электро-снабжающие сети напряжением 35 – 110 кВ и выше и распределительные сети напряжением 0,4 и 6 -10 кВ.

До недавнего времени проблема надежности ограничивалась вопросами обеспечения передачи потребителю количества электрической энергии в рассматриваемый промежуток времени. С этой целью изучались закономерности появления различных нарушений в системе электроснабжения, на основе которых имеется возможность получить показатели надежности [2].

В настоящее время электро-снабжающую сеть города Душанбе составляет сети 35 – 110 кВ и распределительные сети 0,4 и 6-10кВ. Данные ЛЭП городские электрические сети г. Душанбе приведем в табл. 1 [1].

Таблица 1. Данные ЛЭП городские электрические сети г. Душанбе

Класс напряжений, кВ	Протяженность, км		
	Всего ЛЭП	Из них	
		ВЛ	КЛ
110	27	27	--
35	28,831	15	13,831
6 - 10	1006,575	241,936	764,639
0,4	1610,087	904,603	705,484
Итого:	2672,493	1188,539	1483,954

**Внешнее электроснабжения.** Основными питающими линиями электрической системы города являются ВЛЭП – 110кВ которые соединяют электрической сети города с энергетической системой из трех узловых подстанции («Новая» -220/110/10кВ, «Орджоникидзеабд-2» 220/110/35/6кВ и «Джангал» 220/110/35/6кВ) и все линии представляют собой разомкнутую кольцо. Такая схема электроснабжения естественно не может полностью обеспечивать надежность электроснабжения города. Также от этих подстанции питаются и другие города и близ лежащие районы. Подстанции в нормальных режимах имеют некоторую загрузку, что при отключении одного трансформатора другая не может обеспечивать аварийную или режимную перегрузку.

**Внутреннее электроснабжение.** Согласно законам надежности для обеспечения надежности и резервирования генерирующей мощности при нарушении внешней сети электроснабжения, требуется строительство генерирующих мощностей непосредственно вблизи центра нагрузки, которая могла бы обеспечивать максимума нагрузки при аварии. В городе существует Душанбинская ТЭЦ мощностью 220 МВт (110/35/6кВ) которая составляет примерно 41,1 % мощности максимум нагрузки (рис. 1) или 21,1% от установленной мощности всех

подстанций города. Но в связи с нехваткой топливных ресурсов последние годы не вырабатывается электрическая энергия и его роль в энергообеспечении города незначительно.

По состоянию на 2012 года электроснабжение города Душанбе осуществляется через 32 понизительной подстанции 110/35/10/6кВ общей установленной мощности 1041,3 МВА. Годовая потребляемая электроэнергия города составила по итогам 2012 года 2663,6 млн. кВт/час [1]. Но анализы показывают, что это количество потребленной электроэнергии может быть на 15-18% больше, если не многочисленные перебои в электроснабжении потребителей. Эти перебои связаны с тем, что последние годы город бурно развивается и ввод питающих подстанции осуществляется с опозданием. Другая причина в том, что как выше было сказано в городе практически не функционируют другие источники энергообеспечения (всего 10-15% население города обеспечивается теплом).

Из суточного графика электропотребления города видно, что между зимним и летним графиком разница мощности составляет 42,4 – 48,1% (рис. 1).

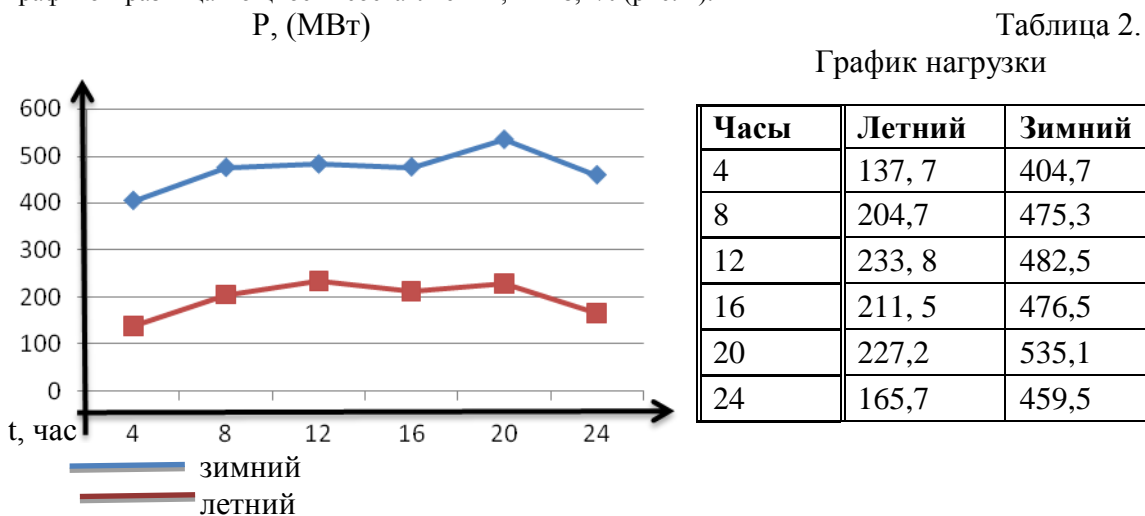


Рис. 1. Суточный график нагрузки потребления города Душанбе.

Максимальная мощность в зимнем периоде на графике нагрузки (рис. 1) электропотребления города, составляет 535,1 МВт. Из установленной мощности подстанции города в зимнем максимуме используется лишь более 50%. Но, несмотря на это проблема надёжности электроснабжения города Душанбе является серьёзной и на правительственном уровне рассматривается методы решение этого вопроса.

При анализе данных о режимах работы каждой подстанции в отдельности обнаружилось следующие недостатки в эксплуатации и организации оперативной управления режима нагрузки трансформаторов:

- распределение нагрузки по подстанциям неравномерно в некоторых из них нагрузка превышает норму;
- при аварийных отключениях одного из трансформаторов другой трансформатор не может обеспечивать условию аварийных перегрузок;
- сети в основном проработали свои ресурсы и при незначительных перегрузках или перенапряжениях выходят из строя;
- при летних плановых отключениях, во время профилактических и капитальных ремонтов невозможно по сетям перераспределять переток мощности;
- из-за отсутствия анализа, скоординированного оперативного управления режима, и нехватки достоверного информация часто имеют место использование сетей в перегруженном режиме;

- также отсутствует компенсация емкостных токов (отсутствие дугогасящих реакторов).

**Пути решения.** В итоге можно прийти к такому выводу, что для обеспечения надёжности режима электроснабжения города Душанбе необходимо выполнить следующие:

Создание кольца между узловых подстанций;

В плане по организационно – экономические мероприятия принят меры по оперативному решению обеспечения живучести, безопасности и восстанавливаемости системы. Требования по надёжности должны носить не рекомендательный, а обязательный, предписывающий характер;

Проектирование схем электроснабжения города, которое должно выполняться с выявлением очередности развития на срок не менее 10 лет с учетом генеральных планов развития городов, которые выполняются на перспективу 25—30 лет;

Проектирование систем электроснабжения городов с резервированием (с учетом внешнего и внутреннего электроснабжения) в размере не менее 10% от максимальной нагрузки, предусмотренной имеющимися планами перспективного развития городского хозяйства. При этом следует предусматривать достаточную пропускную способность электрических сетей всех уровней с учетом необходимого резервирования;

Разработку и реализацию в пределах своей компетенции планов по предотвращению и ликвидации нарушений электроснабжения города;

Пересмотреть правила взаимоотношений ЦДС ОАХК «Барки Точик» с ОДС ОАО «ШБШ.Душанбе»;

Внедрение цифровых регистров параметров режима и технологии системы мониторинга запасов устойчивости и технологии SCADA;

В области обеспечения высокой эффективности профессиональной деятельности необходимы:

- разработка и внедрение эффективной методики подбора и подготовки кадров;
- создание собственных систем профессиональной подготовки, переподготовки, поддержания и повышения квалификации персонала;
- разработка методического и правового обеспечения системы подготовки и аттестации персонала;
- совершенствование и внедрение программных средств обучения и тестирования знаний;
- обучение специалистов на основе применения тренажеров

#### Список литературы:

1. Годовой технический отчет за 2012 год ОАО «ШБШ.Д». Душанбе -2013г. 121с.
2. В.А. Козлов, «Электроснабжение городов», Л. Энергия. 1977. 277с.
3. К.К. Волчков, В.А. Козлов, Эксплуатация сооружений городской электросети. Л., Энергия – 1969, 328стр.Правила технической эксплуатации электрических станции и сетей (ПТЭ, издание 14 -1989 г.).
4. Статьи журнала «Электроэнергия. Передача и распределение» ЭЭПР №1, 2011 Сети России.
5. Правила устройства электроустановок. 7-е изд. — Утв. приказом Минэнерго РФ от 20.05.03. №187.

#### Взаимовлияние режимов электрической сети Таджикистана с введением проекта CASA-1000

*Худжасаидов Дж.Х., Рахимов Дж.Б., Султонов Ш.М., Ахъёев Дж.С.*

*ТТУ им. акад. М.С. Осими*

*loiknstu@mail.ru*

Развитие энергетики является приоритетной задачей государства. Таджикистан относится к числу государств, в которых есть много внутренних и внешних причин, делающих эту проблему чрезвычайно важной и актуальной для настоящего и будущего развития энергосистемы сопредельных государств.

В электроэнергетических системах (ЭЭС), объединенных на параллельную работу межсистемных связей, наблюдается взаимовлияние их режимов. Из-за неоднородности электрических сетей ЭЭС взаимовлияние режимов негативно отражается на перетоках мощностей между соседними системами (взаимные внешние перетоки), на перетоках между электрическими сетями различного напряжения рассматриваемой системы (взаимные собственные перетоки), а также на сквозных (транзитных) перетоках мощности электрических сетей (транзитные перетоки). Одним из последствий взаимовлияния режимов электрических сетей ЭЭС есть дополнительные потери электроэнергии.

Сегодня технологические расходы электроэнергии во время ее транспортировки и распределения в сетях Таджикистана вследствие различных объективных и субъективных причин возросли и в несколько раз превышают аналогичные показатели западных стран.

Существенную экономию энергоресурсов в процессе эксплуатации ЭЭС можно обеспечить за счет внедрения энергосберегающих мероприятий и оптимального управления их нормальными режимами. Одним из условий обеспечения эффективности мер по уменьшению

потерь электроэнергии является их структурирование по причинам, которые обуславливают их сверхнормативные значения, и по принадлежности их отдельным субъектам хозяйствования. Для решения этой задачи необходимы соответствующие методы выделения составляющих потерь мощности в электрических сетях энергосистем, в том числе вызванных взаимными и транзитными потоками.

Повышение адекватности анализа дополнительных потерь от взаимных и транзитных потоков мощности и создания эффективной системы управления ими, позволит воспользоваться имеющимися регулирующими устройствами (РУ) для компенсации негативных проявлений взаимовлияния режимов электрических сетей ЭЭС. Обеспечит повышения качества их эксплуатации.

Производство электрической энергии концентрируется преимущественно на крупных электростанциях, работающих совместно (параллельно). Центры потребления электрической энергии (промышленные предприятия, города, сельские районы и т. п.) удалены от ее источников на десятки, сотни и тысячи километров и распределены на значительной территории. В связи с несовпадением центров производства и потребления энергии необходимы электрическая передача и распределение энергии (транспорт электроэнергии) от станций к электропотребителям. Эти функции в сложной цепи «электрическая станция — потребитель» возлагаются на развитые электрические сети и линии электропередачи, которые с устройствами автоматического регулирования, управления и резервирования образуют систему передачи и распределения электрической энергии. Задача такой системы централизованного электроснабжения состоит в том, чтобы донести выработанную на станциях электроэнергию до потребителей.

В данное время энергосистема Таджикистана в осенне-зимний период работает автономно от других энергосистем, а в весенне-летний период параллельно работает с энергосистемой Киргизии по ЛЭП 220кВ Канибадам – Агуль-Таш, и с энергосистемой по ЛЭП 220кВ Афганистана Колхозобод – Геран. По ЛЭП 220кВ Канибадам – Агуль-Таш энергосистема Таджикистана получает в среднем электроэнергию в количестве  $S_n=90+j40$  МВА, а по ЛЭП 220кВ Афганистана Колхозобод – Геран передает мощность  $S_n=80+j40$  МВА.

С реализацией проекта CASA – 1000 транзит через энергосистему увеличится что приведет к увеличению потерь.

На рис.1 представлена схема энергосистемы Таджикистана сетей 220 – 500 кВ (штрихпунктирными линиями показаны сооружаемые линии по проекту CASA-1000).

Энергосистема Таджикистана делится на три энергосистемы Северную, Южную и Центральную. Основная генерация электроэнергии производится в Центральной и Южной энергосистемах, а в Северной энергосистеме имеются много промышленных предприятий, суммарная мощность нагрузки в ней составляет  $S_n=(625+j285)$  МВА, а генерация  $S_g=(120+j285)$  МВА. Транзит мощности в Северную энергосистему составляет  $S_t=(505+j2354)$  МВА, транзит большой реактивной мощности приводит к большим потерям напряжения и мощности.

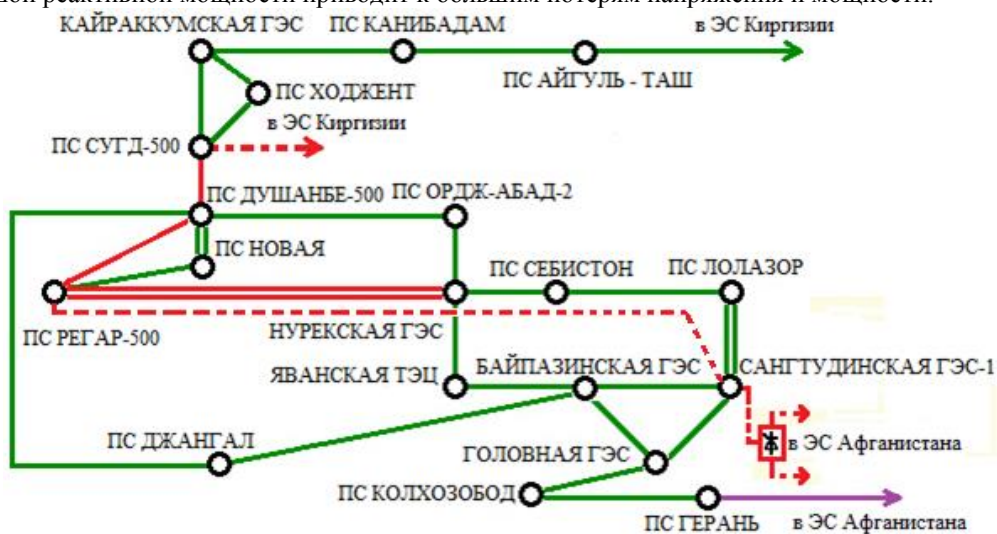


Рис.1 Схема энергосистемы Таджикистана

В данное время транзит электроэнергии из Центральной энергосистемы в Северную производится по линиям 500 кВ ПС Душанбе – ПС Сугд. В свою очередь из за отсутствия средств компенсации реактивной мощности на предприятиях расположенных в Северной энергосистеме транзит реактивной мощности ложится на линии Нурекская ГЭС – ПС Регар – ПС Душанбе – ПС Сугд, что вызывает дополнительные потери мощности в них  $\Delta S_{\text{п}} = 42,7$  МВА, потери в линиях 220 кВ Северной энергосистемы составляют  $\Delta S_{\text{п}} = 3,6$  МВА.

С реализацией проекта CASA – 1000 транзит через энергосистему увеличится, что приведёт к увеличению потерь. Транзит электроэнергии из энергосистемы Киргизии в энергосистему Таджикистана по линии 500 кВ ПС Шуроб – ПС Сугд составит 1000 МВА, а по линии постоянного тока от ПС Санктуда ГЭС-1 составит 1300 МВт.

Существующий проект CASA – 1000 включает в себя строительство только одной линии 500кВ ПС Регар - Сангтудинская ГЭС-1 для внутреннего перетока мощности, протекаемая мощность по ней будет составлять 721МВт, а оставшиеся 279 МВт ляжет на уже существующие линии 220 кВ. В связи с этим линии 220 кВ Нурекская ГЭС – ПС Себистон (292,5МВА) и ПС Себистон – ПС Лолазор (276,9) будут перегружены что вызовет увеличение потерь в них и они составят в сумме 29,3МВА, а также снизит надежность и устойчивость системы.

Ввод Рогунской ГЭС приведет к ещё большим транзитам мощности как внутри энергосистемы Таджикистана, так и между соседними параллельно работающими с ЭЭС Таджикистана энергосистемами Киргизии и Афганистана.

#### **Вывод**

С реализацией проекта CASA-1000 энергосистема Таджикистана, в частности линии электропередачи 220 кВ Нурек-Себистон и Себистон-Лолазор будут перегружены, что в свою очередь приводит к большим потерям мощности и напряжения. Для эффективной и надежной режима работы энергосистемы в первую очередь необходимо строительство дополнительных цепей 220 кВ Нурек-Себистон и Себистон-Лолазор, что является наиболее экономичным решением по сравнению со строительством линий 500 кВ (расчет был выполнен при дипломной работе которая имела исследовательский характер).

### **Инновационные возможности энергосбережения промышленных предприятий на примере ООО «Тобольск-нефтехим»**

*Рочев Е.А., Леонов Е.Н., Иванов И.Г.\**

*ФБГОУ ВПО Тюменский государственный нефтегазовый университет  
Филиал ТюмГНГУ в г.Тобольске. Россия, г.Тобольск*

*\* ООО «Тобольск-Нефтехим»*

*[rochev-egor@yandex.ru](mailto:rochev-egor@yandex.ru)*

В настоящее время важнейшим условием обеспечения высокого уровня социально-экономического развития Российской Федерации является переход страны на инновационную социально-ориентированную модель развития. Инновации в различных отраслях экономики становятся одним из основных факторов качественного экономического роста и повышения конкурентоспособности страны на мировых рынках.

Распоряжением Правительства РФ от 27.12.2010 г. № 2446-р утверждена государственная программа Российской Федерации «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года». Её целью является снижение энергоёмкости ВВП РФ на 13,5% за счет реализации мероприятий программы, что в совокупности с другими факторами позволит обеспечить решение задачи по снижению энергоёмкости ВВП на 40% за 2007-2020 годы.

Вышесказанное позволяет сделать вывод об актуальности научной задачи разработки инновационных технологий в области энергосбережения, предполагающих, в том числе, широкое использование возможностей инновационных теплоизоляционных материалов.

Цель исследования заключается в разработке инновационных решений в области энергосбережения на основе использования современных технологий при теплоизоляции.

В 2012 году на промышленной площадке ТНХК была начата установка дополнительных ректификационных колонн. Данные колонны в настоящее время находятся без изоляции, кроме того, колонна устанавливается на основание, поверхность колонны в котором имеет форму полусферы. Именно эта поверхность в настоящее время находится без надлежащей изоляции на всех установленных ректификационных колоннах. Остальная же часть колонны уже подвергнута изоляции. В данной исследовательской работе предполагается возможность установки

изоляционного слоя из инновационных материалов на колонну, включая и её основание, проводится технико-экономический анализ предложенного решения.

Для достижения поставленной цели были проанализированы различные методы тепловой изоляции, а также произведен сравнительный анализ всех изученных методов. В настоящее время традиционной теплоизоляцией является слой минеральной ваты, с облицовочным листом стали. Однако такая конструкция громоздка, имеет сравнительно большие тепловые потери и не долговечна.

Рынок теплоизоляционных материалов может предложить нам современный метод изоляции, называемый «Сверхтонкой изоляцией». Данная теплоизоляция обладает следующими достоинствами: теплосбережение, антикоррозия и гидроизоляция, пожаробезопасность, возможность нанесения на горячие поверхности без остановки технологического процесса до + 150 °С, безопасность, долговечность более 20 лет и многое другое. Из сравнительного анализа традиционной и сверх тонкой изоляции, видно что сверх тонкая изоляция обладает значительным преимуществом.

Нами были изучены следующие марки сверх тонкой изоляции: корунд, изоллат, Mascoat, все они обладают приблизительно одинаковыми свойствами. Однако в каждой из указанных марок есть недостатки, это трудоемкость нанесения ровного слоя изоляции, легко подвергается соскабливанию. Поэтому были рассмотрены и другие методы изоляции, самым эффективным, и подходящим из которых для нас является композиция «Изоллат-Эффект» предложенная компанией ООО «Специальные технологии» г. Екатеринбург.

Основными компонентами данной композиции являются одеяло теплоизоляционное иглопробивное (Керамоволокно) и Изоллат а также для придания конструкции прочности огнеупорная высокотемпературная связка марки СО-40 и малярная сетка, серпянка.

Произведя расчеты тепловых потерь ректификационных колонн можно сделать вывод о значительном сокращении тепловых потерь вследствие применения предложенной композиции по всей поверхности колонны: тепловые потери основания колонны без изоляции 24168,98 Гкал/г, тогда как при внедрении изоляции на основе новых материалов - 8167,13 Гкал/г.

Результаты расчетов показали, что тепловые потери при использовании технологии «Изоллат-эффект» могут быть сокращены более чем в три раза. Ожидаемая годовая экономия составит 5, 34 млн.руб., Срок окупаемости проекта 5 месяцев.

Однако данный метод изоляции будет не везде практичен, так как может подвергнуться соскабливанию, а на трубопроводах этот недостаток неприемлем.

При проведении обследования трубопроводов пара на промышленной площадке ООО «Тобольск-Нефтехим» специалистами предприятия выяснено, что на ряде позиций запорной арматуры отсутствует теплоизоляционное покрытие, что ведёт к повышенным потерям тепловой энергии. Поэтому было решено рассмотреть возможные варианты изоляции запорной арматуры трубопроводов пара П13.

Были рассмотрены варианты традиционной изоляции, сверхтонкая изоляция, керамоволокно, и термочехлы. Каждый из рассмотренных материалов по своему уникален и в разы эффективней традиционного метода изоляции минеральной ватой, однако практическое применение каждого отдельно взятого материала ограничено, ввиду разных условий эксплуатации изолируемой поверхности.

Если рассмотреть сверхтонкую изоляцию, то она легко подвергается соскабливанию. Композиция «Изоллат-Эффект» также является одноразовой.

Конструктивные особенности запорной арматуры имеют свои сложности из-за нестандартных форм и габаритов, а также требуют регулярного доступа с целью технического обслуживания и ремонта. Тем самым нуждается в съёмных и многоразовых теплоизоляционных конструкциях. Решение данной проблемы – быстросъёмная тепловая изоляция, примером которой может служить термочехол. Термочехол легко может принять форму любой задвижки. К рассмотрению предлагаются термооболочки ishell. Они многоразовые, отлично держат внутреннее тепло и, согласно данным завода изготовителя не требует специальной обработки изолируемой поверхности.

Расчеты тепловых потерь до и после установки термочехлов показали, что тепловые потери сокращаются на 5 – 20%, однако при таких затратах на изготовление термочехлов данный проект является не самым рентабельным, и сроки окупаемости относительно велики. Поэтому были рассмотрены варианты дополнительного сокращения тепловых потерь, с минимальными затратами.

Как выяснилось, термочехлы не ложатся плотно к изолируемой поверхности, что приводит к увеличенным тепловым потерям и возникновению коррозии. Щели при монтаже термочехлов видны на снимках тепловизора. И, по мнению авторов, именно из-за щелей в термочехлах, резко повышаются тепловые потери.

Поэтому предлагается комбинировать термочехлы, с уже ранее упомянутыми сверхтонкой изоляцией или композицией изоллат-эффект. Результаты расчетов, в которых были учтены затраты на материал и работу, показали, что при нынешней стоимости материалов и тепловой энергии, наиболее выгодно использовать термочехлы, после обработки поверхности сверхтонкой изоляцией.

Таким образом расчеты и экспериментальные образцы показали, что полная замена традиционной изоляции и нанесение современных изоляционных материалов в места, ранее не доступные для традиционной изоляции эффективны.

Однако данное решение не всегда наиболее эффективно, так например предложение по устранению излишних энергозатрат было инициировано в результате мозгового штурма в цехе ДБО-2/3 ООО «Тбольск-Нефтехим» на тему «Снижение потребления энергоресурсов». Предлагается заменить существующие водяные теплоспутники на электрические.

Обогрев теплоспутниками осуществляется по двум схемам, представленным на рисунке 1. Из схем видно, что спутники имеют неэффективную часть, которая служит для транспортировки теплофикационной воды к обогреваемому участку (потребителю).

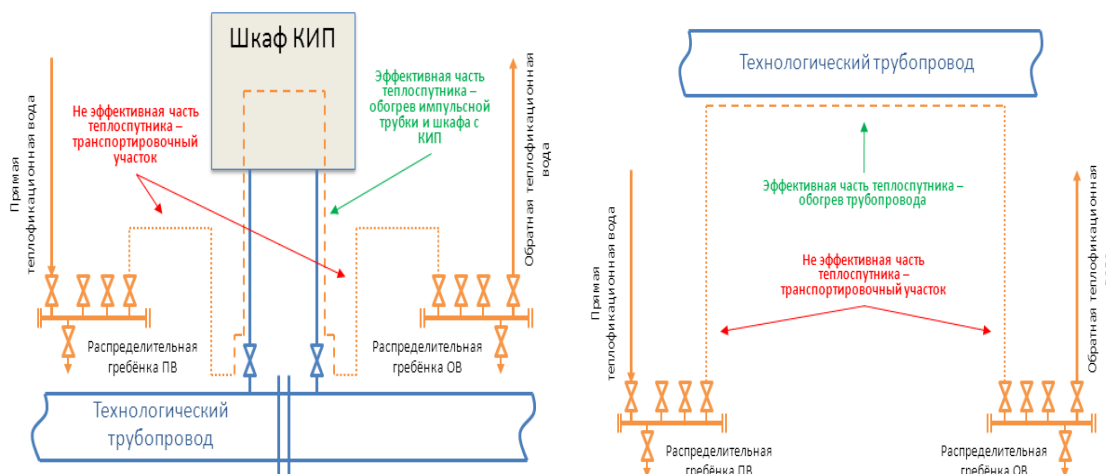


Рис.1. Общая схема обогрева

Во время эксплуатации системы водяных теплоспутников часто возникают утечки, что приводит к образованию наледи на трубопроводах. Для устранения утечек устанавливаются хомуты, где имеется возможность по их установке. Для проведения ремонтных работ на теплоспутниках, необходима подходящая температура окружающей среды. Все эти условия эксплуатации обуславливают актуальность замены водяных теплоспутников на электрические, к преимуществам которых можно отнести обогрев непосредственно критических участков, что исключает неэффективную часть теплоспутника, автоматизированные системы управления позволяют мгновенно менять параметры обогревающего кабеля и установить необходимую температуру в течении нескольких минут, Для потребителей, не требующих компенсации тепловых потерь, во время штатной работы обогрев не требуется, соответственно потребление энергии отсутствует.

Проанализировав рынок продукции выявлено множество компаний, производящих электрообогревательные провода, а также технологий их производства, что в значительной степени меняет их параметры. Предлагается сделать выбор электрических теплоспутников из продукции компании ETIREX-CHROMALOX. В целях экономии средств, и в связи с отсутствием необходимости поддержания температуры выше 10<sup>0</sup>C выбран кабель марки SRL с системой автоматического поддержания температуры.

Ожидаемый экономический эффект 2,76 млн.руб./год. Простой срок окупаемости системы – 2 года и 9 месяцев.

Полный комплекс применения кабельно-нагревательной продукции представлен на рис.2.



Целью данной работы было показать насколько эффективно применение инновационных материалов для энергосбережения в крупных производствах. При относительно небольших затратах, не столь трудоемкой работе, можно достичь значительной экономии энергоресурсов. Большинство российских предприятий построены более 30 лет назад, когда аспект энергосбережения не рассматривался и не брался во внимание в расчетах.

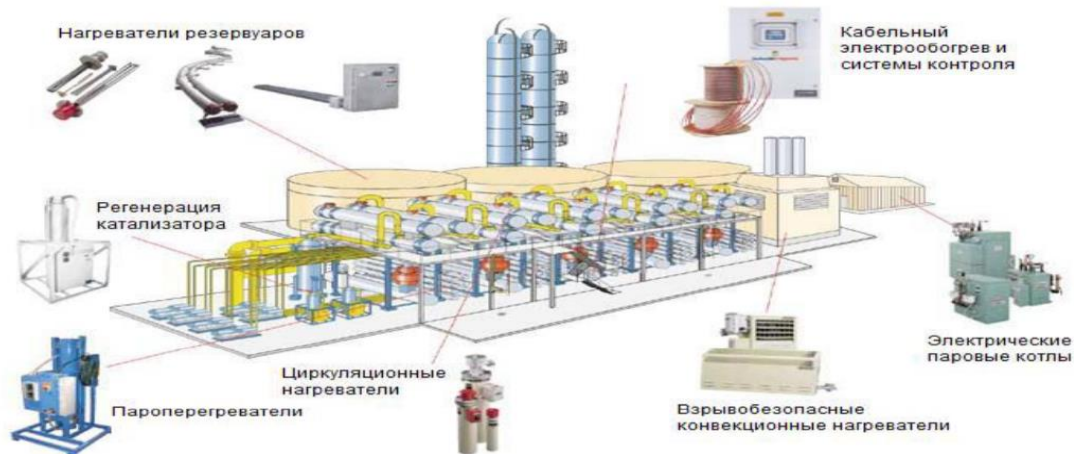


Рис. 2. Полный комплекс применения кабельно-нагревательной продукции для нефтепереработки

Спустя годы сменились не только технологии, но и сами принципы экономического функционирования предприятий, поэтому именно сейчас, как никогда ранее актуально внедрять инновационные технологии во все отрасли промышленности, в любых объемах, поскольку в сумме все эти переходы на инновационные решения дают колоссальный экономический эффект.

#### Список литературы:

1. <http://www.mascoat.com>
2. <http://korund34.com>
3. <http://flagman-company.livejournal.com/2290.html>
4. <http://www.etirex.ru/>
5. Рочев Е.А. Особенности реализации инновационных решений в сфере энергосбережения/ Материалы XLIV Региональной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (15 марта 2013 г., г. Тобольск) – 2013– С. 111-112.
6. Рочев Е.А. Замена водяных теплоспутников на электрические в цехе ДБО2/3 ООО «Тобольск-Нефтехим»/Новые технологии нефтегазовому региону-2013-Том 2-С.251-253.
7. Рочев Е.А. Актуальность внедрения инновационных изоляционных материалов. Новые технологии нефтегазовому региону-2013-Том 2-С.253-254.

#### Стратегические модели внедрения инновационной энергосберегающей технологии

*Русин Г.Л., Клавсуц И.Л.*

*Новосибирский государственный технический университет, Россия, г. Новосибирск*

[rgl@ngs.ru](mailto:rgl@ngs.ru)

В Новосибирске создано научно-производственное предприятие ООО «АВЭК», которое начало производить в промышленных масштабах инновационное устройство регулирования напряжения под торговой маркой NORMEL™, зарегистрированной в ФГБУ «Федеральный институт промышленной собственности». Предприятие выпускает устройство по лицензиям на изобретения, запатентованные в РФ, СНГ, ЕС, США и других странах [1,2,3]. Изобретение является инновационной энергосберегающей технологией, позволяющей управлять потреблением электрической энергии, улучшая её качество в соответствии с требованиями государственных электроэнергетических стандартов Российской Федерации и других стран.

Суть запатентованного метода и технологии состоит в применении вольтодобавочного трансформатора, мощность которого значительно меньше мощности нагрузки. Обмотка низкого (НН) напряжения этого трансформатора включается в фазу сети последовательно с нагрузкой. Обмотка высокого напряжения (ВН) включается в сеть регулирования. Напряжение на нагрузке

равно векторной сумме напряжения сети и ЭДС, индуцированной обмоткой ВН в обмотке НН вольтодобавочного трансформатора. Устройство меняет напряжение на нагрузке, ток и мощность в нагрузке и в сети, переводя их в эффективные с позиции энергосбережения режимы работы. Изобретение ориентировано на применение в трехфазных системах электроснабжения с источником электрической мощности 0,4 кВ.

Существует несколько технических способов регулирования напряжения, например, встречное регулирование, регулирование на подстанциях, регулирование посредством батарей статических конденсаторов и другие. На потребление электроэнергии существенное влияние оказывает её качество по напряжению и частоте, которые регламентируются стандартами. Как известно, частота электрического тока является общесистемным параметром, сравнительно легко контролируется, и поддерживается энергосистемой на нормированном уровне 50 Гц в соответствии с требованием ГОСТ 13109-97. Напряжение является локальным параметром, система контроля его пока несовершенна. Это приводит к тому, что у потребителей норма стандарта напряжения на практике часто не выполняется. Ответственность за это энергосистема не несет ни формальную техническую, ни экономическую. Даже в принятых формах договоров энергоснабжающей организации с потребителями на отпуск электроэнергии параметры качества электроэнергии не принимаются во внимание. Эта ситуация наблюдается практически постоянно на многих предприятиях, что приводит к многочисленным негативным последствиям, к росту потерь электроэнергии. В связи с этим основная концепция производимого устройства заключается в том, что электроэнергия должна передаваться энергоснабжающей организацией потребителю при максимальном нормативном значении напряжения, а использоваться потребителем - при минимальном. Подобное регулирование позволяет обеспечить нормальное функционирование потребителей, при этом потребители не будут использовать «лишнюю» мощность и потери будут минимальными [4].

Портфель заказов предприятия ООО «АВЭК» быстро растет, что свидетельствует о серьезном потенциале отечественного и мирового рынка потребителей устройства. Появились первые отзывы и результаты использования устройства потребителями, которые подвергаются на предприятии тщательному мониторингу [4].

Основные конкурентные преимущества метода и устройства NORMEL™: отсутствие прямых аналогов; стоимость, вес, габариты в 2-5 раз меньше, чем у не прямых аналогов; мощность составляет 5-6% от мощности нагрузки, что на порядок ниже, чем у не прямых аналогов; КПД не менее 99,7%, что значительно лучше, чем у не прямых аналогов. В РФ при соблюдении действующих нормативных документов на качество электроэнергии обеспечиваются все перечисленные конкурентные преимущества. Экономия потребляемой мощности позволяет разгрузить питающие линии, что позволяет дополнительно подключать потребителей.

При выводе инновационной технологии на рынок перед авторами неизбежно возникли стратегические вопросы и задачи. Ниже рассмотрены только две из них.

#### 1. Нейтрализация рисков в портфеле проектов.

Инвестиции в новые товары или рынки предполагают повышенную доходность. Но они также характеризуются повышенным риском. Высокие риски снижают привлекательность таких проектов, вплоть до отказа от них. Ситуацию может поправить формирование портфеля инвестиционных проектов: проекты подбираются таким образом, чтобы их риски, пусть и высокие, были в противофазе и компенсировались в портфеле. Имеющиеся и готовящиеся патенты для устройств NORMEL™ позволяют выводить продукцию одновременно на нескольких рынках (отечественных и зарубежных). Это дает возможность сформировать портфель диверсифицированных проектов на основе специального подбора возможных рынков.

На рис.1 показан простейший случай портфеля из двух проектов, демонстрирующий преимущества портфельного подхода.

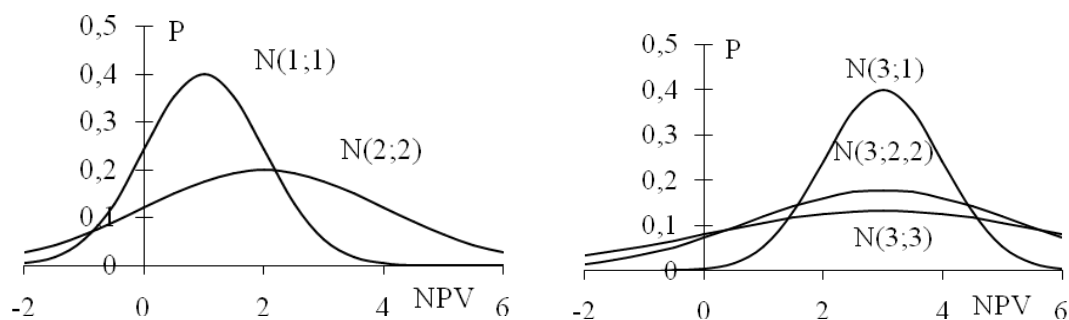


Рис. 1. Риски проектов и портфеля

На левом графике рис.1 показаны распределения чистых текущих стоимостей  $NPV_1$  и  $NPV_2$  проектов портфеля. Тип распределений нормальный  $N(1;1)$  и  $N(2;2)$ , со средними  $m_1 = 1$  и  $m_2 = 2$ , и стандартными отклонениями  $\sigma_1 = 1$  и  $\sigma_2 = 2$  соответственно. Средние и стандартные отклонения чистых текущих стоимостей проектов измеряются в млрд. рублей.

Риск – это вероятность того, что  $NPV$  не превысит нуля. Эта вероятность измеряется площадью под кривой плотности распределения вероятности левее нуля. Риски первого и второго проектов равны примерно 16% (левый график на рис. 1).

В традиционной постановке без формирования портфеля решение задачи сводится к выбору второго проекта. А первый проект отвергается, поскольку он дает чистый дисконтированный доход в два раза меньший при равных рисках.

Портфельный подход дает другое решение. Среднее  $NPV$  портфеля оценивается однозначно:  $m=1+2=3$  млрд. рублей. Но стандартное отклонение  $\sigma$  зависит от коэффициентов парной корреляции  $r_{i,j}$  между  $NPV_1$  и  $NPV_2$ . На правом графике рис. 1 показаны распределения  $NPV$  портфеля:  $N(3;3)$  при  $r_{1,2}=1$ ;  $N(3; 2,2)$  при  $r_{1,2}=0$ ; и  $N(3; 1)$  при  $r_{1,2}=-1$ . Риски этих портфелей составили соответственно 16%, 0,90% и 0,001%. То есть проекты с высокими рисками можно выбрать так, чтобы портфель был практически безрисковым, но одновременно высокодоходным.

Приведенный простой пример носит демонстрационный характер. На практике при формировании портфеля возникает целый ряд серьезных препятствий, которые приходится устранять: получение множества выборочных значений  $NPV$  (в условиях, когда реальное достигнутое значение в принципе может быть исключительно единственным); оценка парных корреляций  $r_{i,j}$  между  $NPV_i$ , когда выборки сложно сопоставить (даже по объему). Здесь приходится разрабатывать специальные решения.

Поскольку рассматриваются инвестиции в новые товары или рынки, то денежные потоки формируются за счет продаж. Важным фактором, определяющим такие денежные потоки, является валютный курс. Поэтому для продукции NORMEL™ актуален анализ валютного риска. В таблице 1 представлена корреляционная матрица валютных курсов для стратегических зон хозяйствования предприятия, рассчитанная на интервале 2000-2013 г.

Таблица 1. - Корреляционная матрица валютных курсов

	AUD	GBP	EURO	Hryvnia	USD	Yen	Yuan
AUD	1						
GBP	0,58	1					
EURO	0,91	0,65	1				
Hryvnia	-0,83	-0,13	-0,77	1			
USD	0,49	0,31	0,41	-0,35	1		
Yen	0,86	0,24	0,71	-0,81	0,72	1	
Yuan	0,94	0,37	0,89	-0,85	0,96	0,89	1

Значимая отрицательная корреляция между курсами евро и украинской гривны (-0,77) дополнительно обосновывает правильность предварительного экспертного решения о привлекательности портфеля именно для этих стратегических зон хозяйствования предприятия.

Риск неблагоприятной динамики валюты в одном регионе будет компенсирован положительными изменениями в другом. В соответствии с рис.1 риск такого портфеля будет существенно меньше рисков независимых проектов. Интересным оказался вариант с австралийским долларом и украинской гривной (-0,83). Несмотря на географические сложности, такой проект не может быть отвергнут без полноценного детального анализа.

#### 2. Имитационное моделирование потока продаж

У инновационной технологии отсутствует история. Кроме того она уникальна, то есть статистически невоспроизводима. Это определяет сложность стратегического планирования вывода инновационной технологии на рынок. Поэтому в данной ситуации оправдано применение имитационных моделей. Такие модели используют общесистемные закономерности поведения рынка и могут обходиться без статистических выборок. В работе использованы современные смешанные имитационные модели: системно-динамические и агентные. Подробное описание построения таких моделей приведено авторами, например, в [5]. Результат работы модели имеет вид, представленный на рис.2.

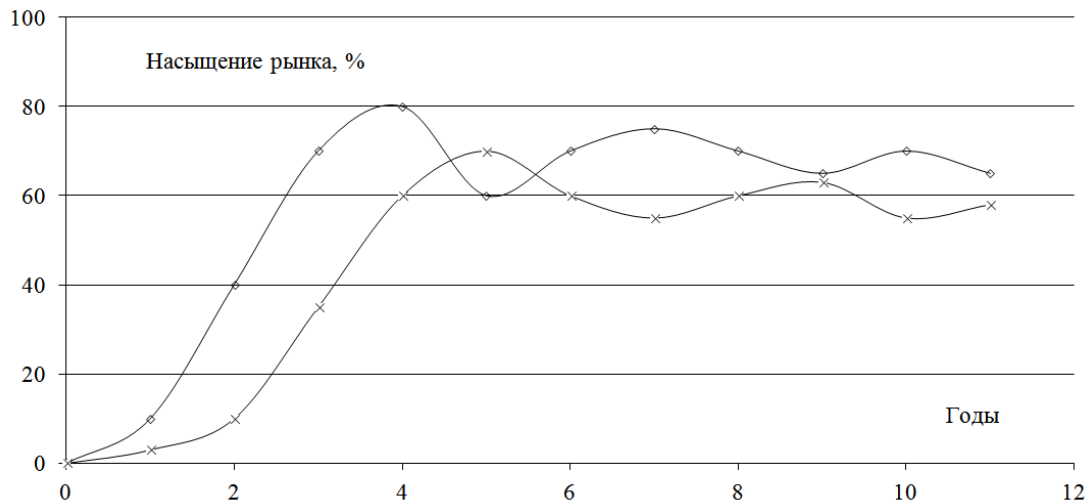


Рис. 2. Вариант насыщения рынков продукцией предприятия

На рис.2 представлен вариант имитации процесса насыщения продукцией предприятия двух рынков. Варьируя характеристики продукции и значения регулируемых параметров рынков можно изменять поведение этих кривых в соответствии с сильными и слабыми сторонами предприятия, его возможностями и угрозами. Кроме того, это дает изобретателю и менеджеру проекта глубокое понимание требуемых характеристик инноваций и происходящих рыночных процессов.

Полученный научно-технический и производственный опыт позволяет сделать следующие выводы. Очень сложно изобрести и разработать инновационное энергетическое устройство, технологию, метод. Но не менее сложно и важно связать потребности рынка с характеристиками устройства, и обеспечить продукцией весь рынок. При этом внешняя среда, включая конкурентов, заставляет действовать быстро, грамотно и эффективно, применяя самые адекватные и продвинутые инструменты и методы менеджмента, в первую очередь, стратегического, лишь часть из которых вынесена здесь на обсуждение.

#### Список литературы:

1. L.Z. Feigin, S.V. Levinzon, D.A. Klavuts. «Method and Apparatus for Regulating Voltage», United States Patent № 7.816.894 filing date 06/20/2007 date of publication - October 19.2010.
2. L.Z. Feigin, S.V. Levinson, I.L. Klavuts. «Alternating voltage stabilizer with protection elements», The international application for the invention № PCT/RU2009/000441 (PCT) of 16.09.2008.
3. L.Z. Feigin. «The device of voltage control of electricity-generating equipment», RU patent № 120499 Russian Federation from 23.09.2011.
4. Klavuts I.L., Levinzon S.V., Klavuts D.A. Integration Innovative Method Of Demand Side Management In Smart Grid // 47<sup>th</sup> International Universities' Power Engineering Conference – UPEC 2012, hosted by Brunel University Institute of Power Systems in the School of Engineering and Design at Brunel University, London, UK \ 4th - 7th September 2012.

5. Русин Г.Л., Гаранина М.В., Горевая Е.С. Маркетинг инновационного продукта // Бренд-менеджмент, Москва: Гребенников - 2012 - 3 (64) - С.154-171.

### Распределенная энергетика и энергетическая безопасность

*Сливной В.Н.*

*Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф.Горбачева, Россия, г.Кемерово  
[wiknik@rambler.ru](mailto:wiknik@rambler.ru)*

В сложных условиях современной России повышение энергетической безопасности (ЭнБ) является одной из наиболее приоритетных задач на всех уровнях – от федерального до уровня отдельного предприятия. Участвовавшие в последнее время техногенные аварии и катастрофы, стихийные бедствия, а также угроза терроризма убедили многих специалистов в актуальности развития распределенной энергетика, дополняющей централизованное энергоснабжение. Крупные аварии в США и Европе, когда без электроэнергии оказывались десятки миллионов людей, наглядно показали уязвимость энергосистем, состоящих из крупных электростанций. Поэтому акцент в развитии энергетика смещается в сторону распределенной энергетика.

В США, Великобритании, Германии, Дании и других странах, наряду с созданием новых крупных энергоблоков, повышением их параметров, активно разрабатываются и внедряются малые ТЭЦ, а также мини- и даже микро-ТЭЦ мощностью от 20 кВт до нескольких МВт, обеспечивающие когенерацию, то есть комбинированное производство тепла и электроэнергии (КПТЭ), что дает существенную экономию топлива. Кроме того, при развитии распределенной энергетика не требуется строительство и эксплуатация дорогостоящих ЛЭП и магистральных теплотрасс (соответственно снижаются потери при транспортировке). Система, сочетающая централизованное и децентрализованное энергоснабжение, становится более устойчивой и эффективной, снижаются риски при различных форсмажорных обстоятельствах, повышается энергетическая безопасность, что особенно актуально для России, поскольку износ основных производственных фондов на многих электростанциях страны превышает 50 %. При этом распределенная энергетика должна занимать свою энергетическую нишу и дополнять большую энергетика, образуя гармоничную систему. Кроме этого, децентрализованное КПТЭ на базе мини-ТЭЦ при решении ряда правовых вопросов позволит создать реальный рынок независимых производителей тепла и электроэнергии. Создание мини-ТЭЦ имеет целый ряд преимуществ по сравнению с крупными ТЭЦ: значительно ниже капиталовложения (срок окупаемости около двух лет), меньше сроки монтажа (1-2 года) и т.д.

Как же должна развиваться в целом распределенная энергетика (РЭ) региона, чтобы наиболее эффективно обеспечить его энергетическую безопасность и устойчивое развитие?

Для оптимизации системы, состоящей из множества объектов (в данном случае мини-ТЭЦ) и прогнозирования развития следует рассматривать ее в целом, всю совокупность элементов. Наиболее целесообразно использовать для этого системно-ценологический подход, разработанный проф. Б.И.Кудриным [1]. Им установлено, что в любой технической системе, включающей большое количество объектов, объективно существует определенное соотношение между крупными, средними и мелкими объектами. При этом распределение объектов по какому-либо параметру, характеризующее их разнообразие (Н – распределение), носит гиперболический характер. Отличительной особенностью таких систем, называемых техноценозами (по аналогии с биоценозами) является то, что в них теоретически отсутствует математическое ожидание, а дисперсия практически бесконечна. Энергосистема не является достаточно эффективной и устойчивой, если она состоит из одних гигантов энергетика или, наоборот, из одних мелких станций. Необходимо определенное сочетание источников различной мощности, в соответствии с ценологическим подходом. Наиболее крупные значительные объекты должны составлять 5-10 % от общего числа элементов системы; с уменьшением показателей (габаритов, мощности и т.д.) объекты становятся все более массовыми.

Определив в результате техноценологических исследований параметры распределения, можно делать выводы об оптимальности системы (в данном случае – системы энергоснабжения, рассматриваемой как своеобразный техноценоз – «энергоценоз») и выработать рекомендации – где, какой мощности котельные и мини-ТЭЦ целесообразно располагать, чтобы обеспечить гармонизацию энергетическая системы, соответственно наибольший уровень ЭнБ и устойчивое развитие региона. Основным инструментом техноценологического подхода является ранговый анализ [1]. Первый его шаг - это ранжирование объектов по выбранному параметру. При этом

объекты (например, энергоисточники) расставляют в порядке убывания (невозрастания) параметра. Первый ранг ( $r$ ) присваивают объекту, имеющему наибольшее значение параметра. Проведенный таким образом ранговый анализ для теплоснабжающих организаций Кемеровской области показал, что распределение теплоисточников, в частности ОАО «Теплоэнерго» и др., в основном соответствуют указанному распределению.

Следует отметить, что аналогичное  $H$ -распределение характерно не только для техноценозов, но и для других сообществ, в частности для социоценозов. Так, установлено, что распределение населенных пунктов в Кемеровской области по численности населения также имеет вид гиперболы. Очевидно распределение потребителей энергии (как электрической, так и тепловой) соответственно должно иметь аналогичный вид и по отклонению кривой распределения от гиперболности можно судить о несовершенстве данной системы энергоснабжения. Изломы, неровности на этой кривой (избыток или недостаток разнообразия) свидетельствуют о нарушении устойчивости системы. Отсюда следует, что вновь проектируемые, а также реконструируемые источники тепла и электроэнергии должны увязываться с распределением населенных пунктов по числу жителей и с плотностью населения в конкретных районах.

Кроме того, рассматривая указанные  $H$ -распределения источников и потребителей во времени, можно получить структурно-топологическую динамику энергопотребления региона, что позволит сделать качественный прогноз ее тренда, по крайней мере, на среднесрочную перспективу.

В условиях Кемеровской области, насчитывающей около 1300 котельных различной мощности, в ближайшей перспективе наиболее оптимальный и эффективный путь к реализации РЭ – создание мини-ТЭЦ путем надстройки котельных турбогенераторами в модульном исполнении. Их выпуск в достаточно широком ассортименте освоен отечественной промышленностью. Причем на первом этапе наиболее перспективны для реконструкции шахтные котельные с паровыми котлами, работающими на угле собственной добычи. Шахтная мини-ТЭЦ мощностью несколько МВт может обеспечить собственные нужды, а также прилегающий поселок электроэнергией, что повысит их ЭНБ.

В дальнейшем перспективно применение в качестве силовых установок для мини-ТЭЦ газовых турбин, поршневых двигателей, а также Стирлинг-генераторов. В каждом конкретном случае необходим технико-экономический анализ и обоснование выбранного варианта. Далее должны постепенно реконструироваться в мини-ТЭЦ производственные и муниципальные котельные области. Как отмечается в [2], по крайней мере, на 80 котельных в Кемеровской области имеется принципиальная возможность осуществления КППЭ при их реконструкции в мини-ТЭЦ, в результате установленная электрическая мощность составит около 96 МВт. Новые же источники энергоснабжения должны предусматриваться именно для реализации РЭ в режиме КППЭ.

Кроме того, РЭ органично связана с использованием возобновляемых источников энергии, так как они более эффективны при относительно небольшой единичной мощности. Поэтому целесообразно размещать новые мини-ТЭЦ также и в сельской местности с использованием в качестве топлива биогаза, пеллет и другие местные энергоресурсы. То, что могут использоваться различные виды топлива применительно к данной местности, является еще одним преимуществом РЭ.

Необходимо отметить, что наряду с повышением надежности энергоснабжения развитие РЭ имеет важный экономический аспект. Себестоимость электроэнергии при этом существенно меньше, чем отпускная цена на нее у местных энергетиков. Создание сети мини-ТЭЦ различной мощности создаст предпосылки для становления реального конкурентного розничного рынка электроэнергии.

Как раз в этом направлении развивает свою энергетику Дания. В этой небольшой европейской стране отмечается наиболее оптимальное сочетание централизованного и децентрализованного энергоснабжения, причем создание мини-ТЭЦ происходило путем реконструкции котельных. Для анализа РЭ Дании был выполнен ранговый анализ, то есть, проведено ранжирование децентрализованных ТЭЦ по электрической мощности, получено  $H$ -распределение и произведена аппроксимация. Величина рангового коэффициента оказалась равна 0,891 (должно быть около 1,0). Таким образом, можно сделать вывод, что децентрализованное КППЭ в Дании действительно близко к оптимальному и развитие РЭ Кузбасса также целесообразно ориентировать в данном направлении.

В Кемеровской области постепенно идет процесс становления и развития РЭ. Наряду с действующей Анжерской мини-ТЭЦ, разрабатываются проекты и создаются такие источники в

разных районах области, в частности, на шахте им. Кирова, на разрезе «Караканский-Западный» и др. В декабре 2010 и феврале 2011 были введены в эксплуатацию две газопоршневые электростанции (ГПЭС), работающие на метане угольных пластов на Талдинском месторождении. Ввод двух ГПЭС позволил подать электроэнергию на подстанцию Талдинского угольного разреза, на строящиеся шахты «Жерновская-1» и «Жерновская-3», а также обеспечить электроэнергией газовые промыслы на Талдинском месторождении.

Также возможна реконструкция и на других промышленных и отопительных котельных области. Например, котельная Ленинск-Кузнецкого камвольно-суконного комбината имела четыре незагруженных котла Е-50-14 и вполне могла быть преобразована в малую ТЭЦ. Реализуется проект мини-ТЭЦ в пос. Чистогорский. Создание сети таких малых и мини-ТЭЦ с меньшими затратами времени и средств по сравнению с новым строительством энергетических предприятий (например, новой крупной ТЭЦ) уменьшит дефицит мощности, существующий в области; создаст предпосылки для возникновения реального конкурентного розничного рынка электроэнергии и, как уже отмечалось, повысит ЭНБ отдельных предприятий, районов и региона в целом.

Таким образом, существуют все предпосылки – технические, экономические, организационные для развития распределенной энергетики Кузбасса.

#### Список литературы:

1. Кудрин Б.В. Введение в технетику. 2 – изд. Томск: Изд-во Томск. Ун-та, 1993. 552 с.
2. Малюта Д.В., Моисеева Е.И. О возможности комбинированной выработки (когенерации) тепловой и электрической мощности на производственно-отопительных котельных Кемеровской области // Вестник КузГТУ.- № 5. С,73-77.

#### Выбор состава включенного генерирующего оборудования ТЭС на оптовом рынке электроэнергии

*Таран А.С.*

*Новосибирский Государственный Технический Университет, Россия, г. Новосибирск  
[taranandr@gmail.com](mailto:taranandr@gmail.com)*

Выбор состава включенного генерирующего оборудования (далее - ВСВГО) вне зависимости от конкретной конструкции энергетического рынка является одной из важнейших функций управления энергосистемой, а так же одним из ключевых факторов, влияющих на эффективность работы генерирующих компаний.

В настоящее время выбор состава включенного генерирующего оборудования в ЕЭС осуществляет Системный оператор – инфраструктурная организация оптового рынка, основная функция которой – обеспечение надежной работы ЕЭС.

Выбор оборудования осуществляется централизованно с использованием математической модели ВСВГО. Порядок выбора состава включенного оборудования, целевая функция и используемые ограничения описаны в Приложении 3.1 к Договору о присоединении к торговой системе оптового рынка электроэнергии и мощности.

Целевая функция модели оптимизации – минимизация стоимости производства электроэнергии по ценовым заявкам участников с учетом затрат на пуск генерирующего оборудования. Детальное описание модели ВСВГО показано в регламентирующих документах Системного оператора[1]и Договоре о присоединении к торговой системе оптового рынка.

Основными параметрами, которые используются при оптимизации являются стоимость пуска генерирующего оборудования и цена за 1 МВтч вырабатываемой электроэнергии, которые заявляют еженедельно участники рынка – генерирующие компании (т.е. при отборе ВСВГО участники рынка формируют заявки, включающие в себя в числе прочего цены за пуск генерирующего оборудования и цену за выработку электроэнергии в соответствующих объемах.

С целью покрытия планируемого уровня потребления электроэнергии, обеспечения необходимых резервов и надежного энергоснабжения потребителей электроэнергии, Системным оператором осуществляется отбор оборудования. В случае, если генерирующее оборудование отбирается в работу и включается в соответствии с результатами оптимизации – генерирующая компания получает оплату за пуски генерирующего оборудования, одновременно с этим заявленная в ВСВГО стоимость работы является ограничением сверху на заявки, подаваемые генерирующей компанией на рынок на сутки вперед (далее – РСВ), соответственно генерирующая компания не в праве будет подавать в РСВ цены выше заявленных в ВСВГО.

Действующая модель ВСВГО имеет ряд достоинств, но у нее так же немало недостатков. Системным оператором планируется ее доработка и модернизация. Прежде всего это будет касаться периода отбора – недельный период будет изменен на скользящий суточный для повышения качества планирования потребления электроэнергии, так же планируется сделать результаты отбора обязательными для участников (в настоящее время модель ВСВГО решает вспомогательные задачи – одна из которых оплата пусков генерирующего оборудования, но результаты ВСВГО не являются обязательными для исполнения участниками рынка).

Тем не менее до подачи заявок на ВСВГО участникам рынка – генерирующим компаниям необходимо для каждой электростанции определить оптимальный состав генерирующего оборудования. После того, как оптимальный состав будет определен, участником будут формироваться ценовые заявки, целью которых будет реализация выбранного оптимального состава оборудования (включение, отключение, сохранение включенного состава оборудования в работе).

Постараемся описать оптимизационную модель выбора оборудования с точки зрения генерирующей компании.

Целевая функция модели – маржинальная прибыль генерирующей компании. То есть необходим такой состав оборудования, который позволит, работая на рынке на сутки вперед, получить максимально возможную прибыль. Таким образом, целевая функция имеет вид:

$$MR \rightarrow \max$$

где MR – маржинальная прибыль от продажи выработанного объема электроэнергии.

В упрощённом виде формулу маржинальной прибыли от продажи выработанного объема электроэнергии можно представить в следующем виде:

$$MR = \text{Выручка} - \text{Затраты} = \mathcal{E} \times \mathcal{I}_{р\text{св}} + S_{\text{пуск}} - B \times \mathcal{I}_{\text{топл}} - V_{\text{пуск}}$$

где  $P$  – нагрузка электростанции;  $\mathcal{I}_{р\text{св}}$  – цена на рынке на сутки вперед;  $B$  – расход топлива;  $\mathcal{I}_{\text{топл}}$  – цена используемого топлива,  $S_{\text{пуск}}$ ,  $V_{\text{пуск}}$  – выручка за пуски и расход топлива на пуски оборудования (в оптимальном случае согласно действующим правилам ВСВГО эти две составляющие должны быть равны и ими можно пренебречь, если конечно не рассматривать пуски оборудования, осуществляемые вне процедуры ВСВГО).

Расход топлива электростанции  $B$  обычно выражается через зависимость от выработки и удельных расходов условного топлива, следующим образом:

$$B = b_{\text{э}} \times \mathcal{E},$$

Где  $b_{\text{э}}$  – удельный расход условного топлива на выработку электроэнергии, который в свою очередь в значительной степени зависит от выработки электроэнергии, отпуска тепла и состава оборудования в работе. Таким образом, удельный расход условного топлива представляет собой сложную зависимость, в общем виде описываемую следующим выражением:

$$b_{\text{э}} = f(\mathcal{E}, Q, N, K), \text{ где}$$

$Q$  – отпуск тепла электростанции,  $N$  – количество энергоблоков, находящихся в работе,  $K$  – прочие параметры, влияющие на удельный расход,

На многих электростанциях оборудование в значительной степени отличается своими характеристиками друг от друга, удельный расход условного топлива будет зависеть от того какое конкретно оборудование будет находится в работе, и соответственно будет зависеть от выработки каждого конкретного энергоблока (турбоагрегата). В этом случае целесообразно удельный расход электростанции выражать через удельные расходы условного топлива отдельных энергоблоков  $i$  (турбоагрегатов):

$$b_{\text{э}} = \frac{\sum_{i=1}^N b_i \times \mathcal{E}_i}{\sum_{i=1}^N \mathcal{E}_i}$$

Выработка электроэнергии электростанции, зависит в свою очередь от соотношения цены в заявках и цен, складывающихся на рынке под воздействием ряда факторов, влияющих как на спрос, так и на предложение. В общем виде можно записать следующее выражение:

$$\mathcal{E} = f(\mathcal{I}\mathcal{Z}, \mathcal{I}\mathcal{P}\mathcal{C}\mathcal{B}, K_{\text{so}}), \text{ где}$$



ЦЗ – цены в заявках поданных на рынок, в отношении электростанции, Ц<sub>рсв</sub> – цены складывающиеся на рынке, К<sub>со</sub> – команды Системного оператора на загрузку и разгрузку оборудования соответственно.

Автором ранее в материалах [2] показано, что, исходя из действующих Правил оптового рынка, можно сформулировать правило загрузки электростанций следующим образом:

$$P = \begin{cases} P_{\max}, & \text{если } ЦЗ_{\max} \leq Ц_{\text{рсв}}; \\ P_n, & \text{если } ЦЗ_{\text{ср}} \leq Ц_{\text{рсв}} < ЦЗ_{\max}; \\ P_{\min}, & \text{если } ЦЗ_{\min} < Ц_{\text{рсв}}, \end{cases}$$

где  $P_{\max}$ ,  $P_n$ ,  $P_{\min}$  -- максимальная, минимальная нагрузка и промежуточная ступень мощности, учтённые в ценовой заявке; ЦЗ – соответствующие ступеням мощности цены в заявках генератора.

Правило загрузки электростанций на оптовом рынке можно сформулировать следующим образом: загрузка электростанции осуществляется (увеличение мощности), если цена на рынке превышает цену в заявке, в случае, если цена в заявке выше цены на рынке, станция разгружается.

По сути указанное правило загрузки является одним из наиболее существенных ограничений оптимизационной задачи, то есть выработка электростанции будет находиться в пределах, ограниченных минимальными и максимальным нагрузками ( $P_{\max}$ ,  $P_{\min}$ ). Уровень  $P_{\max}$  определяется составом генерирующего оборудования, уровень  $P_{\min}$  в отопительный период определяется необходимостью покрытия тепловых нагрузок.

Так же ранее автором, показано что рационально действующая электростанция будет формировать на рынок наиболее выгодные ценовые заявки – а значит формировать ценовые заявки на основе характеристик относительного прироста расхода условного топлива[2].

Следовательно, зная ряд входных параметров можно однозначно спрогнозировать ценовые заявки. Таким образом, можно записать, что ценовая заявка – является функцией ряда переменных, которые влияют на относительный прирост расхода топлива:

$$Цз = bx \times Ц_{\text{мон}} = Ц_{\text{мон}} \times f(N, Pi, Q),$$

Где  $P_i$  – электрическая нагрузка для которой производится расчет ценовой заявки,  $bx$  – относительный прирост расхода условного топлива.

Следовательно, при наличии прогнозов цен рынка и ценовых заявках становится возможным просчитать с выходом на маржинальную прибыль различные варианты состава оборудования и выбрать для электростанции оптимальный вариант, дающий максимальную маржинальную прибыль. При этом для тепловых электростанций необходимо при решении задачи учитывать такие ограничения как:

- ограничение на минимальный состав работающих энергоблоков по условию надежности электростанции;
- ограничение на минимальный состав работающего оборудования по условиям надежного теплоснабжения с учетом возможностей перевода части тепловых нагрузок на пиковые водогрейные котлы или другие источники тепловой энергии, позволяющие покрывать тепловые нагрузки.
- ограничение по количеству пусков энергоблоков в неделю, месяц, год.
- ограничение по одновременному пуску нескольких энергоблоков (турбоагрегатов).
- ограничение по топливу (при наличии).

Таким образом, можно сделать вывод, что изменившиеся рыночные условия требуют новых подходов к решению задачи выбора состава генерирующего оборудования и если ранее целевой функцией задачи оптимизации состава включенного генерирующего оборудования была минимизация расхода условного топлива в энергосистеме[3], то в условиях рынка – это маржинальная прибыль электростанции или генерирующей компании. Рационально действующий участник должен обладать способностью, методами и специализированным программным обеспечением, позволяющим в течение достаточно короткого времени оценить варианты работы электростанции с различными составами генерирующего оборудования и выбрать такой состав, которых с одной стороны будет удовлетворять всем техническим критериям и ограничениям, с другой – принесет максимальный маржинальный эффект от работы на рынке электроэнергетики.

**Список литературы:**

1. [http://www.so-ups.ru/index.php?id=markets\\_regulations](http://www.so-ups.ru/index.php?id=markets_regulations)
2. Таран А.С. Краткосрочная оптимизация режимов работы электростанций// Электрические станции – 2013. - №1.- с. 31-33
3. Веников В.А., Журавлев В.Г., Филиппова Т.А. Оптимизация режимов электростанций и энергосистем. М.: Энергоиздат, 1980

УДК 658.26.012.2:378

**Планирование потребления электроэнергии высшими учебными заведениями****Ткаченко В.Ф.***Черкасский государственный технологический университет, Украина, г. Черкассы*

В статье рассмотрены проблемы планирования электропотребления ВУЗами на основе методов прогнозирования, что является важным инструментом повышения эффективности электропотребления, и решению вопросов энергетической безопасности учреждений.

**Постановка проблемы.** Освоение новых и анализ известных управленческих технологий, которые позволяют повысить эффективность управления энергопотреблением и энергосбережением, становится особенно актуальным для Украинских ВУЗов. Планирование энергопотребления повышает эффективность её использования и является неотъемлемой частью проведения тендерной процедуры закупки энергоносителей за государственные деньги на будущие периоды.

**Анализ последних источников исследований и публикаций, в которых впервые предпринято решение данной проблемы.** В случае если планируемые объёмы энергоносителей на следующий финансовый год будут выставлены неправильно, то возможно недофинансирование или перефинансирование энергоносителей что, в первом случае составляет реальную угрозу энергетической безопасности заведения, а во втором ответственность перед финуправлением и КРУ, что тоже крайне неприятно.

Особенности энергопотребления и энергоэффективности в высших учебных заведениях рассматриваются в [1, 2].

Вопросами энергетической безопасности, прогнозирования и планирования занимались такие ученые как В.В. Литвак, В.П. Розен А.В. Праховник и др. В [3] сказано что, прогнозирование и планирование потребления энергии сильно связаны между собой и имеют общие черты. Если с помощью прогноза обнаруживаются негативные тенденции, то в планировании намечаются мероприятия по их устранению.

**Формулирование целей и задач статьи.** Статья посвящена решению задачи планирования потребления электроэнергии ВУЗами путём применения методов прогнозирования с целью повышение уровня энергетической безопасности учреждения, повышение эффективности оценивания уровня использования электрической энергии и повышению эффективности проведения тендерных процедур.

**Изложение основного материала.** При анализе временных рядов используется метод скользящей средней, в котором все данные независимо от периода их возникновения являются равноправными. Существует и другой способ, в котором данным приписываются веса. Более поздним данным придается больший вес, чем более ранним [4]. Метод экспоненциального сглаживания, который в отличие от метода скользящих средних может быть использован и для краткосрочных прогнозов будущей тенденции на один период вперед и автоматически корректирует любой прогноз в свете различий между фактическим и спрогнозированным результатом [5]. Именно поэтому метод обладает явным преимуществом. Простое экспоненциальное сглаживание именно так и устроено. Здесь более старым наблюдениям приписываются экспоненциально убывающие веса, при этом, в отличие от скользящего среднего, учитываются все предшествующие наблюдения ряда, а не те, что попали в определенное окно. Точная формула простого экспоненциального сглаживания имеет следующий вид:

$$S_t = \alpha \cdot y_t + (1 - \alpha) \cdot S_{t-1} \quad (1)$$

где:  $S_t$  – сглаженный ряд;  $y_t$  – исходный ряд;  $\alpha$  – коэффициент сглаживания.

Когда эта формула применяется рекурсивно, то каждое новое сглаженное значение (которое является также прогнозом) вычисляется как взвешенное среднее текущего наблюдения и сглаженного ряда. Очевидно, результат сглаживания зависит от параметра  $\alpha$  (альфа). Если  $\alpha$  равно

1, то предыдущие наблюдения полностью игнорируются. Если  $\alpha$  равно 0, то игнорируются текущие наблюдения. Значения между 0 и 1 дают промежуточные результаты.

Динамику изменения показателя прогнозирования потребления электроэнергии, в январе месяце, за период 2002-2012 годов, объектом исследования, при  $\alpha = 0,1, 0,2, 0,3, \dots, 1$ , показано на (рис.1).

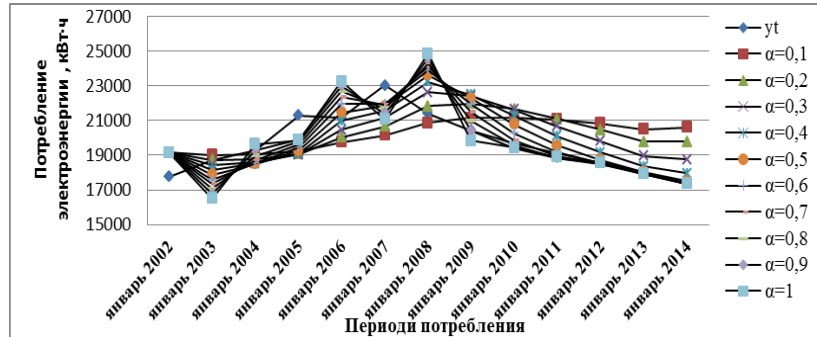


Рис. 1. Динамика изменения прогноза при  $\alpha = 0,1, 0,2, 0,3, \dots, 1$

Среднее значение суммы квадратов отклонений исходных значений переменной  $y_t$  от расчетных значений,  $\varepsilon$  показано на Рис.2.



Рис. 2. Динамика изменения средних значений квадратов отклонения,  $\varepsilon$  в зависимости от значения  $\alpha$

К числу методов, не связанных с априорным заданием параметра  $\alpha$ , следует отнести метод Чоу [6, 7]. Адаптивный алгоритм Чоу основан на последовательной подстройке параметра сглаживания под динамику обрабатываемого ряда. Сущность метода заключается в том, что устанавливается три значения параметра сглаживания: нормальное  $\alpha$ , высокое  $\alpha_g = \alpha + h_\alpha$  и низкое  $\alpha_n = \alpha - h_\alpha$ , где  $h_\alpha$  — шаг оптимизации параметра сглаживания. Эти значения сначала задаются произвольно, причем  $0 < \alpha_n, \alpha, \alpha_g < 1$ . Оценка, сделанная при использовании нормального значения параметра сглаживания, считается прогнозом, а оценки, полученные на основе высоких и низких значений  $\alpha_g$  и  $\alpha_n$  контрольными. При поступлении очередного отчета определяется, какое с трех значений параметра приводит к наименьшей сумме квадратов отклонений,  $\varepsilon$  которое затем рассматривается, как нормальное и на его основе осуществляется предсказание на следующем шаге как это показано в табл. 1.

Ошибку планирования методом экспоненциального сглаживания для коэффициента сглаживания  $\alpha=0,62$  можно найти по следующей формуле:

$$\sigma_{t+1} = \sigma_{y_t} \cdot \sqrt{\frac{\alpha}{(2-\alpha)^3} [1 + 4 \cdot (1-\alpha) + 5 \cdot (1-\alpha)^2 + 2\alpha \cdot (4-3\alpha)l + 2\alpha^2 l^2]}, \quad (2)$$

где:  $\sigma_{y_t}$  — среднеквадратическое отклонение, рассчитано путём сопоставления входных

значений переменной  $y_t$  и значений, которые характеризуют тренд часового ряда,

$$\sigma_{y_t} = \sqrt{\frac{\sum (y_t - y)^2}{n-2}}$$

Таблица 1. Значения параметра сглаживания  $\alpha$  получение методом Чоу

				Шаг 5	$\alpha-h$	$\alpha$	$\alpha+h$
			Шаг 4	$\alpha-h$	$\alpha$	$\alpha+h$	
		Шаг 3	$\alpha-h$	$\alpha$	$\alpha+h$		
	Шаг 2	$\alpha-h$	$\alpha$	$\alpha+h$			
Шаг1	$\alpha-h$	$\alpha$	$\alpha+h$				
№	$\alpha=0,59$	$\alpha=0,6$	$\alpha=0,61$	$\alpha=0,62$	$\alpha=0,63$	$\alpha=0,64$	$\alpha=0,65$
$\hat{y}_1$	19166,8	19166,8	19166,8	19166,8	19166,8	19166,8	19166,8
$\hat{y}_2$	17627,5	17599,3	17571,1	17542,9	17514,8	17486,6	17458,4
$\hat{y}_3$	18559,6	18570,5	18582,2	18594,8	18608,2	18622,5	18637,6
$\hat{y}_4$	19448,7	19467,8	19486,9	19505,9	19524,9	19543,8	19562,5
$\hat{y}_5$	21893,1	21937,4	21981,1	22024,3	22066,9	22108,8	22150,2
$\hat{y}_6$	21943,5	21946,3	21947,7	21947,4	21945,7	21942,5	21937,8
$\hat{y}_7$	23888,5	23911,5	23933,7	23955,3	23976,4	23997,0	24017,2
$\hat{y}_8$	21993,1	21952,4	21910,8	21868,3	21824,9	21780,7	21735,8
$\hat{y}_9$	20319,4	20272,0	20225,5	20179,9	20135,3	20091,7	20049,1
$\hat{y}_{10}$	19176,7	19144,9	19114,9	19086,6	19060,0	19035,2	19012,0
$\hat{y}_{11}$	18527,2	18513,8	18502,0	18491,8	18483,0	18475,7	18469,6
$\hat{y}_{12}$	17940,1	17935,3	17931,5	17928,6	17926,6	17925,3	17924,7
$\hat{y}_{13}$	17334,0	17326,3	17320,2	17315,6	17312,3	17310,2	17309,2
$\varepsilon$	1628443	1625348	1623470	1622810	1623370	1625156	1628174

Соответственно ошибка прогнозирования для 12<sup>го</sup> и 13<sup>го</sup> периодов, при  $\sigma_{y_t} = 424$ , равна  $\sigma_{11+1} = 302$ , и  $\sigma_{11+2} = 343$ .

Результаты планирования потребления электроэнергии объектом исследования, методом экспоненциального сглаживания, при коэффициенте сглаживания  $\alpha = 0,62$ , полученным методом Чоу на январь 2013 и 2014 годов показано в табл.2.

Таблица 2. Результаты расчётов с учётом ошибки прогнозирования при  $\alpha = 0,62$

Период	План	Ошибка прогноза	Верхняя граница доверительного интервала	Нижняя граница доверительного интервала
Январь 2013	17929	$\pm 302$	18231	17626
Январь 2014	17316	$\pm 343$	17659	16973

Сравнительный анализ квадратов отклонений входных значений переменной  $y_t$  от расчётных величин, полученных разными аналитическими методами, показано в табл. 3.

Таблица 3. Сравнительный анализ разных аналитических методов

№ п/п	Вид функции	$\sum (y_t - y)^2$
1	Линейная модель $y_t = 19042,5 + 124,3t$	2275025
2	Экспоненциальное сглаживание при $\alpha=0,3$	2247653
3	Экспоненциальное сглаживание $\alpha=0,6$	1625348
4	Экспоненциальное сглаживание при $\alpha=0,62$ рассчитанное методом Чоу	1622810

С табл. 3 видно, что адаптивный алгоритм Чоу основан на последовательной подстройке параметра сглаживания  $\alpha$  под динамику обрабатываемого ряда значительно повышает качество планирования потребления электроэнергии в ВУЗах так как среднее значение суммы квадратов отклонений от расчетных значений, найденных при применении различных аналитических методов является наименьшим.

**Выводы:**

1. Планирование потребления энергоносителей ВУЗами на основе экспоненциального прогнозирования повышает эффективность их использования и повышает энергетическую безопасность учреждения. Указанный метод имеет ряд положительных особенностей: возможность максимального использования ограниченной по объему исходной информации, ясный экономический смысл и простоту прогнозных функций, высокую надежность конечных результатов

2. Качество работы метода Чоу зависит от исходного параметра сглаживания. Его нужно выбирать как можно ближе к конечному, используя следующие рекомендации: чем точнее значение параметра сглаживания тем выше адаптивные свойства прогнозирующих моделей, и наоборот, с уменьшением точности  $\alpha$ , модель отражает долговременную тенденцию уменьшения показателя.

**Список литературы:**

1. В.П. Розен, В.Ф. Ткаченко, Г.В. Курбака. Шляхи вирішення проблем фінансування впровадження заходів з енергозбереження в організаціях бюджетної сфери України // Енергетика: економіка, технології, екологія. Науковий журнал НТУУ «КПІ». – 2012. – Вип. 1. – с. 71–77.
2. Ткаченко В.Ф. Інструменти управління вибором енергозберігаючих заходів у вищих навчальних закладах. Енергетика та електрифікація. 2013. – Вип. 7. – с 21–26
3. О. І. Соловей, В. П. Розен, Ю. Г. Лега, О. О. Ситник, А. В. Чернявський, Г. В. Курбака. Енергетичний аудит: Навчальний посібник. – Черкаси.; ЧДТУ, 2005. – 299 с
4. Лукашин Ю.П., Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов: Учебное пособие. - М.: Финансы и статистика, 2003.-416 с.
5. Рожков Л.Н., Френкель А.А. Выбор оптимального параметра в методе экспоненциального сглаживания. Основные проблемы и задачи научного прогнозирования. М.: 1972, с 17-32.
6. Chow W.M. Adaptive control of the exponential smoothing constant. – J. of indust/ Engineering, 1965, vol. 16, N
7. Жердев Н.К. Метод выбора переменной экспоненциального сглаживания //Автоматика. 1983. №6. С. 78-83

**Анализ целесообразности увеличения толщины термооболочки зданий**

*В. Н. Угловский*

*Вологодский государственный технический университет, Россия, г. Вологда*

Рациональное использование топливно-энергетических ресурсов как в России, так и во всем мире является одной из самых актуальных проблем. До недавнего времени дешевизна энергоносителей в нашей стране не позволяла ощутить максимальный экономический эффект от использования современных теплосберегающих материалов и оборудования. Только за последние несколько лет цены на электроэнергию выросли более чем на 45%, а на газ – более чем на 65%. Энергосберегающие технологии с каждым днем становятся все более востребованными. Целью строительства энергосберегающих домов является минимизация эксплуатационных расходов здания при условии сохранения комфортных условий проживания, защита окружающей среды от вредных отходов теплоисточников и теплового загрязнения.

В России за последний год был принят ряд основополагающих документов, способствующих повышению энергоэффективности:

– закон Российской Федерации от 23 ноября 2009 года № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности»;

– приказ Министерства регионального развития РФ от 28 мая 2010 года № 262 «О требованиях энергетической эффективности зданий»;

– приказ Министерства энергетики РФ от 19 апреля 2010 года № 182 «Об утверждении требований к энергетическому паспорту, составленному по результатам обязательного энергетического обследования и к энергетическому паспорту, составленному на основании проектной документации».

При проектировании энергоэффективных домов главное внимание уделяется следующим 5ти аспектам: энергоэффективное архитектурно-планировочное решение, энергосберегающее утепление здания, энергосберегающие окна, эффективная система воздухообмена, альтернативные источники энергии.

Первостепенной задачей после создания архитектурно-планировочного решения и рационального расположения здания по сторонам света является комплексный подбор энергоэффективного утепления и стеклопакетов. Зачастую этому этапу, в современных условиях проектирования, не уделяют должного внимания, принимая толщину утеплителя и расчетное значение сопротивления теплопередаче окон по минимально-допустимому значению согласно строительных норм и правил, что ведет к относительно большим эксплуатационным затратам на отопление и вентиляцию здания.

В связи с этим основной целью работы является анализ целесообразности увеличения толщины теплоизоляционной оболочки здания, а также расчетного сопротивления теплопередаче окон.

Методика проведения исследования заключается в следующем:

1) Для проектируемого здания первоначальный выбор теплозащитных свойств конструкций здания производится, согласно [1] и [2], по показателям «а» и «б». Здание представляет собой двухэтажный дом усадебного типа с мансардой, стены двух типов - кирпичные с эффективным утеплителем (тип 1) и каркасно-деревянные с эффективным утеплителем (тип 2), пол выполнен по грунту.

2) Задавшись начальными параметрами выполним расчет по показателю «в» - удельному расходу тепловой энергии на отопление здания, позволяющему варьировать величинами теплозащитных свойств различных видов ограждающих конструкций зданий. Расчет по данному показателю максимально отразит теплозащитные характеристики проектируемого здания и даст возможность присвоить класс энергетической эффективности.

3) Анализ эффективности увеличения толщины теплоизоляционной оболочки сверх нормативных значений, полученных по показателям «а» и «б».

Осуществляется путем перерасчета удельного расхода тепловой энергии (показатель «в») при последовательном увеличении толщины каждого элемента термооболочки здания в отдельности, что дает возможность судить об изменениях показателей в более широкой форме. Помимо утеплителя в работе так же рассмотрены энергосберегающие окна и их вклад в общую картину теплоизоляции здания.

В результате выполненных расчетов получили следующие нормируемые значения по показателям «а» и «б»:

- для стен «типа 1»:  $R_{\text{req}} = 3,4 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$  (принимаем утеплитель Rockwool Кавити Баттс™  $t=90\text{мм}$ );

- для стен «типа 2»:  $R_{\text{req}} = 3,4 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$  (принимаем утеплитель Rockwool Лайт Баттс™  $t=120\text{мм}$ );

- для кровли:  $R_{\text{req}} = 5,01 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$  (принимаем утеплитель Rockwool Лайт Баттс™  $t=200\text{мм}$ );

- приведенное сопротивление теплопередаче пола по грунту:  $R_f = 2,37 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ ;

- для окон  $R_{\text{req}} = 0,58 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ .

Далее, согласно методике, представленной в приложении Г[1], был определен фактический удельный расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию  $q_h^{\text{des}} = 86,23 \text{ кДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C} \cdot \text{сут})$ , а так же потребность в тепловой энергии за отопительный период  $Q_h^y = 123920 \text{ МДж}$ . Согласно таблице 8 [1] нормируемый  $q_h^{\text{req}} = 110 \text{ кДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C} \cdot \text{сут})$ , из чего следует, что зданию можно присвоить класс энергетической эффективности В – высокий.

Одним из основополагающих решений в начальном этапе проектирования при создании комфортного, а главное, энергоэффективного здания является его правильно подобранная теплоизоляция. Увеличивать толщину утеплителя можно вплоть до метровых величин, но будет ли это выгодно как с энергетической, так и с экономической стороны может отразить только расчет.

Изменение приведенного сопротивления теплопередаче стен здания при увеличении толщины теплоизоляции стен представлено в таблице 1. При каждом увеличении толщины теплоизоляции стен был проведен перерасчет по показателю «в». На основании результатов составлен график снижения потребности в тепловой энергии, представленный на рисунке 1.

Аналогичные расчеты были сделаны для утеплителя кровли, утеплителя пола по грунту и светопрозрачных конструкций (окон). Результаты сведены в отдельные графики.

Таблица 1. Увеличение толщины теплоизоляции стен.

Увеличение толщины утеплителя на, мм	Расчетное сопротивление теплопередаче доп. слоя, $(\text{м}^2\cdot\text{°C})/\text{Вт}$	Приведенное сопротивление теплопередаче стен, $(\text{м}^2\cdot\text{°C})/\text{Вт}$
50	1,25	4,285
100	2,5	5,41
150	3,75	6,535
200	5	7,66

Потребность в тепловой энергии на отопление, МДж

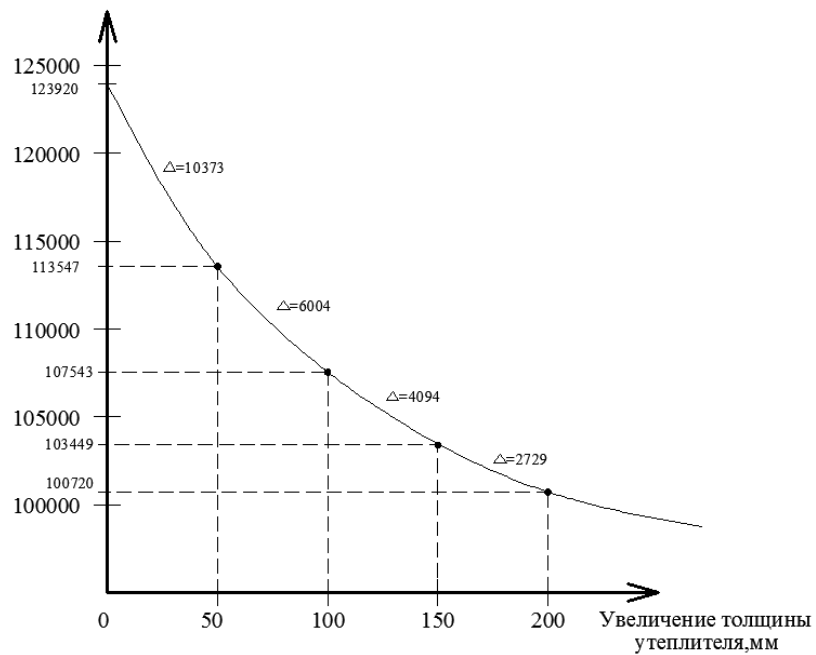


Рис. 1. График снижения потребности в тепловой энергии при увеличении толщины утеплителя стен

Потребность в тепловой энергии на отопление, МДж

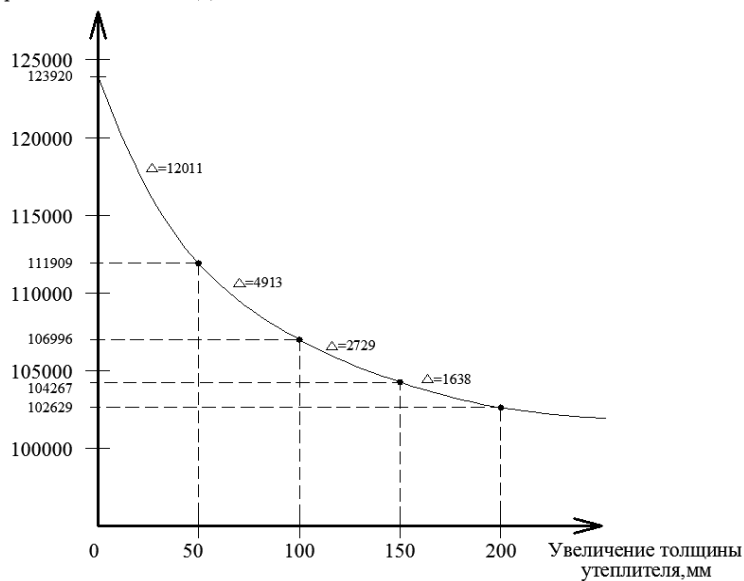


Рис. 2. График снижения потребности в тепловой энергии при увеличении толщины утеплителя пола по грунту

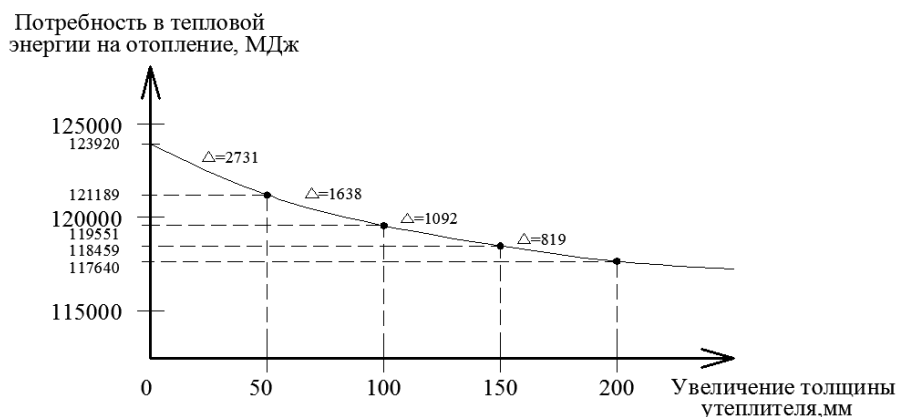


Рис. 3. График снижения потребности в тепловой энергии при увеличении толщины утеплителя кровли

По результатам аналитических данных принимаем следующие решения: для стен «типа 1»  $t_{yt} = 150$  мм; стен «типа 2»  $t_{yt} = 250$  мм; для пола по грунту  $t_{yt} = 100$  мм; окна энергоэффективные  $R_{req} = 1 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ .

Фактический удельный расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию  $q_h^{des} = 50,44 \text{ кДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C} \cdot \text{сут})$  уменьшился на 41.5%. Потребность в тепловой энергии за отопительный период  $Q_h^y = 72060 \text{ МДж}$  уменьшилась на 41.8%. Величина отклонения расчетного (фактического) значения удельного расхода тепловой энергии на отопление здания  $q_h^{des}$  от нормативного составляет минус 54.15%. Согласно таблицы 3 [1] зданию можно присвоить класс энергетической эффективности А – очень высокий.

Таким образом после комплексного и сравнительно небольшого увеличения теплозащитных свойств оболочки здания затраты на отопление здания уменьшились на 41.8%.

Проанализировав полученные результаты и графики можно сделать вывод о том, что целесообразность увеличения толщины утеплителя и увеличение расчетного сопротивления окон постепенно уменьшается по закону показательной функции. Из этого следует, что для получения наилучшего эффекта утепления здания необходимо увеличить толщину каждого компонента оболочки здания в разумных пределах, которые необходимо определять путем детального анализа. При нынешнем росте цен на энергоносители рациональное увеличение термозащиты здания будет давать весомый экономический эффект для владельцев недвижимости, а также вносить свой вклад в сохранение энергоресурсов и окружающей среды.

#### Список литературы:

1. Строительные нормы и правила: СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий.- Введ. 01.10.2003.- М.: ЦИТП Госстроя России, 2003.-45 с.
2. Свод правил: СП 23-101-2004. Проектирование тепловой защиты зданий.- Введ. 01.06.2004.- М.: ЦИТП Госстроя России, 2004.-186 с.

#### Разработка эффективной программы энергосбережения для МУЗ «ШЦРБ»

*Худжамкулов Искандар Назарбаевич, Климова Галина Николаевна*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск*

Начиная с 2008 года, на территории Российской Федерации был принят ряд федеральных документов, таких как указ президента №889, ФЗ №261, направленных на разработку программ повышения энергетической эффективности для потребителей всех уровней. Согласно 261 ФЗ бюджетным учреждениям необходимо снизить общее энергопотребление на 15% к 2015 году относительно показателей 2009 года. [3] Данные меры направлены на снижение энергопотребления всех бюджетных сфер деятельности и, как следствие, снижение нагрузки на местные и областные бюджеты.

На региональном и муниципальном уровнях крупнейшими бюджетными потребителями являются объекты образования и здравоохранения. Высокие расходы энергии в бюджетной сфере определяются тем, что значительная часть объектов изношена, требует капитального ремонта и



имеет низкий уровень благоустройства. Для модернизации всех объектов бюджетной сферы, включая меры по повышению эффективности использования коммунальных ресурсов, потребуется не менее 500 млрд руб. Бюджетная система не способна выделить такой объем ресурсов на данные цели. Однако потребность в них может быть существенно снижена при запуске механизмов, в которых экономия финансирует модернизацию.[2]

Ввиду снижения инвестиций в энергетику в последние годы и постоянного дефицита местных и областных бюджетов, необходимо реализовать организационные и технические мероприятия по обеспечению надежности и качества электрической энергии при минимальных затратах[1]. Для этого необходимо не только обеспечить минимизацию затрат на покупку, доставку и установку оборудования, но и грамотно составить программу энергосбережения. Постепенное внедрение энергосберегающих мероприятий позволяет распределить капитальные вложения по годам, разгрузив тем самым бюджет, а градация по степени приоритетности позволяет внедрять в первую очередь наиболее эффективные мероприятия.

Исследование проведено на примере МУЗ «Шегарская центральная районная больница» расположенного в районном центре Шегарского района Томской области, с. Мельниково. На территории района насчитывается 37 населенных пунктов, 6 сельских поселений, общая численность населения Шегарского района 20676 человек. Объект был выбран, как наглядный пример нерационального использования энергетических ресурсов и наиболее социально значимый для данного района.

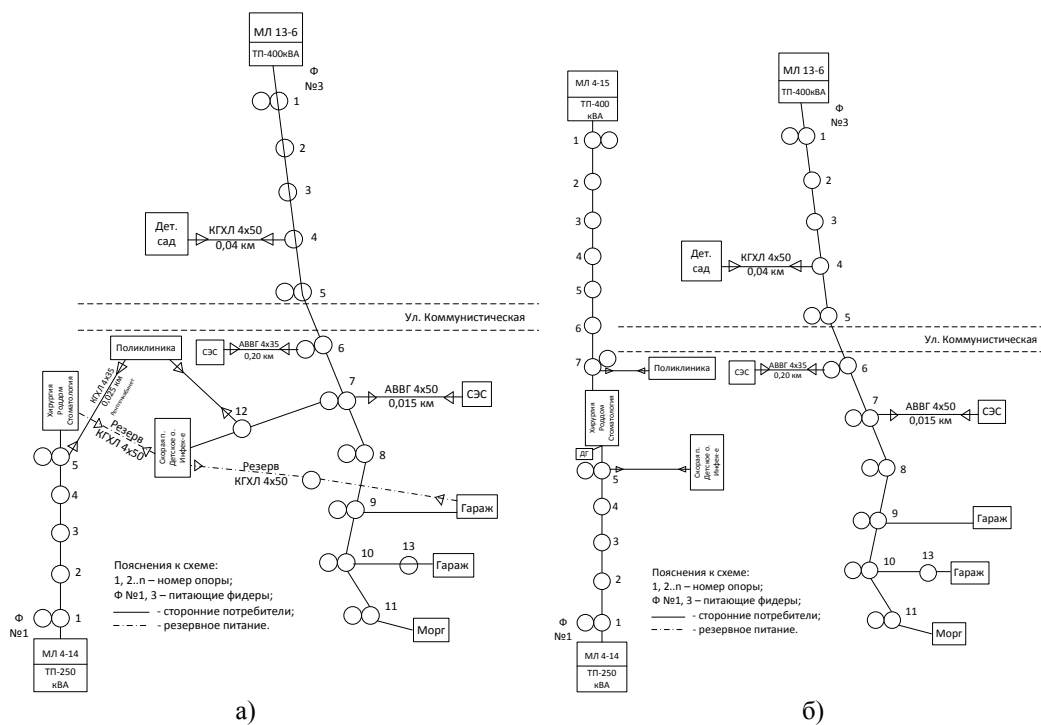
После проведения документального и инструментального анализов в МУЗ ШЦРБ, был разработан ряд организационных и технических мероприятий по снижению энергопотребления и обеспечению надежности электроснабжения.

В результате анализа договора электроснабжения были выявлены следующие нарушения:

Категория надежности электроснабжения указана как 3, в то время как хирургическое отделение больницы относится к 1 категории надежности электроснабжения, остальная часть больницы – ко второй.

Не установлены значения аварийной и технологической брони.

Точка раздела балансовой и эксплуатационной принадлежности расположена на шинах питающей подстанции, в то время, как она должна находиться на ближайшей к потребителю опере питающего фидера.



Внесение изменений в договор электроснабжения и разработка акта согласования технологической и аварийной брони электроснабжения позволило ликвидировать данные ошибки,

повысить надежность электроснабжения и снизить затраты, связанные с оплатой потерь электрической мощности в питающем фидере.

Существующая система внешнего электроснабжения больницы была разработана с учетом 3 категории надежности всех потребителей и не обеспечивала питания потребителей первой категории надежности электроснабжения от двух независимых источников питания и резервного источника. Таким образом встал вопрос и модернизации питающей сети, с учетом изменений в договоре энергоснабжения и категорийности электроприемников. Было принято решение о постройке дополнительной ЛЭП от близлежащей подстанции и изменении схемы подключения корпусов больницы. На рисунках 1а и 1б изображены существующая и модернизированная схемы внешнего электроснабжения соответственно.

В качестве резервного источника электроснабжения было решено использовать газопоршневую когенерационную установку, т.к. после подробного технико-экономического анализа данной установки с дизельным генератором, были выявлены следующие ее преимущества:

- Низкая себестоимость энергии, за счет одновременной выработки тепловой и электрической энергии;
- Более низкие цены на топливо, отсутствие необходимости транспортировки и создания резерва топлива;
- Обеспечение тепловой энергией от независимого источника, возможность создания централизованной системы ГВС, что влечет за собой повышение социального уровня больницы.

Ввиду того, что на освещение приходилась основная часть электропотребления больницы и система освещения являлась устаревшей, было принято решение о ее модернизации, с использованием современных энергоэффективных источников света.

Затраты на тепловую энергию являются основной статьей расхода больницы, вместе с тем инструментальное исследование тепловой системы показало, что тепловая энергия расходуется, в основном, на отопление зданий. В связи с неудовлетворительным состоянием ограждающих конструкций зданий больницы большая часть тепловой энергии расходовалась на потери через ограждающие конструкции зданий. Это послужило поводом для модернизации ограждающих конструкций, с целью повышения их термического сопротивления.

Используя данные произведенных расчетов энергосберегающие мероприятия были представлены в таблице 1, с данными о капитальных затратах, потенциале экономии и сроку окупаемости по каждому из них. Таблица составлена с учетом приоритетности каждого из мероприятий и графика их внедрения. Для этого была произведена оценка и ранжирование энергосберегающих мероприятий по следующим параметрам:

- капитальные затраты;
- годовое сбережение энергии и денежных средств;
- срок окупаемости мероприятия.

Таблица 3.2 – График внедрения энергосберегающих мероприятий

Год внедрения	Наименование мероприятия	Капитальные затраты, тыс. руб.	Эффект от энергосбережения
2013	Модернизация внешней питающей сети больницы	160	119,01МВт; 303,15 Гкал
2013	Внедрение газопоршневой установки с комбинированной выработкой тепловой и электрической энергии	980	
2013	Реконструкция систем внутреннего освещения корпусов больницы	302,74	
2013	Установка индивидуальных тепловых пунктов	1600	
2014	Установка оконных конструкций из ПВХ профиля	3197,72	262,29 Гкал
2015	Утепление наружных ограждающих конструкций зданий больницы	5637,41	427,52 Гкал

Предпочтение отдавалось мероприятиям с меньшими капитальными затратами и большим годовым сбережением энергии и денежных средств, что в результате обеспечило меньший срок окупаемости проекта.

Несмотря на небольшую привлекательность, с точки зрения экономии энергетических ресурсов и срока окупаемости, таких мероприятий, как модернизация внешней питающей сети и внедрение газопоршневой установки, эти мероприятия должны быть реализованы в первую очередь. Это необходимо для обеспечения требуемого уровня надежности электроснабжения и нормального функционирования ШЦРБ.

Реконструкция систем внутреннего освещения корпусов больницы позволяет сэкономить значительное количество электрической энергии при относительно небольших капиталовложениях. Это делает данное мероприятие наиболее привлекательным для реализации в 2013 году. Такие энергосберегающие меры, как замена окон и утепление ограждающих конструкций не требуют значительных затрат на обслуживание, что позволяет обеспечить экономию денежных средств без дополнительных расходов. Ввиду высокой стоимости модернизации ограждающих конструкций в 2014 году будет произведено только данное мероприятие. Внедрение индивидуальных тепловых пунктов является наименее привлекательным с экономической точки зрения, поэтому данное мероприятие будет выполнено в последнюю очередь, в 2015 году.

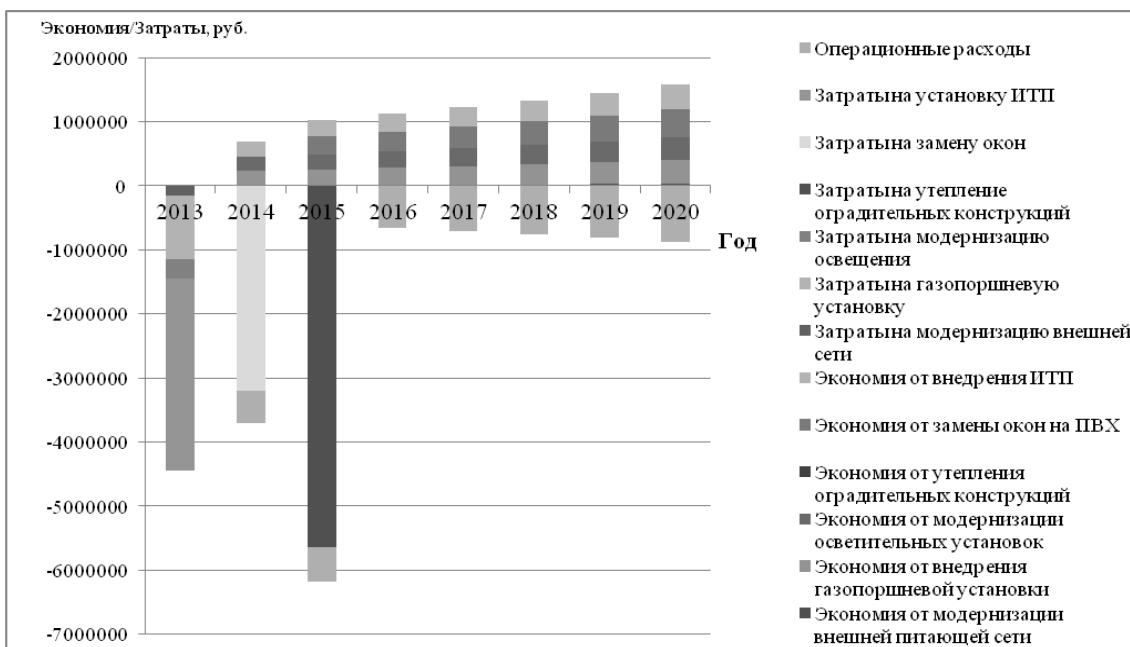


Рис. 2 – Капитальные затраты и динамика изменения количества сэкономленных денежных средств за счет применения энергосберегающих мер.

Начиная с 2016 года, после завершения всех строительных и монтажных работ, стоимость сэкономленной энергии значительно превышает текущие затраты на эксплуатацию и ремонт оборудования, а так же выплату заработной платы персоналу и т.д. Представленная программа энергосбережения и предложенные организационные и технические мероприятия позволяют обеспечить поставленной в 261 ФЗ задачи о 15% снижении энергозатрат к 2015 году, по сравнению с показателями 2009 года. Более того, в части тепловой энергии представляется возможным достичь 45% снижения энергопотребления из внешней сети, за счет снижения потерь через ограждающие конструкции, исключения перерасхода энергии из-за перетопа зданий и самостоятельной выработки тепловой энергии на нужды ГВС.

#### Список литературы:

1. Горюнов И.Т., Мозгалева В.С., Богданова В.А. Проблемы обеспечения качества электрической энергии. // Электрические станции, 2001. №1. С. 16-20.
2. Повышение энергоэффективности в организациях бюджетной сферы. Режим доступа: [[http://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=4404](http://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=4404)]. Дата доступа: 25.11.2013 г.

3. Федеральный закон от 23.11.2009 N 261-ФЗ (ред. от 02.07.2013) "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации"

**Проекты повышения энергоэффективности и энергосбережения: особенности расчета ставки дисконтирования**

**Чернов С.С., Бельчикова Е.С.**

*ФГБОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет», Россия, г.*

*Новосибирск*

[belchikova-e@mail.ru](mailto:belchikova-e@mail.ru)

Несмотря на существенный прогресс в повышении энергоэффективности в последние годы, Россия все еще принадлежит к группе стран с очень высокой энергоемкостью ВВП. Снижение энергоемкости ВВП стало одним из важнейших исходных условий формирования вариантов развития экономики на период до 2020 года.

При этом основным препятствием для реализации мероприятий по энергосбережению и повышению энергоэффективности являются экономические и финансовые барьеры. Речь идет о высоких инвестиционных затратах на такие проекты, в частности неприемлемость для предприятий длительных сроков окупаемости (низкой финансовой эффективности) проектов в области энергосбережения и повышения энергоэффективности. Также препятствием является недостаток собственных средств предприятий для осуществления проектов по повышению энергоэффективности и неприемлемые условия внешнего финансирования, предлагаемые на рынке и тесно связанные с высоким уровнем инвестиционных затрат. Помимо этого, для реализации мероприятий по энергосбережению невозможно практически применять меры государственной поддержки в связи с чрезмерно высокими затратами времени и средств на подготовку документов для ее получения [1].

В таких условиях проекты по повышению энергоэффективности будут утверждаться только в том случае, если они будут обладать достаточно высокой инвестиционной привлекательностью. Инвестиционная привлекательность любого проекта отражается в оценке его эффективности. Эффективность инвестиционного проекта характеризуется системой показателей, отражающих соотношение затрат и результатов применительно к интересам его участников. Одним из основных показателей для оценки экономической эффективности инвестиционных проектов является чистый дисконтированный доход или NPV. Суть данного показателя состоит в сравнении текущей стоимости будущих денежных поступлений от реализации проекта с необходимыми для этого расходами. Процесс пересчета будущей стоимости денежного потока в текущую называется дисконтированием, а ставка, по которой происходит дисконтирование, – ставкой дисконтирования [2]. Выбор ставки дисконтирования – спорный момент при оценке инвестиционного проекта, т.к. даже небольшое отличие в значении ставки дисконтирования может сделать перспективный и прибыльный проект убыточным. Помимо NPV ставка дисконтирования влияет также и на дисконтированный срок окупаемости инвестиций – при разных ее значениях один и тот же проект может окупиться в различные сроки, что не может не влиять на его привлекательность для потенциальных инвесторов. В связи с этим представляет интерес обзор основных методов расчета ставок дисконтирования и области их применения для проектов энергосбережения и энергоэффективности.

Наиболее распространенными являются следующие методы расчета ставок дисконтирования:

- метод оценки капитальных активов (САРМ);
- метод кумулятивного построения (ССМ);
- метод средневзвешенной стоимости капитала (WACC).

Первый метод основан на модели оценки доходности капитальных активов (САРМ). Это теоретическая модель, которая базируется на анализе информации фондового рынка. Ставка дисконтирования в соответствии с этой моделью рассчитывается по формуле (1).

$$RD = R_f + \beta(R_m - R_f), \quad (1)$$

где RD – ставка дисконтирования;  $R_f$  – безрисковая ставка доходности;  $R_m$  – среднерыночная норма прибыли;  $\beta$  – коэффициент, характеризующий меру систематического риска, т. е. риска, связанного с макроэкономическими и политическими процессами в стране [3].

В качестве безрисковых активов для определения показателя  $R_f$  рассматриваются обычно государственные ценные бумаги. Величина коэффициента  $\beta$  определяется на основе анализа ретроспективных данных [4]. Однако в условиях российской экономики использование длительного периода наблюдений для расчета  $\beta$ -коэффициента может дать коэффициент, не соответствующий текущей ситуации компании.

Анализ динамики изменения индекса ММВБ Энергетика, который в случаях оценки энергопроектов мог бы служить показателем  $R_m$ , свидетельствует, что доходность менялась бы от -74% до +165%. Поэтому говорить об определении разумных параметров среднегодового избыточного дохода в России сейчас невозможно. Что касается области применения метода CAPM, то данный метод может использоваться ОАО, для ЗАО метод потребует корректировок. Этот метод не смогут применить и фирмы, у которых нет достаточной статистики (минимум 5 лет) для расчета своего  $\beta$ -коэффициента [5]. Таким образом, для предприятий России, реализующих проекты по повышению энергоэффективности, может быть затруднительно применение данного метода.

Второй подход к определению величины ставки дисконтирования основан на методе кумулятивного построения (CCM). Метод позволяет учесть все виды рисков инвестиционных вложений, связанных как с факторами общего характера, так и со спецификой оцениваемого проекта. Ставка дисконтирования с использованием метода CCM рассчитывается по формуле (2).

$$RD = R_f + i + \sum_{i=1}^n R_i, \quad (2)$$

где  $RD$  – ставка дисконтирования;  $R_f$  – безрисковая ставка доходности;  $i$  – темп инфляции;  $R_i$  – премия за  $i$ -вид риска;  $n$  – количество премий за риск [5].

В российской оценочной практике экспертная оценка премий за риск обычно имеет следующую структуру:

- качество руководства (0 – 5%);
- размер компании (0 – 5%);
- финансовая структура (0 – 5%);
- диверсификация производственная и территориальная (0 – 5%);
- диверсификация клиентуры (0 – 5%);
- доходы: рентабельность и прогнозируемость (0 – 5%);
- прочие особенные риски (0 – 5%) [2, с. 185].

Стоит отметить, что в соответствии с данной методикой всем факторам риска соответствует достаточно широкий диапазон премии за риск. По каждому фактору предполагается субъективная оценка надбавки за риск, а, следовательно, и субъективная оценка величины ставки дисконтирования. В методике отсутствует обоснование – почему конкретный диапазон величины премии за риск соответствует конкретному фактору.

Другой подход к определению премии за риск в рамках расчета ставки дисконтирования методом CCM изложен в Методических рекомендациях по оценке эффективности инвестиционных проектов. В рамках этого подхода при использовании кумулятивного метода рекомендуется учитывать три типа риска: страновой риск; риск ненадежности участников проекта; риск неполучения предусмотренных проектом доходов [6, с. 52]. Этот подход также не лишен недостатков: в отношении риска ненадежности участников проекта нет конкретных рекомендаций по расчету премии за риск, в отношении риска неполучения предусмотренных проектом доходов приведены лишь ориентировочные величины поправок на риск с достаточно широким диапазоном, использование которых в свою очередь приводит к субъективизму оценки.

Таким образом, для использования этого метода на практике необходимо разработать процедуру, позволяющую повысить объективность оценки. Стоит отметить, что, несмотря на указанные недостатки, метод кумулятивного построения является универсальным. При использовании для проектов повышения энергоэффективности данный метод позволяет учесть специфические риски таких проектов, такие как риски, связанные с управлением проектами, риски, связанные с развитием инфраструктуры и т.д.

Третий подход к определению величины ставки дисконтирования основан на методе средневзвешенной стоимости капитала (WACC). Метод WACC учитывает соотношение акционерного и заемного капитала. Ставка дисконтирования с использованием метода WACC рассчитывается в соответствии с формулой (3).

$$RD = K_C \cdot W_C + ((K_3 - SR \cdot 1.1) + SR \cdot 1.1 \cdot (1 - T)) \cdot W_3, \quad (3)$$

где RD – требуемая норма доходности (ставка дисконтирования);  $K_C$  – стоимость собственного капитала;  $W_C$  – доля собственного капитала;  $K_3$  – стоимость заемного капитала;  $W_3$  – доля заемного капитала; T – ставка налога на прибыль; SR – ставка рефинансирования [2, 7].

WACC применим в качестве ставки дисконтирования при выполнении следующих условий:

- анализ проекта производится с позиции действующего предприятия-проектоустроителя;
- новый инвестиционный проект и обычные для компании инвестиции имеют одинаковую степень риска, финансируются из одних и тех же источников;
- проект не должен быть большим и требовать привлечения дополнительных источников финансирования;
- цены каждого из источников капитала не должны меняться в течение срока жизни проекта [8, с. 224 – 225].

При невыполнении данных условий для оценки ставки дисконтирования методом WACC рекомендуют использовать переменную по шагам проекта норму дисконта [2, с. 181]. Однако авторы данной статьи считают такой подход неверным: сложно представить, что инвестор на стадии предпроектной разработки, оценивая перспективы проекта, полагает, что его ожидания в отношении степени рискованности проекта с каждым шагом расчета проекта будут меняться. Таким образом, с точки зрения авторов статьи, изменения по шагам проекта исходных данных для расчета средневзвешенной стоимости капитала не являются ограничением области применения данного метода для оценки ставки дисконтирования инвестиционного проекта. Ставка дисконтирования оценивается на стадии предпроектной разработки и на протяжении всего расчетного периода является неизменной.

В результате анализа особенностей рассмотренных подходов к определению нормы дисконта был сделан вывод: существующие подходы к оценке ставки дисконта не учитывают как характерные особенности проектов повышения энергоэффективности, так и особенности страны, на территории которой реализуются такие проекты, отраслевые особенности компаний, в рамках которых реализуются проекты. Однако, даже с учетом имеющихся недостатков, из рассматриваемых подходов наиболее точным и объективным подходом является подход, основанный на методе WACC, в связи с наименьшей долей экспертных оценок в расчетной формуле. Далее было принято решение на основе метода WACC разработать рекомендации по его совершенствованию и адаптации для расчетов проектов повышения энергоэффективности.

Разработка таких рекомендаций и будет являться дальнейшим направлением представленной работы.

#### Список литературы:

1. Гашо Е. Г., Пузаков В. С., Степанова М. В. Особенности реализации политики энергосбережения в регионах: аналитический сб. – М.: Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации, 2012. – 62с.
2. Есипов В.Е. [и др.] Экономическая оценка инвестиций: Теория и практика. – СПб.: Вектор, 2006. – 288 с.
3. Черепанов Д. Ставка дисконтирования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.umito.ru/backoffice/257-diskontstavka> (дата обращения 15.11.2013).
4. Салун В.С. Критерии выбора ставки дисконтирования при анализе инвестиционных проектов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.alt-invest.ru/index.php/ru/biblioteka/tematicheskie-stati/analiz-investitsionnykh-proektov/1585-kriterii-vybora-stavki-diskontirovaniya-pri-analize-investitsionnykh-proektov> (дата обращения 10.11.2013).
5. Манагаров Р. Обзор методов расчета ставки дисконтирования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.cfin.ru/finanalysis/math/discount\\_rate.shtml](http://www.cfin.ru/finanalysis/math/discount_rate.shtml) (дата обращения 18.11.2013).
6. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов. Вторая редакция. Официальное издание. – М.: Экономика, 2000. – 421с.
7. Панферов Д.И. Особенности и методика оценки стоимости финансовых ресурсов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.profiz.ru/peo/5\\_2012/osobennosti\\_i\\_metodi/](http://www.profiz.ru/peo/5_2012/osobennosti_i_metodi/) (дата обращения 18.11.2013).
8. Киселева Н.В. [и др.] Инвестиционная деятельность: учеб. пособие для студентов ВУЗов. – М.: КРОНУС, 2006. – 432с.

**Центр управления и принятия решений для топливно-энергетического комплекса региона***Лукьянец А.А., Чернов А.Г., Ротарь В.Г.\***Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН**\* НИ Томский политехнический университет, г. Томск**chernov\_artem@mail.ru*

Состояние дел в топливно-энергетическом комплексе (ТЭК) является одним из определяющих факторов для успешного социально-экономического развития региона. Особенно это заметно в регионах, где сосредоточены значительные запасы нефти и газа, функционируют мощные энергетические комплексы. Эффективно использовать имеющиеся ресурсы, обеспечивать развитие энергетических комплексов и связанных с ними смежных областей экономики, ориентируясь на социально-экономический рост территории в целом с минимально возможным воздействием на окружающую среду – это те задачи, которые встают перед органами власти, компаниями, составляющими ТЭК. Только сонаправленные, согласованные действия всех участников ТЭК могут обеспечить качественное развитие данной сферы и что возможно более важно, способствовать прогрессу в других подотраслях, которые без ТЭК в настоящее время не могут существовать, но вполне вероятно в среднесрочной перспективе имеют большие шансы на самостоятельное устойчивое функционирование, включая работу на новых рынках. Так, например, в Томской области подотрасли, которые на протяжении долгого времени являются «спутниками» ТЭК (образование, машиностроение, разработка автоматизированных систем управления и др.), всё больше и больше обретают устойчивость, диверсифицируют производство. Для продолжения сложившихся тенденций, объединения усилий в сфере ТЭК по нашему мнению необходимо в том числе рассматривать новые организационные формы взаимодействия, управления. Одной из таких форм взаимодействия по нашему мнению может стать центр управления и принятия решений (ЦУиПР) для топливно-энергетического комплекса региона.

Коллективные центры управления, принятия решений уже не являются для России чем-то особенно новым. Так, например, уже несколько лет в ряде отраслей, ведомствах функционируют ситуационные центры (СЦ) - сложные программно-аппаратные комплексы, включающие в себя средства сбора, ввода и обработки информации, средства моделирования ситуации и анализа последствий принимаемых решений. Подобные центры созданы для ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, контроля режимов работы энергосистем, транспорта и т.д., т.е. предназначены для оперативного реагирования на некоторый ограниченный круг потенциальных проблем.

Сфера ТЭК с точки зрения региональной экономики нуждается несколько в ином подходе. Здесь пересекаются интересы многих отраслей, от которых зависит социально-экономическое положение населения, развитие территорий. Поэтому требуется выработка сбалансированных по различным критериям (экономические, социальные, технологические, экологические) решений, участие в них значительного числа руководителей. К сожалению на практике зачастую случается, что участники сферы ТЭК занимают обособленные позиции, вступают в противоборство. Тогда как мировой опыт показывает, что конструктивным и интеграционным является «кластерный» подход, объединяющий разрозненные усилия в сфере развития ТЭК. Положительные примеры этому существуют как в России (Ханты-Мансийский автономный округ, Тюменская область) так и зарубежом (Норвегия, Канада и др.).

Для развития региона ЦУиПР ТЭК может обеспечить решение следующих важнейших задач:

- разведка месторождений полезных ископаемых, повышение геологической изученности на территории;
- оценка рисков реализации проектов по разработке месторождений;
- поиск, апробация, распространение технологий по разработке трудноизвлекаемых запасов;
- выработка решений по проектированию и дальнейшему строительству объектов наземного обустройства, линий электропередач, дорог и трубопроводов с целью их совместного использования недропользователями;
- координирование проектов по развитию смежных секторов производства и услуг, привлечению кадровых ресурсов.

Актуальность создания подобного центра вызвана в том числе тем, что всё большую долю в ресурсной базе недропользователей занимают трудноизвлекаемые запасы, а также запасы небольших, разрозненных месторождений. Их разработка экономически не рентабельна,

рискованна, требует применения дорогостоящих современных технологий. В то же время компании неохотно делятся имеющимся опытом, геологическими данными, практически не реализуют совместные инвестиционные проекты. В результате чего в проигрыше остаются все – и сами предприятия, и регион, в котором они работают. ЦУиПР ТЭК в этих условиях мог бы стать связующим звеном между органами власти, недропользователями, поставщиками энергии, услуг. При этом естественно, что инициатором создания центра должна выступать региональная власть. Либо в случае наличия профессиональных кадров она сама может решать обозначенные задачи. Однако в силу специфики структуры органов власти в большинстве случаев в региональной администрации подразделения создаются по отраслевому признаку (департамент энергетики, дорожного строительства, муниципального управления и др.). Они призваны решать в основном среднесрочные задачи, и их координация для выработки мер стратегического развития ТЭК очень затруднена.

Таким образом, как в сфере развития ТЭК, так и в целом в региональном развитии остро назрела необходимость кластерного подхода. Мыслить отдельными проектами уже не представляется возможным, по крайней мере, когда речь идёт о достижении стратегических целей и существенных сдвигах в развитии территорий. При этом основную цепочку в кластере как бы выстраивают представители крупного бизнеса (например, добывающее общество, предприятие транспорта нефти и газа, перерабатывающий завод), а дополнительные звенья образуются из смежных предприятий и организаций (сервисные, образовательные, поставщики услуг, предприятия машиностроения, связи и т.д.). Справедливости ради, стоит отметить, что с каждым годом примеров успешного взаимодействия крупных компаний со смежными предприятиями, организациями на территории одного региона становится всё больше. Это и образовательные проекты, и социальные, и инфраструктурные. Однако потенциал для продолжения совместного развития ещё очень высок. И помощь в его реализации со стороны координирующих структур, специализированных центров чрезвычайно необходима.

#### Способы оптимизации квартирного теплоснабжения

*Янченко А.В.*

*Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет, Россия, г.Комсомольск-на-Амуре  
[etf@knastu.ru](mailto:etf@knastu.ru)*

Согласно концепции устойчивого развития населенных пунктов развитие систем энергообеспечения должно идти по двум основным направлениям. Это, во-первых, энергосбережение и во-вторых, переход на использование возобновляемых источников энергии /1/. По подсчётам экономистов затраты на энергосбережение оказываются в 4-5 раз выгоднее, чем на производство эквивалентного количества энергии. В США на отопление зданий затрачивается 25 % всей вырабатываемой энергии, в Финляндии – 29 %. Среднее потребление тепла в домах разных стран составляет /2/: Россия – 425 квт.ч/м<sup>2</sup> год; Германия – 403 квт.ч/м<sup>2</sup> год; США – 399 квт.ч/м<sup>2</sup> год; Швеция – 165 квт.ч/м<sup>2</sup> год.

В России, как видно, расходы энергии на отопление одни из самых высоких. Самый первый и простой шаг по снижению энергопотребления – это уменьшение теплопотерь через окна, двери, стены, пол и потолок здания. Это направление энергосбережения активно развивается у нас и за рубежом. Благодаря совершенствованию ограждающих конструкций и ужесточению нормативных требований энергопотребление в домах Германии за последние 15 лет снизилось в 2-2,5 раза /3/. В России важным шагом в этом направлении стало принятие новых требований по повышению теплового сопротивления ограждающих конструкций зданий.

Дальнейшим шагом по энергосбережению в зданиях будет использование:

- теплового зонирования помещений здания;
- плана и объема здания оптимальной формы;
- оптимальной ориентации относительно сторон света.

За счёт этих чисто архитектурных мероприятий возможно сократить потери тепла на 20-40 % /3/. Извлекая тепло из выбрасываемого через вентиляцию нагретого воздуха, можно ещё в большей степени снизить теплопотери. Для этих целей в системах принудительной вентиляции надо устанавливать рекуператоры тепла, возвращающие тепло из отработанного воздуха обратно в помещение.



Однако большая часть жилого фонда России – это здания с централизованной системой отопления. Сегодня центральное отопление практически не регулируют по месту доставки тепла. Старые системы отопления не учитывают повсеместную установку пластиковых окон, установка которых приводит к повышению температуры в квартире в среднем на 5-7 градусов. Вынужденное проветривание квартир в этом случае приводит к большим потерям тепла теплоцентралей. Неравномерное распределение температур в квартирах (перепад достигает 15-20 градусов) в многоквартирных домах зависит от нескольких факторов: расположения квартиры относительно наружных стен дома и этажа, расположения стояков отопления и водораспределения в них. Чрезмерно низкие или высокие температуры снижают комфортность проживания, увеличивают теплопотери, заставляют пользоваться дополнительными приборами электрообогрева. Одним из выходов из этой ситуации является дифференцированный подход к квартирному обогреву с учетом вышеизложенных факторов. Возможные варианты систем теплоснабжения квартир представлены на Рис.1.

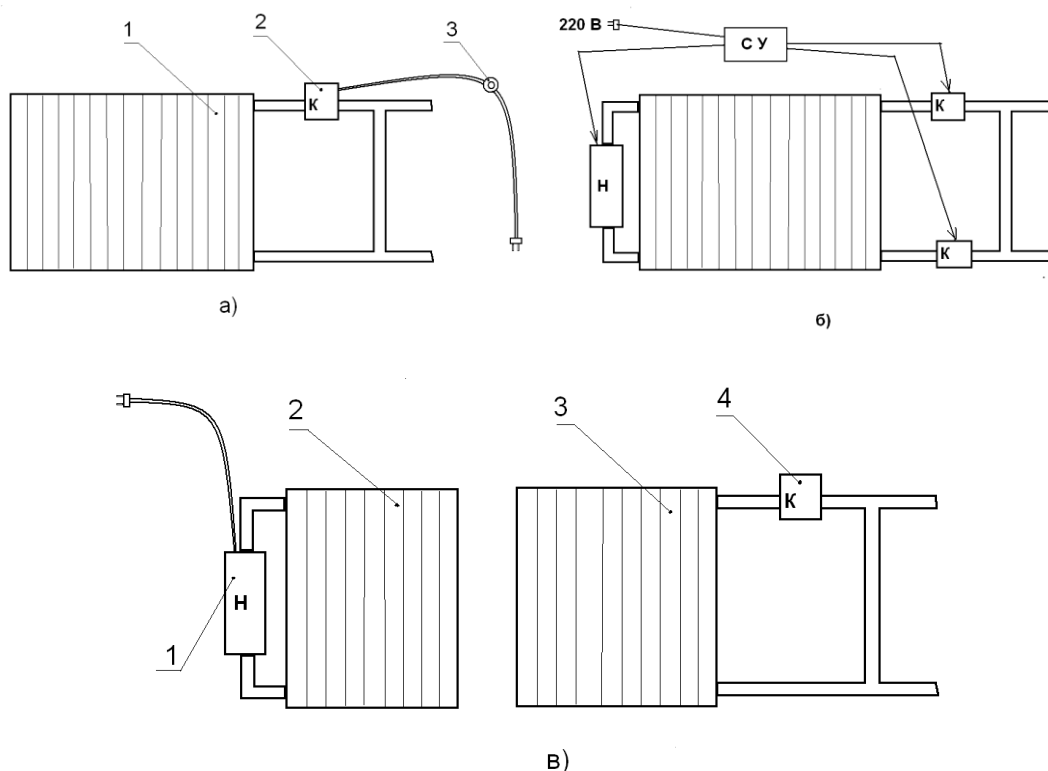


Рис.1 Варианты квартирного теплоснабжения: а) радиатор с терморегулятором; б) радиатор с совмещенным водо-электро-отоплением; в) типовые радиаторы с раздельным водяным и электроотоплением.

Поясним представленные на Рис.1 элементы теплоснабжения квартир. На Рис.1,а) представлен радиатор с терморегулятором, где 1 - радиатор, 2 – электромагнитный клапан двухпозиционного регулирования, 3 - датчик температуры в квартире. Расчеты показывают/4/ что при снабжении 40% квартир в доме такими регуляторами возможно достижение экономии теплоресурсов и повышения комфортности проживания во всём здании. При этом равномерность распределения температур в квартирах повышается, а разброс температур снижается. На Рис.1,б) представлена схема радиатора с совмещенным электро-водо-теплоснабжением. Электронагрев радиатора возможен при его отключении от центрального отопления с помощью клапанов К, управляемых системой управления СУ. Для электроподогрева в качестве нагревательных элементов можно использовать ТЭНы или индукционные-трансформаторные элементы (более надежные и безопасные). На Рис.1,в) представлена схема с отдельным электронагревом в типовом радиаторе, что позволяет варьировать и пользоваться двумя типами нагрева одновременно. Гибридные схемы теплоснабжения квартир позволяют переходить к использованию возобновляемых источников энергии, так как это является вторым основным направлением по совершенствованию энергообеспечения жилых домов.

Согласно классификации ООН к возобновляемым видам энергии относятся: энергия Солнца, ветра, биомассы, приливов и разности температурных слоёв воды в океанах, геотермальная, гидравлическая и др. Доступность этих видов энергии разная, к самым распространённым из них относятся солнечная и ветровая энергии /2/. Эти виды энергии легко преобразуются в электроэнергию, а солнечные коллекторы могут передавать тепло прямо в радиаторы без дополнительного преобразования.

Согласно расчётам специалистов, на поверхность 2 этажного коттеджного дома в средней полосе России солнечной энергии падает более 160 МВт.час/год, что превышает его годовую потребность даже при нынешнем расточительном уровне энергопотребления /2/. Для центра и юга Хабаровского края продолжительность солнечного сияния составляет более 2000 час/год, что соизмеримо с такими городами как Новосибирск и Омск. При комплексном использовании солнечных коллекторов и солнечных фотопанелей на зданиях небольшой этажности можно существенно сократить период отопления и сэкономить на освещении квартир /5 /. Экономическими и технологическими предпосылками для этого является повсеместное использование пластиковых окон, существенное снижение себестоимости производства солнечных панелей и светодиодных ламп (на 30-40% за последние десять лет). Таким образом, при некоторой оптимизации систем квартирного теплоснабжения существует принципиальная возможность обеспечения за счёт энергии Солнца частично или полностью энергетических потребностей современного жилого дома.

#### Список литературы:

1. <http://gendocs.ru/v18287> (статья: Григорьев В.А., Огородников И.А. Экологизация городов в мире, России, Сибири; часть – Технологические предпосылки), 2012
2. Лапин Ю. Н. Экожилё – ключ к будущему. – М., 1998. – 157 с.
3. Kennedy M., Kennedy D. Designing Ecological Settlements. – Berlin: Reimer, 1997. – 229 p.
4. Дзюба Л.С., Янченко А.В. Тепловой регулятор для систем водяного отопления в жилых помещениях. Материалы 42-й НТК аспирантов и студентов. ГОУВПО «КнАГТУ». Комсомольск-н/А, 2012 (размещение на сайте // [www: knastu.ru/](http://www.knastu.ru/))
5. Лещева Ю.Ю., Янченко А.В. Перспективы построения центра гелиоэнергетики в КнАГТУ. Материалы 11-ой НПК «Дальневосточная весна – 2011», КнАГТУ, Комсомольск-н/А, 2011. – 238 с.

#### Сравнение электроёмкости валового регионального продукта субъектов сибирского федерального округа

*Н.М. Чекмарева, М.В. Волков*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

[rcr@tpu.ru](mailto:rcr@tpu.ru)

Валовой региональный продукт (ВРП) — показатель, измеряющий валовую добавленную стоимость, исчисляемый путем исключения из суммарной валовой продукции объемов ее промежуточного потребления. На национальном уровне ВРП соответствует валовому национальному продукту, который является одним из базовых показателей системы национальных счетов.

Энергоемкость ВРП является основополагающим показателем в системе стоимости товаров и услуг, характеризует утяжеленность структуры экономики (высокая доля добывающих отраслей и тяжелого машиностроения) и наличие отсталых энергорасточительных технологий.

Что показывает энергоёмкость ВРП? Экономический показатель, отражающий объем потребленных ресурсов: природного топлива и продуктов переработки, пересчитанных в условное топливо по определенным коэффициентам, на 1 тыс. рублей ВРП. В динамике показывает сокращение потребления ресурсов природного топлива и продуктов переработки, в первую очередь, за счет энергосберегающих технологий. Снижение энергоёмкости характеризует устойчивое развитие региона [1].

В данной статье будет рассмотрена динамика изменения ВРП и энергоёмкости ВРП некоторых субъектов Сибирского федерального округа.

В Сибирский федеральный округ входит 12 субъектов РФ: 4 республики (Алтай, Бурятия, Тыва, Хакасия), 3 края (Алтайский, Забайкальский, Красноярский), 5 областей (Иркутская, Кемеровская, Новосибирская, Омская, Томская). Территория СФО составляет 30% территории России, население - 20,06 млн. человек. Ведущая отрасль экономики СФО – промышленность.

Валовой региональный продукт – 715,2 млрд. руб. (или 11,4% ВРП по России).  
Валовой региональный продукт на душу населения – 34,5 тыс. руб. (по России – 43,3 тыс. руб.).

Рассмотрим динамику изменения ВРП Красноярского края, Кемеровской, Новосибирской и Томской областей (табл. 1).

Таблица 1. Валовой региональный продукт на душу населения по субъектам Сибирского федерального округа 2005 – 2010гг.

Субъект СФО	ВРП, руб./чел.					
	2005г.	2006г.	2007г.	2008г.	2009г.	2010г.
Красноярский край	152 389,0	205 042,4	258 394,3	260 318,2	264 478,7	370 952,4
Кемеровская область	104 764,5	122 394,2	157 302,2	207 286,2	184 674,1	224 968,7
Новосибирская область	88 475,5	111 679,3	138 199,1	171 430,3	160 210,4	180 938,9
Томская область	155 365,2	184 433,6	209 319,9	241 911,3	237 293,3	272 208,1

Самый высокий показатель ВРП на 2010г. имеет Красноярский край – 370 952,4 руб./чел., в Томской области – 272 208,1 руб./чел. Эти значения превышают значение ВРП по РФ, которое составляет 261 803,7 руб./чел., на 41,5% и 4% соответственно.

За период с 2005 по 2010 г. абсолютный годовой прирост ВРП на душу населения составил: в Красноярском крае – 218 563,4 руб./чел., в Кемеровской области – 120 204,2 руб./чел., в Новосибирской области – 92 463,4 руб./чел., в Томской области – 116 842,9 руб./чел.

Средний темп роста за те же годы составлял: в Красноярском крае – 40,5%, в Кемеровской области – 36%, в Новосибирской области – 34%, в Томской области – 29%. Средний темп роста ВРП в целом по субъектам РФ составил 35%.

Как можно видно из рисунка 1, в период экономического кризиса (2008 – 2009 г.), который сопровождался падением промышленного производства и ростом безработицы, происходит резкое замедление темпов роста ВРП Красноярского края (1,5%) и падение ВРП Кемеровской, Новосибирской и Томской областей на 10,9%, 6,5% и 1,9% соответственно.



Рисунок 1. Динамика изменения ВРП на душу населения

Из рисунка 2 видно, что в рассматриваемых субъектах Сибирского федерального округа отраслевая структура ВРП сильно различается. В Новосибирской области преобладающая отрасль – торговля, с долей в общем объеме ВРП 18%. В Томской и Кемеровской областях – добыча полезных ископаемых, с их долей в общем числе ВРП 24% и 32% соответственно, а в Красноярском крае – обрабатывающие производства (35%).

Доля сельского хозяйства в структуре ВРП различается не значительно. Наибольшая доля отмечена в Новосибирской области – 6%, на втором месте – Томская область – 5%; наименьшая доля - 3% была отмечена в Кемеровской области.

Наибольшая доля строительства в отраслевой структуре ВРП в 2010 г. приходится на Красноярский Край (7%) и Томскую область (5%), в Новосибирской и Кемеровской области доля строительства – 4%. В 2000 г. доля строительства в субъектах варьировалась незначительно: 3,6-6,7%, при этом наибольшая доля отмечена в Томской области – 6,7%; наименьшая – в Новосибирской области – 3,6%.

В отраслях, производящих услуги сложилась следующая ситуация. Наибольшую долю транспортных услуг в своей структуре ВРП в 2010 г. имели Новосибирская – 14%, Томская - 13% области; наименьшую – Кемеровская область – 9%. В 2000 г. доля транспортной составляющей находилась примерно на одном уровне (10,2-10,6%) в Новосибирской, Томской и Кемеровской областях.

Доля предоставления платных услуг достаточно высока в Новосибирской области (16%) и в Томской области (12%), наименьшую долю имеет Красноярский край – 5%.

Доли здравоохранения и образования колеблются в пределах 3 – 5%. 5% - Новосибирская область, 3% - Красноярский край.

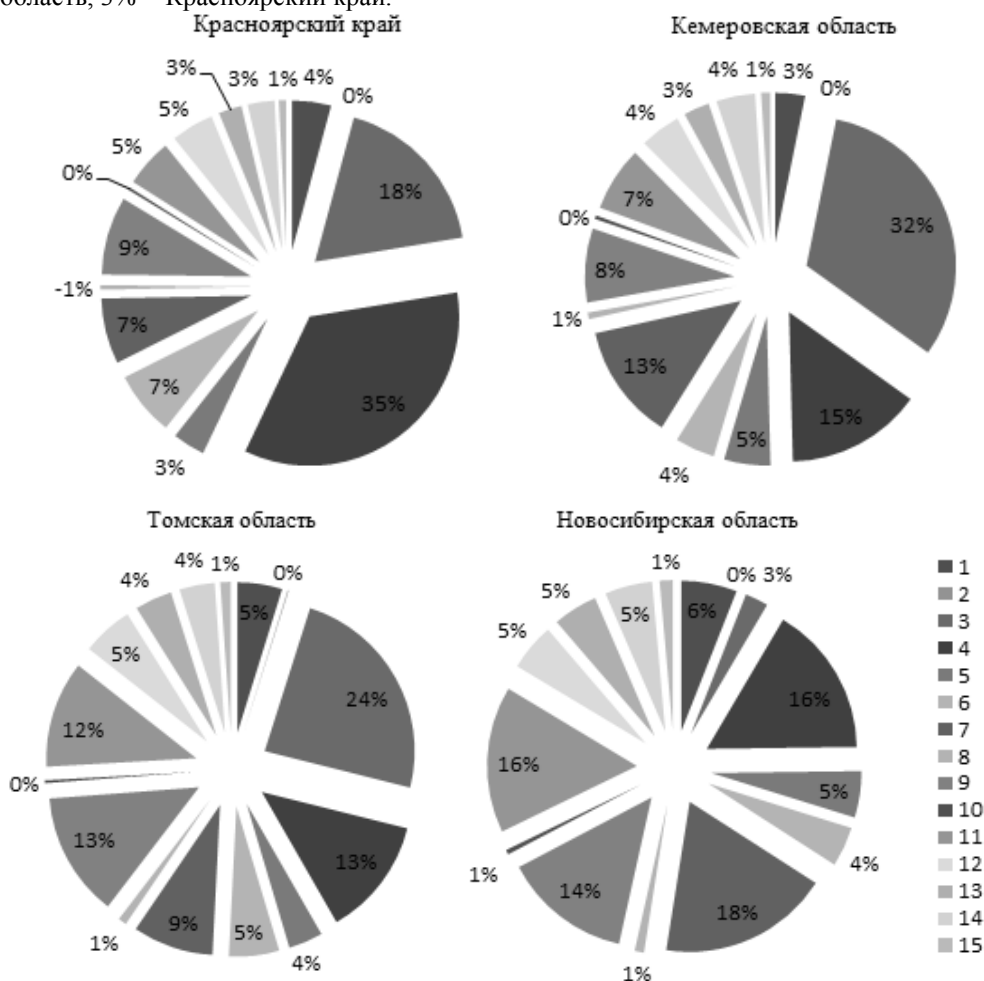


Рисунок 2. Структура ВРП по видам экономической деятельности за 2010г. 1 – сельское хозяйство; 2 – рыболовство, рыбоводство; 3 – добыча полезных ископаемых; 4 – обрабатывающие производства; 5 – производство и потребление электроэнергии; 6 – строительство; 7 – торговля; 8 – гостиницы и рестораны; 9 – транспорт и связь; 10 – финансовая деятельность; 11 – предоставление услуг; 12 – государственное управление и обеспечение военной безопасности; 13 – образование; 14 – здравоохранение; 15 – предоставление прочих коммунальных услуг.

Высокий уровень электроемкости ВРП Сибирского Федерального округа обусловлен объективными причинами, включая климатический фактор и сложившуюся отраслевую структуру

промышленности, а также субъективными, включая высокий уровень износа оборудования и технологическую отсталость производства. Снижение электроемкости ВРП всегда рассматривалось в качестве важнейшей государственной задачи и находилось под особым контролем органов управления. За последние годы как на федеральном, так и на региональном уровнях приняты законодательные акты, направленные на активизацию процессов энергосбережения. Благодаря этим мерам за последние годы в динамике электроемкости ВРП наблюдаются положительные изменения (табл. 2).

С 2005 – 2010 гг. электроемкость ВРП значительно снизилась. Электроемкость ВРП Красноярского края за 6 лет снизилась на 55%. В среднем, она снижалась на 9,22% в год. Электроемкость ВРП Кемеровской области – на 52%, примерно на 8,65% в год. Электроемкость ВРП Новосибирской области – на 46%, примерно на 7,68% в год. Электроемкость ВРП Томской области – на 39,4%, примерно на 6,56% в год. Во время кризиса 2008 – 2009 г. электроемкость ВРП Красноярского края и Томской области снизилась (рис. 3), на 4,5% и 9,42% соответственно, а электроемкость ВРП Новосибирской и Кемеровской областей выросла на 8,4% и 2,3% соответственно.

Таблица 2. Электроемкость по субъектам Сибирского федерального округа 2005 – 2010гг.

Субъект СФО	Электроемкость, кВт·ч/руб.					
	2005г.	2006г.	2007г.	2008г.	2009г.	2010г.
Красноярский край	0,11348	0,08422	0,06778	0,07024	0,06673	0,05072
Кемеровская область	0,11345	0,10371	0,08249	0,06297	0,06444	0,05457
Новосибирская область	0,05863	0,04815	0,03900	0,03294	0,03571	0,03160
Томская область	0,05335	0,04782	0,04504	0,04331	0,03923	0,03232

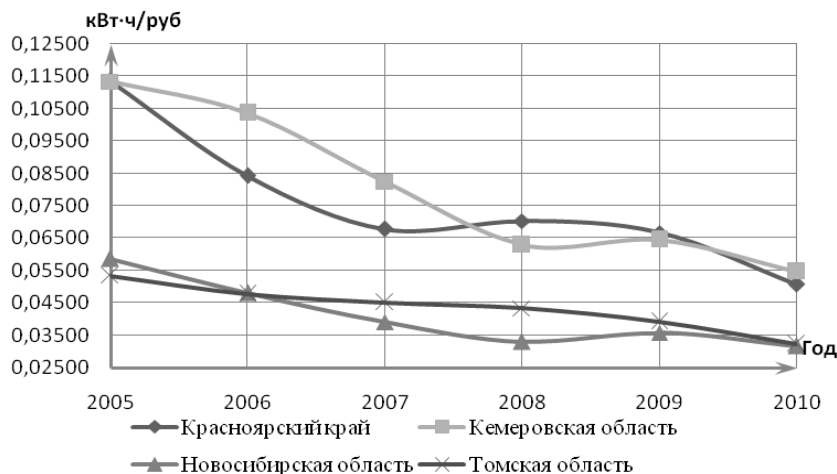


Рисунок 3. Динамика изменения электроемкости ВРП

#### Список литературы:

1. Козловская О.В. Индикаторы устойчивого развития Томской области – Томск: STT, 2003. – 24с.

#### Анализ математических моделей программного отпуска теплоты в помещения

*Казанцев Д.С.*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет г. Томск, Россия  
icemand@mail.ru*

Одно из направлений энергосбережения при эксплуатации зданий связано с реализацией программной подачи теплоты.

Для исследований процессов остывания теплоносителя в системе отопления была разработана модель его остывания на основе закона Ньютона-Рихмана [1]

$$\begin{cases} dt = \frac{K_T}{(t_T - t_B)} dt_m; \\ dt = \frac{K_B}{(t_B - t_H)} dt_в. \end{cases} \quad (1)$$

Здесь  $t_T$  – температура теплоносителя;  $t_B$  – температура внутреннего воздуха;  $t_H$  – температура наружного воздуха;  $dt_m$  – изменение температуры теплоносителя;  $dt_в$  – изменение температуры внутреннего воздуха. В предложенной модели время остывания определяется как запас теплоты, отнесенный к скорости расхода тепла. Первое уравнение в системе (1) описывает остывание теплоносителя в системе отопления, второе – остывание воздуха помещений.

$$K_T = \frac{c_T \cdot m_T}{k \cdot F}. \quad (2)$$

$$K_B = \frac{(c_в \cdot m_в + c_{жб} \cdot m_{жб})}{V \left\{ \frac{P}{S} [k_c + \varphi(k_{ок} + k_c)] - \frac{1}{L} [k_c + \psi_1 k_{nm} + \psi_2 k_{nl}] \right\}}. \quad (3)$$

Здесь обозначено:  $c_в, c_{жб}, c_T$  – удельные теплоемкости воздуха, железобетона и теплоносителя;  $m_в, m_{жб}, m_T$  – масса воздуха в помещениях, внутренних ограждений дома (согласно техпаспорта), теплоносителя в приборах системы отопления;

$F$  – площадь поверхности отопительных приборов;  $k_c, k_{ок}, k_{nm}, k_{nl}, k$  – коэффициенты теплопередачи стен, окон, пола нижнего этажа, потолка верхнего этажа, материала отопительных приборов;  $\varphi$  – коэффициент остекления;  $\psi_1, \psi_2$  – поправочные коэффициенты на расчетный перепад температур для верхнего и нижнего горизонтальных ограждений;  $V, P, S, L$  – геометрические характеристики здания (объем, периметр, площадь, высота).

Данная модель связывает температуру воздуха помещений с температурой теплоносителя в системе отопления, что позволяет производить регулирование по отклонению без установки дополнительных датчиков в помещениях. Применение метода эффективно для прерывистого отопления жилых зданий массовой застройки.

В следующем методе рассмотрены небольшие по объему мобильные помещения (кузова транспортных средств, обитаемые контейнеры и т.д.).

Нестационарный процесс нагрева воздуха и различного оборудования в помещении в произвольный момент времени  $x$  описывается уравнениями [2]:

$$M_1 dT = [\alpha F (T_B - T) - k_{II} (T_B - T_H)] d\tau; \quad (4)$$

$$M_2 dT_B = [q - \alpha F (T_B - T)] d\tau; \quad (5)$$

После подстановки значения  $T$  из (4) в (5) получим:

$$\frac{M_1 M_2}{\alpha F} \cdot \frac{d^2 T_B}{d\tau^2} + (M_1 + M_2) \frac{dT_B}{d\tau} + k_{II} T_B = q + k_{II} T_H. \quad (6)$$

Тогда общее решение можно записать в виде:

$$T_B = \frac{A}{a_2} - \left( \frac{A}{a_2} - T_H \right) \exp(k_1 \tau) + \frac{\frac{q}{M_2} + \left( \frac{A}{a_2} - T_H \right) k_1}{\sqrt{a_1^2 - 4a_0 a_2}} (\exp(k_1 \tau) - \exp(k_2 \tau)) a_0. \quad (7)$$

В следующем подходе для составления математической модели рассмотрен теплообмен в наиболее характерном помещении здания.

Уравнение теплоотдачи нагревательного прибора (НП) в процессе регулирования имеет

$$cG[\tau_1(z) - \tau_2(z)] - k_H F_H [\tau_C(z) - t_B(z)] = c_H m_H \frac{d\tau_C(z)}{dz} \quad (8)$$

вид:

Это уравнение записано при  $Bi_H = \alpha_H \delta_H / \lambda_H \leq 0,1$ , т.е. нагревательный прибор в процессе регулирования рассматривается как тело, имеющее бесконечно большую теплопроводность [3].

Уравнение регулирования воздуха в помещении

$$Q_H \pm \sum_{j=1}^n Q_{pj} - Q_W - Q_S = \Delta Q_B \quad (9)$$

или

$$k_H F_H [\tau_C(z) - \tau_B(z)] \pm \sum_{j=1}^n c_{pj} m_{pj} \frac{d\tau_{cpj}(z)}{dz} - k_W F_W [t_B(z) - t_{BH}(z)] - \alpha_B F [t_B(z) - t_s(z)] = \pm c_B m_B \frac{d\tau_B(z)}{dz} \quad (10)$$

В уравнениях (8) – (10)  $Q_{BX}$  – тепловой поток на входе в НП;  $Q_K$  – тепловой поток на выходе из НП;  $\Delta Q_H$  – изменение теплосодержания НП;  $c$  – удельная массовая теплоемкость теплоносителя;  $G$  – расход теплоносителя через НП;  $z$  – время;

$\tau_1(z)$  – температура теплоносителя на входе в НП;  $\tau_2(z)$  – температура теплоносителя на выходе из НП;  $k_H$  – коэффициент теплопередачи НП;  $F_W$  – площадь поверхности НП;  $\tau_C(z) = [\tau_1(z) + \tau_2(z)]/2$  – средняя температура ТН в НП;

$t_B(z)$  – температура внутреннего воздуха;  $c_H$  – удельная массовая теплоемкость источника теплоты (ИТ);  $m_H$  – масса ИТ;  $Q_{pj}$  – тепловой поток, поступающий к внутренним ограждающим конструкциям;  $Q_W$  – тепловой поток из помещения через окно;

$Q_S$  – тепловой поток, поступающий к внутренней поверхности стенки;  $\Delta Q_B$  – изменение теплосодержания воздуха;  $c_{pj}$  – удельная теплоемкость  $j$ -го внутреннего ограждения;

$m_{pj}$  – масса  $j$ -го внутреннего ограждения;  $k_W$  – коэффициент теплопередачи окна;  $F_W$  – площадь окна;  $t_B$  – температура наружного воздуха;  $\alpha_B$  – коэффициент теплообмена у внутренней поверхности наружной стенки;  $F$  – площадь внутренней поверхности наружной стены;  $t_s(z)$  – температура внутренней поверхности наружной стены;

$c_B$  – удельная теплоемкость воздуха;  $m_B$  – масса воздуха.

Тогда уравнение регулирования температуры воздуха имеет вид:

$$k_H F_H [\tau_C(z) - \tau_B(z)] = k_W F_W [t_B(z) - t_{BH}] + \alpha_B F [t_B(z) - t_s(z)]. \quad (11)$$

После преобразований, получено

$$\tau_1(z) = t_B + \left( \frac{1}{k_H F_H} + \frac{1}{2cG} \right) \left[ k_W F_W (t_B - t_H) + \alpha_B (t_B - t_{SB}) - \sum_{i=1}^{\infty} A_i \exp(-ak_i^2 z) \right] + a \frac{c_H m_H}{2cG} \frac{\alpha_B F}{k_H F_H} \sum_{i=1}^{\infty} A_i k_i^2 \exp(-ak_i^2 z). \quad (12)$$

Выражение (13) является математической моделью изменения температуры теплоносителя во времени в период переходного процесса. Оно учитывает динамические свойства помещения и нагревательного прибора.

Для реализации следующего подхода записана математическая модель теплового режима здания, которая является основой быстрого реагирования систем теплоснабжения и отопления вследствие изменения потоков тепла, входящих и уходящих.

$$Q_{\text{ПР}} \pm Q_{\text{ПОМ}} = Q_{\text{ТМ}} + Q_{\text{ВВ}} \quad (13)$$

Здесь  $Q_{\text{ПР}}$  – теплоотдача отопительного прибора;  $Q_{\text{БЫТ}}$  – бытовые теплопоступления;  $Q_{\text{РАД}}$  – теплопоступления от солнечной радиации;  $Q_{\text{ПОМ}}$  – теплота, аккумулируемая в ограждениях и оборудовании помещения;  $Q_{\text{ПТ}}$  – общие теплотери здания;  $Q_{\text{ТМ}}$  – трансмиссионные теплотери через ограждения;  $Q_{\text{ВВ}}$  – теплотери с уходящим вентиляционным воздухом.

В измеряемых переменных уравнение (14) записывается как

$$k_{\text{ПР}} F_{\text{ПР}} (\tau_{\text{СР}} - t_{\text{В}}) \pm M_{\text{ПОМ}} c_{\text{ПОМ}} (t_{\text{В}} - t_{\text{Н}}) = k_{\text{НО}} F_{\text{НО}} (t_{\text{В}} - t_{\text{Н}}) + L(c\rho)_{\text{ПОМ}} (t_{\text{В}} - t_{\text{Н}}), \quad (14)$$

где,  $k_{\text{ПР}}$  – коэффициент теплопередачи нагревательного прибора,  $F_{\text{ПР}}$  – площадь отопительного прибора,  $\tau_{\text{СР}}$  – средняя температура нагревательного прибора;  $t_{\text{В}}$  – температура внутреннего воздуха,  $M_{\text{ПОМ}}$  – масса помещения,  $c_{\text{ПОМ}}$  – средняя удельная теплоемкость помещения учитывающая ограждение и оборудование;  $k_{\text{НО}}$  – усредненный коэффициент теплопередачи ограждений;  $F_{\text{НО}}$  – площадь ограждений;  $L$  – расход удаляемого воздуха;  $(c\rho)_{\text{ВВ}}$  – объемная теплоемкость внутреннего воздуха [4].

Первое слагаемое (14) может быть представлено в виде:

$$Q_{\text{ПР}}(z) = Q_{\text{ПР}} e^{-zm}, \quad (15)$$

где  $Q_{\text{ПР}}$  – теплоотдача отопительного прибора к моменту начала ( $z=0$ ) его охлаждения (или нагрева);  $m$  – темп охлаждения или нагревания отопительного прибора.

Таким образом, режим использования аккумулированного тепла можно записать следующим образом.

$$\frac{dQ_{\text{ак}}}{dz} = \frac{M_{\text{ном}} c_{\text{ном}} d(t_{\text{в}} - t_{\text{н}})}{dz} = C_{\text{ном}} \frac{d(\Delta t)}{dz} \quad (16)$$

Используя соотношения (15-17) приводим (14) к виду

$$Q_{\text{ПР}} e^{-zm} \pm C_{\text{ном}} \frac{d(\Delta t)}{dz} = Q_{\text{уд}} \Delta t. \quad (17)$$

Будем считать, что по прошествии весьма малого промежутка времени температурный напор  $\Delta t$  к началу охлаждения  $\Delta t_{\text{охл}}$  или нагрева  $\Delta t_{\text{наг}}$  относительно условной температуры наружного воздуха равен  $t_{\text{ну}}$ :

$$z = z_{\text{охл}}; \Delta t = \Delta t_{\text{охл}} = t_{\text{во}} - t_{\text{ну}} \quad (18)$$

$$z = z_{\text{наг}}; \Delta t = \Delta t_{\text{наг}} = t_{\text{вн}} - t_{\text{ну}} \quad (19)$$

Уравнение (17) представляет собой физико-математическую модель для регулирования системы отопления зданий.

С учетом того, что коэффициент теплоаккумуляции помещения равен  $\beta = C_{\text{пом}}/Q_{\text{уд}}$ , решение для процесса охлаждения помещения можно записать в виде:

$$\Delta t(z) = \frac{\Delta t_{\text{охл}}}{1 - \beta \cdot m} \cdot e^{-z \cdot m} + \Delta t_{\text{охл}} \cdot \left(1 - \frac{1}{1 - \beta \cdot m}\right) \cdot e^{\frac{z}{\beta}} \quad (20)$$

Соответственно, решение уравнения (20) для процесса нагревания имеет вид

$$\Delta t(z) = \frac{\Delta t_{\text{наг}}}{1 + \beta \cdot m} \cdot e^{-z \cdot m} + \Delta t_{\text{наг}} \cdot \left(1 - \frac{1}{1 + \beta \cdot m}\right) \cdot e^{\frac{z}{\beta}} \quad (21)$$



В этой модели использован учет влияния внешних и внутренних возмущающих факторов, а также теплоаккумулирующая способность здания, являющаяся одной из главных характеристик в процессе регулирования. Используемая математическая модель может быть применена для оценки темпа охлаждения помещения после прекращения подачи тепла.

#### Список литературы:

1. Мишин М.А. Исследование процессов остывания теплоносителя при прерывистом регулировании отопления// Ползуновский вестник – 2010. – №1. – С. 146–152.
2. Богословский В.Н. и др. Нестационарный тепловой режим в теплоизолированных малообъемных помещениях. //Изв. вузов: Энергетика. – 1991.– №5. – С.112–116.
3. Строй А.Ф. Регулирование системы отопления при стабилизации теплового режима в помещении. //Изв. вузов. Строительство и архитектура. – 1991. – №4. – С. 79–83.
4. Бурцев В.В., Басин А.С., Байтингер Н.М. Математическая модель регулирования объекта теплоснабжения. //Ползуновский вестник – 2004. – №1. – С. 174–177.

#### Пространственное моделирование тепловых режимов хранилищ сжиженного газа с учетом сезонного промерзания грунта

*Н. С. Тетерина, Е.С. Глазырин*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск  
[natali\\_2528@mail.ru](mailto:natali_2528@mail.ru)*

В настоящее время, наблюдается неравномерный характер потребления газонефтепродуктов в Российской Федерации. Это связано с возможностью экспорта в другие страны, географической разобщенностью районов добычи, переработки и использования газонефтепродуктов, а также совпадением по времени максимального спроса на топливо и на электро - и теплоэнергию. Поэтому сезонные колебания потребления, возможные непредвиденные ситуации и перебои в газоснабжении и нефтеснабжении требуют создания значительных запасов. Поэтому рост добычи и использования газа привел к необходимости строительства хранилищ больших объемов вблизи промышленных районов для удовлетворения спроса на газ.

Подземные хранилища с успехом широко используются во всем мире. Подземные хранилища позволяют создать чрезвычайно крупные запасы, а значит, представляет собой экономически выгодное решение, надежное и экологически чистое. Под подземным хранилищем подразумевается один или несколько подземных резервуаров оборудованных для закачки, хранения и выдачи жидкостей или газов.

Рассматривается изотермический резервуар для хранения сжиженного природного газа, стенки которого выполнены из предварительно напряженного железобетона, изолированный насыпным перлитом, размещенный в зоне влияния инженерных сооружений [1].

Проведение математического моделирования теплопереноса в зоне размещения хранилища сжиженного газа с учетом влияния сезонных растеплений грунта на тепловые режимы подземных хранилищ сжиженного газа.

Моделирование проведено с применением средств и функций пакета программ мультифизического моделирования COMSOL Multiphysics [2] с использованием модуля General Heat Transfer.

Исследования проводились для резервуара диаметром  $d=72\text{ м}$ , высотой  $L=50\text{ м}$ , изолированного теплоизоляционным материалом толщиной  $\delta_n=1\text{ м}$ . Температура на внутренней поверхности резервуара соответствует температуре хранения жидкого метана  $T_{снг}=113,150\text{ К}$ . Температура окружающей среды принималась равной средней температуре воздуха за месяц сентябрь [3]:  $T_n=282,45\text{ К}$  (г. Томск). Заглубление фундамента составляло  $h=2\text{ м}$ . Согласно [4] коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций инженерного сооружения соответственно для стен и пола по грунту  $\alpha_{вс}=8,7\text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{°С})$  и  $\alpha_{вн}=4,5\text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{°С})$ . Коэффициент теплоотдачи от стены к окружающей среде принимался равным  $\alpha=23\text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ , от грунта к окружающей среде  $\alpha=15\text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ .

В таблице 1 приведены значения [1,5] теплофизических характеристик тепловой изоляции, грунта, фундамента из железобетона использованные при проведении исследований тепловых режимов рассматриваемой системы, представленной на рисунке 1.

Таблица 1. Теплофизические свойства материалов

Материал	Тепловая изоляция	Мерзлый грунт	Талый грунт	Железобетон
$\lambda$ , Вт/(м·К)	$0,0518+0,000163 \cdot (T-273,15)$	$2,2-0,0015 \cdot (T-273,15)$	$1,5-0,0017 \cdot (T-273,15)$	1,54
$c$ , Дж/(кг·К)	$869+2,88 \cdot (T-273,15)$	$965+3,2 \cdot (T-273,15)$	$1363+3,2 \cdot (T-273,15)$	887
$\rho$ , кг/м	139	2000	2000	2200

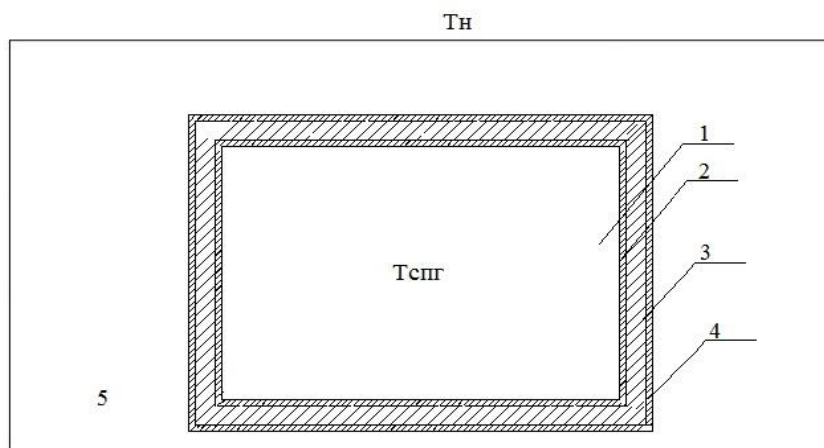


Рис. 1. Схема поперечного сечения зоны расположения подземного резервуара для хранения сжиженного газа:

1 – внутренняя область резервуара; 2 – внутренняя стенка резервуара; 3 – теплоизоляционный слой; 4 – наружная стена, выполненная из предварительно напряженного железобетона; 5 – грунт;  $T_n$  – температура наружного воздуха;  $T_{спг}$  – температура сжиженного природного газа;

Результаты 3D моделирования.

Основные результаты 3D моделирования тепловых режимов хранилища сжиженного газа с учетом сезонного промерзания грунта приведены в таблицах 2-5. На рисунках 2-4 представлены температурные поля в зоне хранилища сжиженного газа.

Таблица 2. Результаты моделирования тепловых режимов хранилища сжиженного газа с учетом сезонного промерзания грунта.

Расчетный месяц	$T_n$ , К	$q_1$ , Вт/м
Сентябрь	282,45	1122,763
Январь	254,05	935,807
Среднегодовая	272,65	1061,44

Таблица 3. Результаты моделирования тепловых режимов хранилища сжиженного газа с учетом сезонного промерзания грунта, сентябрь  $T_n=282,45$  К.

Грунт	$q_2$ , Вт/м	$q_2-q_1$ , Вт/м	$\delta = \frac{q_2 - q_1}{q_1}$ , %
Талый	1031,56	91,203	8,1
Мерзлый	1133,36	10,597	0,94

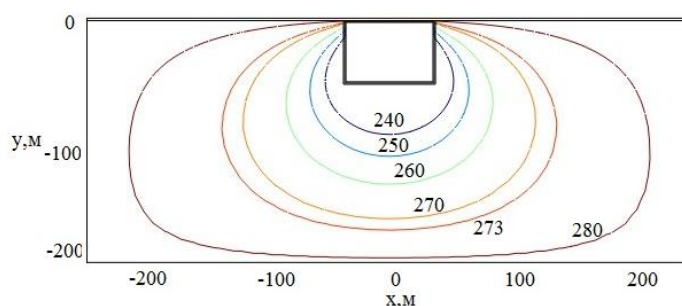
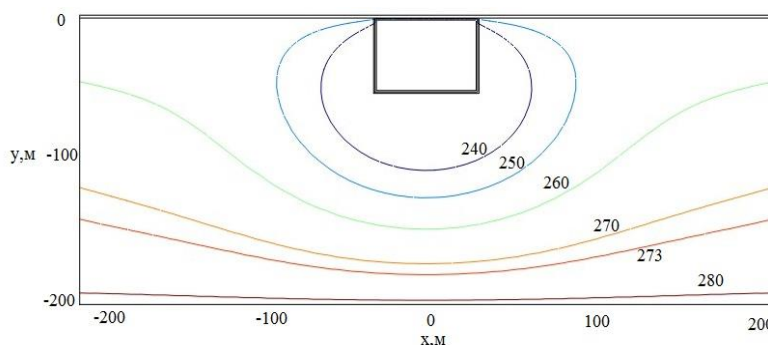
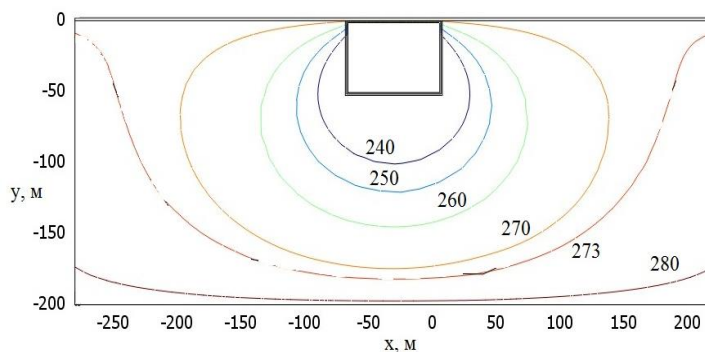
Таблица 4. Результаты моделирования тепловых режимов хранилища сжиженного газа с учетом сезонного промерзания грунта, Январь  $T_n=254,05$  К.

Грунт	$q_2$ , Вт/м	$q_2-q_1$ , Вт/м	$\delta = \frac{q_2 - q_1}{q_1}$ , %
Талый	845,938	89,869	9,6
Мерзлый	938,13	2,323	0,25

Таблица 5. Результаты моделирования тепловых режимов хранилища сжиженного газа с учетом сезонного промерзания грунта, при среднегодовой температуре  $T_n=272,65$  ОК.

Грунт	$q_2$ , Вт/м	$q_2-q_1$ , Вт/м	$\delta = \frac{q_2 - q_1}{q_1}$ , %
Талый	965,96	95,48	9,0
Мерзлый	1064,67	3,23	0,30

Обозначения:  $T_n$  - расчетная температура наружного воздуха, К;  $q_1$  - притоки тепла к хранилищу сжиженного газа с учетом сезонного промерзания грунта, Вт;  $q_2$  - притоки тепла к хранилищу сжиженного газа без учета сезонного промерзания грунта, Вт;  $\delta$  - расхождение величин теплопритоков к резервуару при отсутствии и наличии учета сезонного промерзания грунта, %.

Рис. 2. Температурные поля в зоне хранилища сжиженного газа, сентябрь  $T_n=282,45$  К.Рис. 3. Температурные поля в зоне хранилища сжиженного газа, Январь  $T_n=254,05$  К.Рис. 4. Температурные поля в зоне хранилища сжиженного газа, при среднегодовой температуре  $T_n=272,65$  К.

На примере температур за сентябрь, январь и среднегодовой наглядно видно изменения линии границы мерзлого и талого грунта ( $T=273$  К). Результаты исследований позволяют говорить о необходимости учета изменения теплофизических свойств грунта (теплоемкости, плотности, теплопроводности) в зоне хранилища сжиженного природного газа. При уменьшении температуры окружающей среды граница мерзлого грунта увеличивается.

**Список литературы:**

1. Яковлев Е. И., Видовский Л.А., Глоба В.М. Тепловые режимы хранилищ сжиженных газов. – Л.: Недра, 1992. – 184с.
2. Бирюлин Г.В. Теплофизические расчеты в конечно-элементном пакете COMSOL/FEMLAB. СПб.: СПбГУИТМО, 2006. – 89 с.
3. СНиП 23-01-99. Строительная климатология. - М, 2000 г.
4. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий. М.: Госстрой России, ФГУП ЦПП, 2004. – 46 с.
5. Гува А.Я. Краткий теплофизический справочник. – Новосибирск: Сибвузиздат, 2002. – 300 с.

УДК 658.26.012.2:378

**Планирование потребления электроэнергии высшими учебными заведениями**

*Ткаченко В.Ф.*

*Черкасский государственный технологический университет, Украина, г. Черкассы*

В статье рассмотрены проблемы планирования электропотребления ВУЗами на основе методов прогнозирования, что является важным инструментом повышения эффективности электропотребления, и решению вопросов энергетической безопасности учреждений.

Постановка проблемы. Освоение новых и анализ известных управленческих технологий, которые позволяют повысить эффективность управления энергопотреблением и энергосбережением, становится особенно актуальным для Украинских ВУЗов. Планирование энергопотребления повышает эффективность её использования и является неотъемлемой частью проведения тендерной процедуры закупки энергоносителей за государственные деньги на будущие периоды.

Анализ последних источников исследований и публикаций, в которых впервые предпринято решение данной проблемы. В случае если планированные объёмы энергоносителей на следующий финансовый год будут выставлены неправильно, то возможно недофинансирование или перефинансирование энергоносителей что, в первом случае составляет реальную угрозу энергетической безопасности заведения, а во втором ответственность перед финуправлением и КРУ, что тоже крайне неприятно.

Особенности энергопотребления и энергоэффективности в высших учебных заведениях рассматриваются в [1, 2].

Вопросами энергетической безопасности, прогнозирования и планирования занимались такие ученые как В.В. Литвак, В.П. Розен А.В. Праховник и др. В [3] сказано что, прогнозирование и планирование потребления энергии сильно связаны между собой и имеют общие черты. Если с помощью прогноза обнаруживаются негативные тенденции, то в планировании намечаются мероприятия по их устранению.

Формулирование целей и задач статьи. Статья посвящена решению задачи планирования потребления электроэнергии ВУЗами путём применения методов прогнозирования с целью повышение уровня энергетической безопасности учреждения, повышение эффективности оценивания уровня использования электрической энергии и повышению эффективности проведения тендерных процедур.

Изложение основного материала. При анализе временных рядов используется метод скользящей средней, в котором все данные независимо от периода их возникновения являются равноправными. Существует и другой способ, в котором данным приписываются веса. Более поздним данным придается больший вес, чем более ранним [4]. Метод экспоненциального сглаживания, который в отличие от метода скользящих средних может быть использован и для краткосрочных прогнозов будущей тенденции на один период вперед и автоматически корректирует любой прогноз в свете различий между фактическим и спрогнозированным результатом [5]. Именно поэтому метод обладает явным преимуществом. Простое экспоненциальное сглаживание именно так и устроено. Здесь более старым наблюдениям приписываются экспоненциально убывающие веса, при этом, в отличие от скользящего среднего,

учитываются все предшествующие наблюдения ряда, а не те, что попали в определенное окно. Точная формула простого экспоненциального сглаживания имеет следующий вид:

$$S_t = \alpha \cdot y_t + (1 - \alpha) \cdot S_{t-1} \quad (1)$$

где:  $S_t$  – сглаженный ряд;  $y_t$  – исходный ряд;  $\alpha$  – коэффициент сглаживания.

Когда эта формула применяется рекурсивно, то каждое новое сглаженное значение (которое является также прогнозом) вычисляется как взвешенное среднее текущего наблюдения и сглаженного ряда. Очевидно, результат сглаживания зависит от параметра  $\alpha$  (альфа). Если  $\alpha$  равно 1, то предыдущие наблюдения полностью игнорируются. Если  $\alpha$  равно 0, то игнорируются текущие наблюдения. Значения между 0 и 1 дают промежуточные результаты.

Динамику изменения показателя прогнозирования потребления электроэнергии, в январе месяце, за период 2002-2012 годов, объектом исследования, при  $\alpha = 0,1, 0,2, 0,3, \dots, 1$ , показано на (рис.1).

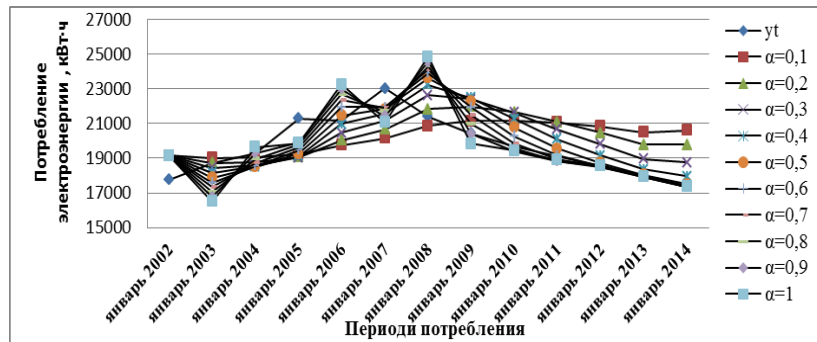


Рис. 1. Динамика изменения прогноза при  $\alpha = 0,1, 0,2, 0,3, \dots, 1$

Среднее значение суммы квадратов отклонений исходных значений переменной  $y_t$  от расчетных значений,  $\varepsilon$  показано на Рис.2.



Рис. 2. Динамика изменения средних значений квадратов отклонения,  $\varepsilon$  в зависимости от значения  $\alpha$

К числу методов, не связанных с априорным заданием параметра  $\alpha$ , следует отнести метод Чоу [6, 7]. Адаптивный алгоритм Чоу основан на последовательной подстройке параметра сглаживания под динамику обрабатываемого ряда. Сущность метода заключается в том, что устанавливается три значения параметра сглаживания: нормальное  $\alpha$ , высокое  $\alpha_s = \alpha + h_\alpha$  и низкое  $\alpha_n = \alpha - h_\alpha$ , где  $h_\alpha$  – шаг оптимизации параметра сглаживания. Эти значения сначала задаются произвольно, причем  $0 < \alpha_n, \alpha, \alpha_s < 1$ . Оценка, сделанная при использовании нормального значения параметра сглаживания, считается прогнозом, а оценки, полученные на основе высоких и низких значений  $\alpha_s$  и  $\alpha_n$  контрольными. При поступлении очередного отсчета

определяется, какое с трех значений параметра приводит к наименьшей сумме квадратов отклонений,  $\varepsilon$  которое затем рассматривается, как нормальное и на его основе осуществляется предсказание на следующем шаге как это показано в табл. 1.

Таблица 1. Значения параметра сглаживания  $\alpha$  получение методом Чоу

				Шаг 5	$\alpha-h$	$\alpha$	$\alpha+h$
			Шаг 4	$\alpha-h$	$\alpha$	$\alpha+h$	
		Шаг 3	$\alpha-h$	$\alpha$	$\alpha+h$		
	Шаг 2	$\alpha-h$	$\alpha$	$\alpha+h$			
Шаг1	$\alpha-h$	$\alpha$	$\alpha+h$				
№	$\alpha=0,59$	$\alpha=0,6$	$\alpha=0,61$	$\alpha=0,62$	$\alpha=0,63$	$\alpha=0,64$	$\alpha=0,65$
$\hat{y}_1$	19166,8	19166,8	19166,8	19166,8	19166,8	19166,8	19166,8
$\hat{y}_2$	17627,5	17599,3	17571,1	17542,9	17514,8	17486,6	17458,4
$\hat{y}_3$	18559,6	18570,5	18582,2	18594,8	18608,2	18622,5	18637,6
$\hat{y}_4$	19448,7	19467,8	19486,9	19505,9	19524,9	19543,8	19562,5
$\hat{y}_5$	21893,1	21937,4	21981,1	22024,3	22066,9	22108,8	22150,2
$\hat{y}_6$	21943,5	21946,3	21947,7	21947,4	21945,7	21942,5	21937,8
$\hat{y}_7$	23888,5	23911,5	23933,7	23955,3	23976,4	23997,0	24017,2
$\hat{y}_8$	21993,1	21952,4	21910,8	21868,3	21824,9	21780,7	21735,8
$\hat{y}_9$	20319,4	20272,0	20225,5	20179,9	20135,3	20091,7	20049,1
$\hat{y}_{10}$	19176,7	19144,9	19114,9	19086,6	19060,0	19035,2	19012,0
$\hat{y}_{11}$	18527,2	18513,8	18502,0	18491,8	18483,0	18475,7	18469,6
$\hat{y}_{12}$	17940,1	17935,3	17931,5	17928,6	17926,6	17925,3	17924,7
$\hat{y}_{13}$	17334,0	17326,3	17320,2	17315,6	17312,3	17310,2	17309,2
$\varepsilon$	1628443	1625348	1623470	1622810	1623370	1625156	1628174

Ошибку планирования методом экспоненциального сглаживания для коэффициента сглаживания  $\alpha=0,62$  можно найти по следующей формуле:

$$\sigma_{t+1} = \sigma_{y_t} \cdot \sqrt{\frac{\alpha}{(2-\alpha)^3} [1 + 4 \cdot (1-\alpha) + 5 \cdot (1-\alpha)^2 + 2\alpha \cdot (4-3\alpha)l + 2\alpha^2 l^2]}, \quad (2)$$

где:  $\sigma_{y_t}$  – среднеквадратическое отклонение, рассчитано путём сопоставления входных значений переменной  $y_t$  и значений, которые характеризуют тренд часового ряда,

$$\sigma_{y_t} = \sqrt{\frac{\sum (y_t - y)^2}{n-2}}$$

Соответственно ошибка прогнозирования для 12го и 13го периодов, при  $\sigma_{y_t} = 424$ , равна  $\sigma_{11+1}=302$ , и  $\sigma_{11+2}=343$ .

Результаты планирования потребления электроэнергии объектом исследования, методом экспоненциального сглаживания, при коэффициенте сглаживания  $\alpha = 0,62$ , полученным методом Чоу на январь 2013 и 2014 годов показано в табл.2.

Таблица 2. Результаты расчётов с учётом ошибки прогнозирования при  $\alpha = 0,62$ 

Период	План	Ошибка прогноза	Верхняя граница доверительного интервала	Нижняя граница доверительного интервала
Январь 2013	17929	$\pm 302$	18231	17626
Январь 2014	17316	$\pm 343$	17659	16973

Сравнительный анализ квадратов отклонений входных значений переменной  $y_t$  от расчётных величин, полученных разными аналитическими методами, показано в табл. 3.

Таблица 3. Сравнительный анализ разных аналитических методов

№ п/п	Вид функции	$\sum (y_t - y)^2$
1	Линейная модель $Y_t = 19042,5 + 124,3t$	2275025
2	Экспоненциальное сглаживание при $\alpha=0,3$	2247653
3	Экспоненциальное сглаживание $\alpha=0,6$	1625348
4	Экспоненциальное сглаживание при $\alpha=0,62$ рассчитанное методом Чоу	1622810

С табл. 3 видно, что адаптивный алгоритм Чоу основан на последовательной подстройке параметра сглаживания  $\alpha$  под динамику обрабатываемого ряда значительно повышает качество планирования потребления электроэнергии в ВУЗах так как среднее значение суммы квадратов отклонений от расчетных значений, найденных при применении различных аналитических методов является наименьшим.

Выводы:

1. Планирование потребления энергоносителей ВУЗами на основе экспоненциального прогнозирования повышает эффективность их использования и повышает энергетическую безопасность учреждения. Указанный метод имеет ряд положительных особенностей: возможность максимального использования ограниченной по объему исходной информации, ясный экономический смысл и простоту прогнозных функций, высокую надежность конечных результатов

2. Качество работы метода Чоу зависит от исходного параметра сглаживания. Его нужно выбирать как можно ближе к конечному, используя следующие рекомендации: чем точнее значение параметра сглаживания тем выше адаптивные свойства прогнозирующих моделей, и наоборот, с уменьшением точности  $\alpha$ , модель отражает долговременную тенденцию уменьшения показателя.

#### Список литературы:

1. В.П. Розен, В.Ф. Ткаченко, Г.В. Курбака. Шляхи вирішення проблем фінансування впровадження заходів з енергозбереження в організаціях бюджетної сфери України // Енергетика: економіка, технології, екологія. Науковий журнал НТУУ «КПІ». – 2012. – Вип. 1. – с. 71–77.
2. Ткаченко В.Ф. Інструменти управління вибором енергозберігаючих заходів у вищих навчальних закладах. Енергетика та електрифікація. 2013. – Вип. 7. – с 21–26
3. О. І. Соловей, В. П. Розен, Ю. Г. Лега, О. О. Ситник, А. В. Чернявський, Г. В. Курбака. Енергетичний аудит: Навчальний посібник. – Черкаси, ЧДТУ, 2005. – 299 с
4. Лукашин Ю.П., Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов: Учебное пособие. - М.: Финансы и статистика, 2003.-416 с.
5. Рожков Л.Н., Френкель А.А. Выбор оптимального параметра в методе экспоненциального сглаживания. Основные проблемы и задачи научного прогнозирования. М.: 1972, с 17-32.
6. Chow W.M. Adaptive control of the exponential smoothing constant. – J. of indust/ Engineering, 1965, vol. 16, N
7. Жердев Н.К. Метод выбора переменной экспоненциального сглаживания //Автоматика. 1983. №6. С. 78-83

## Секция 4

## Проблемы ядерной энергетики

**Облачные скопления - как способ защиты от радиации****Деманова В.В., Орлова К.Н., Градобоев А.В.***Юргинский технологический институт (филиал) Томского политехнического университета, г. Юрга, Россия**E-mail: vikademanova19@gmail.com.*

Нахождение действенных методов защиты от радиации – актуальная проблема современного общества. По данным Международной комиссии по радиологической защите, в большинстве стран, в том числе России [1], источники ионизирующего излучения природного происхождения создают около 50% средней дозы облучения человека

Экранирование - это один из инженерных способов защиты от ионизирующего излучения. Одним из экранов природного характера являются облачные скопления.

С помощью современных технологий, искусственное создание облачных скоплений стало реальностью. [2] Впервые рукотворная копия облака была презентована на выставке Expo-2002 и сейчас располагается в Швейцарии, на озере Невшатель. Физические свойства такого искусственного облака идентичны свойствам своего небесного аналога. Создание искусственных облачных скоплений позволяет решать ряд социальных проблем [3], к примеру в поглощении длинноволновой радиации важную роль играет водяной пар: чем больше в атмосфере водяного пара, тем меньше прямой радиации доходит до Земли при прочих равных условиях, однако публикаций об использовании данной технологии для защиты от ЧС и расчеты ее эффективности отсутствуют. Исходя из вышеизложенного, была сформулирована цель и задачи исследования.

Цель исследования: определить способность облачности экранировать и задерживать гамма-излучения.

Задачи:

- Определить мощность дозы гамма-излучения в ясную погоду
- Определить мощность дозы гамма-излучения в слабо облачную погоду
- Определить мощность дозы в сильно облачную погоду
- Проанализировать поглощающую способность облачности на примере космического излучения.

Существуют прямые или опосредованные физические связи между гелио- и геофизическими процессами. Земля получает от Солнца не только свет и тепло, обеспечивающие необходимый уровень освещенности и среднюю температуру её поверхности, но и подвергается комбинированному воздействию ультрафиолетового и рентгеновского излучения, солнечного ветра, солнечных космических лучей. Особенно уровень радиации повышается в моменты, когда на Солнце происходят вспышки с последующим выбросом в открытый космос радиационных частиц.

Последовательность событий в системе Солнце-Земля можно проследить, наблюдая цепочку явлений, сопровождающих мощную вспышку на Солнце - высшее проявление солнечной активности. Последствия вспышки начинают сказываться в околоземном пространстве почти одновременно с событиями на Солнце (время распространения электромагнитных волн от Солнца до Земли - чуть больше 8 минут). В частности, ультрафиолетовое и рентгеновское излучение вызывает дополнительную ионизацию верхней атмосферы, что приводит к ухудшению или даже полному прекращению радиосвязи (эффект Деллинджера) на освещенной стороне Земли.

Космическая радиация врывается в верхние слои атмосферы Земли, которая обеспечивает эффективную защиту для всего живого, не пропуская большую часть радиоактивных частиц. Галактическое космическое излучение обусловлено процессами, сопровождающими эволюцию звезд и состоит, в основном, из высокоэнергетичных протонов, легких и тяжелых ядер, попадающих в Солнечную систему из межзвездного пространства. Особо мощные вспышки излучения наблюдаются при взрывах сверхновых. Точного представления о том, какие процессы могут приводить к ускорению частиц до рекордных энергий (до 1020 МэВ), пока не существует.

В зависимости от происхождения и условий формирования все космическое излучение можно подразделить на:



1. «Солнечный ветер» (СВ) постоянный поток высокотемпературной плазмы в межпланетном космическом пространстве, обусловленный непрерывным расширением солнечной короны. СВ представляет собой низкоэнергетическую часть корпускулярного излучения Солнца (Е десятков КэВ).

2. Солнечные космические лучи (СКЛ) с Е от 0,1 МэВ до сотен МэВ (но иногда и до нескольких десятков ГэВ) генерируются при вспышках на Солнце, которые наблюдаются в виде гигантских протуберанцев над его поверхностью. Природа вспышек связана с выбросом из глубин солнечного вещества и его взаимодействия с мощнейшим магнитным полем Солнца. Максимальной яркости протуберанцы достигают примерно за 10 минут, а затем медленно гаснут. При вспышках испускается громадное количество энергии в виде электромагнитного (в диапазоне от видимого до рентгеновского) и корпускулярного излучения. Активность Солнца подвержена циклическим вариациям с периодом около 11 лет. Основная доля частиц, долетающих при вспышках до Земли протоны, но есть также небольшое количество легких ядер (изотопы водорода, ядра гелия). Спектр  $\sim E^{-(2-5)}$ . Нейтронов в СКЛ на орбите Земли практически нет, т. к. они успевают распасться за время полета от Солнца до Земли. Реально, земную орбиту могут достигнуть только нейтроны с энергией более 150 МэВ за счет релятивистского замедления времени. Запоздывание прихода СКЛ на Землю составляет от нескольких десятков минут до нескольких часов в зависимости от средней энергии потока. Длительность солнечных вспышек обычно не превышает нескольких суток, однако потоки корпускулярного излучения при этом могут быть весьма значительными. За время наблюдения регистрировались вспышки, при которых мощность поглощенной дозы вблизи Земли увеличивалась в несколько сотен раз (наиболее мощная вспышка была в 1973 г.).

Солнце также является источником электромагнитного и корпускулярного излучения (постоянный солнечный ветер и спорадические вспышки на Солнце, порождающие мощные потоки корпускулярного излучения). Солнечная радиация – энергичные заряженные частицы— электроны, протоны и ядра, инжектированные Солнцем в межпланетное пространство. Солнечная активность (и зависящая от него интенсивность галактического космического излучения) подвержены периодическим колебаниям (циклом). Магнитное поле Земли и газовая атмосфера служат естественной защитой от космического излучения.

3. Галактические космические лучи (ГКЛ) рождаются в глубоком космосе и отличаются сложным компонентным составом. «Возраст» ГКЛ, приходящих в Солнечную систему, составляет 2,5 – 33 млн. лет. Предполагается, что частицы с относительно небольшой энергией приходят из нашей галактики, а частицы сверхвысоких энергий имеют внегалактическое происхождение. Угловое распределение ГКЛ практически изотропно. Энергетический спектр ГКЛ простирается до десятков ТэВ/нуклон. Вследствие распада нейтронная компонента космических лучей в их составе практически отсутствует за пределами земной атмосферы. В составе ГКЛ содержатся электроны (1%), протоны (70%), легкие и тяжелые ядра различных элементов. [4].

Галактическая радиация – ядра различных химических элементов с кинетической энергией более нескольких десятков МэВ/нуклон, а также электронов и позитронов с  $E > 10$  МэВ. Космические лучи состоят из атомных частиц высоких энергий, около 87% которых составляют протоны. Около 11% из них альфа-частицы, примерно 1% более тяжелые атомы, а остальные 1% являются электронами. В атмосфере «солнечные» частицы производят каскады ядерного взаимодействия, которые дают много вторичных частиц, которые играют важную роль в производстве космических радионуклидов. В основном вторичным продуктом распада большинства космических частиц будет являться гамма-излучение.

Суммарная радиация - это сумма прямой (на горизонтальную поверхность) и рассеянной радиации. Состав суммарной радиации, т. е. соотношение между прямой и рассеянной радиацией, меняется в зависимости от высоты солнца, прозрачности, атмосферы и облачности.

При прохождении излучения через атмосферу наблюдаются высотный, барометрический и геомагнитный эффекты:

Высотный эффект – зависимость интенсивности излучения  $I$  от высоты точки наблюдения над уровнем моря  $H$ . Чем выше точка наблюдения, тем больше будет вклад космического излучения. Наблюдения проводились на высоте 200-300 метров над уровнем моря. Эта высота, соответствует большинству городов территории Российской Федерации.

Барометрический эффект – зависимость интенсивности космического излучения  $I$  от атмосферного давления  $p$  в точке наблюдения. Барометрический эффект определяется формулой:

$$b = \frac{1 * \Delta I}{I * \Delta p}$$

Геомагнитные эффекты (широтный и долготный) - зависимость интенсивности и энергетического спектра космического излучения от геомагнитных координат точки наблюдения.

Проведение измерений дозиметрических характеристик производилось в течение осени 2013 года. Замеры производились ежедневно в 14 часов дня, так как это время наибольшей солнечной активности. Показания снимались на одинаковом расстоянии 1 м. от грунта, строго в горизонтальном положении при величине относительной погрешности не более 10% [5]. Измерения на высоте 1 м – это своеобразный стандарт, связанный с определенной геометрией и соотношением гамма-излучений, и местоположением наиболее чувствительной части тела стоящего человека. При проведении эксперимента погода условно подразделилась на ясную, облачную и пасмурную. Экспериментальные данные обрабатывались в программе ORIGIN и проводилась аппроксимация результирующей кривой. Результаты показаны на Рис. 1.

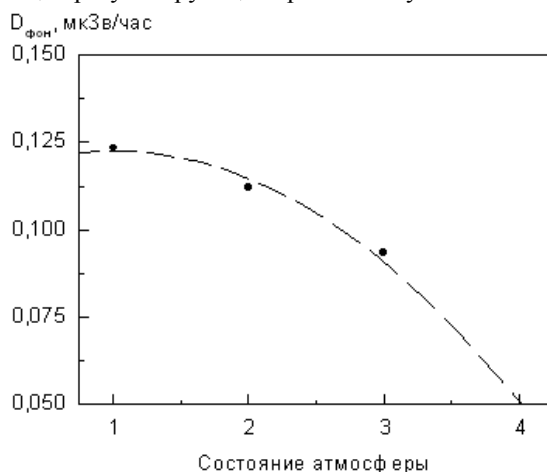


Рис. 1 – Зависимость фонового значения излучения от типа погоды, осень 2013: 1 – ясная погода, 2 –облачная погода, 3 –пасмурная погода.

Для значения мощности дозы гамма-излучения и среднего значения высоты облачных скоплений среднего яруса (2000 - 3000 метров) получаем значение коэффициента поглощения облачности:

$$\mu_{\text{облачности}} = 6.3 * 10^{-4} \text{ м}^{-1}$$

Для сравнения коэффициент поглощения для воздуха и свинца:

$$\mu_{\text{воздуха}} = 4 * 10^{-4} \text{ м}^{-1}, \mu_{\text{свинца}} = 1,18 \text{ м}^{-1}$$

Коэффициент поглощения свинца, несомненно, больше, но облачность порядка 3000 метров может ослабить гамма излучение в два и более раз.

Выводы:

Анализируя полученные данные, можно заметить следующую закономерность значения мощностей эквивалентной дозы гамма-излучения в ясную погоду выше, чем в пасмурную. Исходя из этого можно сделать вывод, что имеет место быть экранирование и поглощение гамма-излучения в толще облачных скоплений. Нами рассчитан коэффициент поглощения гамма-излучения и кратность ослабления гамма-излучения для пасмурной и облачной погоды.

В дальнейшем планируется более детальное исследование процессов дезинтеграции космических лучей и влияния солнечной активности на годовую дозу гамма-излучения получаемую человеком.

#### Список литературы:

1. Федеральный закон ФЗ «О радиационной безопасности населения» от 9 января 1996 года, N 3: Принят Государственной Думой 5 декабря 1995 года. 1996.
2. <http://www.rutvet.ru/in-mozhno-li-sdelat-iskusstvennoe-oblako-436.html>
3. James E.Martin, Physics for radiation protection, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim. 2006.
4. <http://www.infuture.ru/article/4185>
5. <http://www.profi-forex.org/nauka/entry1008148927.html>

УДК 008+504.55

**Геология, горное дело и ядерная энергия****Е.В. Комлева***Технический университет, Дортмунд, Германия*[komleva\\_ap@mail.ru](mailto:komleva_ap@mail.ru)

Аннотация. Рассмотрены некоторые антропосоциальные аспекты феномена ядерной энергии. Они сопряжены с первой попыткой создания международного подземного могильника ядерных материалов вблизи Красноярска. Отмечены проблемы, которые идентифицированы таким сопряжением.

Ключевые слова: ядерная энергия, нефть, международный ядерный могильник, горно-химический комбинат, Россия.

Б. Никипелов [1], один из видных руководителей советской/российской ядерной отрасли прошлого, со ссылкой на Гегеля, этику и диалектику, отстаивает мнение, что запрет на международное разделение труда в ядерной сфере – это противоречие, которое будет преодолено историей. И будут созданы крупные международные хранилища радиоактивных отходов в Китае, Монголии, Казахстане, Канаде, России. Мысль верная. Как и на каких площадках ее правильно реализовать? Вот в чем суть. Тем более, что по аналогии с проектом Yucca Mountain стоимость только обоснования и строительства каждого хранилища (подземного)/могильника высокоактивных и долгоживущих отходов составит не менее ста миллиардов долларов. Кроме того, существует заслуживающее внимания мнение, что в будущем, возможно, нынешние отходы ядерной отрасли – ценное сырье, а их подземное размещение – формирование техногенных месторождений отложенного использования. Ведь все разнообразие элементного состава вещества Земли – результат когда-то и где-то произошедших ядерных реакций.

Ныне мы видим, что человечество переходит от принципа национальных усилий по временной/вечной изоляции таких отходов к интернационализации этой деятельности. А. Глюксман еще в начале века писал о совпадении интересов некоторых политических сил России и Запада по поводу международного ядерного могильника на российской территории (тогда предпочтение отдавали Челябинску) и о финансировании «уже несколько лет» процесса сближения (<http://www.inosmi.ru/untitled/20020427/140631.html>). Сближение в рамках темы ядерных отходов происходит на неудачном для российской атомной отрасли фоне резкого свертывания реального строительства Россией за рубежом и внутри страны новых АЭС, лихорадочных и зачастую сомнительных действий российского атомного менеджмента ([www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=4560](http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=4560); [www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=4588](http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=4588), [echo.msk.ru/blog/ecodefense/1100254-echo/](http://echo.msk.ru/blog/ecodefense/1100254-echo/)). Когда с системой принятия опасных и некомпетентных решений в Росатоме начинают не соглашаться полностью лояльные к отрасли в прошлом ее ветераны-профессионалы (<http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=4690>). И в условиях, когда экономика России перестает быть российской (<http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=4599>), а обрабатывающая промышленность и машиностроение страны исчезают (<http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=4639>). Но, по словам академика Н. Лаверова (<http://www.fontanka.ru/2013/06/24/138/>), когда «США постоянно с нами советуются» по вопросам обращения с радиоактивными отходами и их захоронения. Это мнение выдающегося геолога, специалиста в сфере безопасности ядерных технологий, основоположника и руководителя российских исследований по геологической изоляции отработавших ядерных материалов, политического деятеля и управленца в нефтегазовом бизнесе.

Ядерная отрасль страны и мира в нынешних трактовках, особенно ее гражданская часть, находится на чрезвычайно важном, но с большой неопределенностью того или иного безупречного исхода, этапе (возможно, в тупике). Ядерное оружие в наступившем веке - оружие бедных, что, в некотором смысле, ставит его вне законов, формируемых современной мировой элитой. Проекты гражданской отрасли теряют свою жизнеобеспечивающую актуальность. «Сегодня актуальны лишь проблемы уничтожения запасов всех видов устаревшего ядерного оружия и проблемы окончательного захоронения отработавшего ядерного топлива» (<http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=comments&sid=4716&tid=68829&mode=&order=&thold=>; <http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=comments&sid=4716&tid=68954&mode=flat&order=&thold=>:

<http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=comments&sid=4716&tid=69289&mode=flat&order=&thold=>).

Документы в связи с закрытием в США Yucca Mountain, американо-российское Соглашение № 123 (2010г.), Директива ЕС по обращению с ядерными отходами (2011г.) – вот основные правовые вехи на пути создания крупных международных подземных объектов изоляции ядерных материалов и радиоактивных отходов. В том числе и в России. Подробности тенденции раскрыты в моих статьях в журналах «Научный вестник Норильского индустриального института» (№ 10 – 2012 и № 12 – 2013), «Юридическая наука» (№ 1 – 2012 и № 3 – 2013), «Геофизический журнал» (№ 2 – 2008 и № 6 – 2012), «Энергетическая политика» вып. 4 – 2012, «Иzv. Вузов. Горный журнал» №2 - 2012 и других (ссылки на тенденцию приведены Н. Лаверовым в блоге [https://twitter.com/news\\_nlavero](https://twitter.com/news_nlavero)).

Хотя политическая воля к созданию международных ядерных хранилищ/могильников достаточно определенно проявлена многими странами, конкретные юридические, финансовые и экономические механизмы этого ещё предстоит создать. В том числе, и по части сбалансирования в России интересов общефедеральных и того региона, где объект будет создаваться. Видимо, как аналог будет принята схема практической реализации Соглашения между МАГАТЭ и Россией (2010г.) о создании первого в мире международного банка свежего ядерного топлива. Приветствуется и критическая правовая позиция относительно международных хранилищ (например, <http://www.dissercat.com/content/problemu-pravovogo-regulirovaniya-obrashcheniya-s-radioaktivnymi-otkhodami>; <http://www.barentsinfo.org/?DeptID=3549>), способствующая полной оценке ситуации.

Необходимо также четко идентифицировать и укоренить социокультурные (светские и религиозные) основания и критерии таких действий. На базе православия, философского наследия Ф. Достоевского (<http://www.lawinrussia.ru/node/164207>), с привлечением идей геоэтики и других элементов духовно-гуманитарных начал безопасности. Как показано в моих ранних работах (например: <http://www.zpu-journal.ru/e-zpu/2008/1/Komleva/>; <http://www.voskres.ru/economics/komleva.htm>; <http://elibrary.az/docs/jurnal-08/832j.htm>), в некоторых случаях плодотворно обращение к таким брендам как «Медной горы Хозяйка», «Сампо», «Сампо-Лопаренок». Так называемый «индекс безопасности ядерных материалов» Фонда «Инициатива по предотвращению ядерной угрозы» (Nuclear Threat Initiative), для сравнения, предусматривает анализ условий хранения и обращения с ядерными материалами в странах мира не только в плоскости военно-технической, но и социокультурной – от прошлого к будущему (<http://www.arms-expo.ru/050049054050124050054055048055.html>). Примечательны в этой связи материалы и атмосфера общения на профессиональном сайте «Проатом», который допускает разностороннее рассмотрение ключевых для отрасли проблем. «Все как у людей»: от низкого до высокого. Однако, как говорил один выдающийся политический деятель несколько по другому поводу: «Других... у меня для вас нет».

Тем более, что уже можно говорить о нарушениях правовых норм (как и морально-нравственных, а также научных критериев обоснования). Например: «Строительство подземной лаборатории возле Красноярского горно-химического комбината, несомненно, является началом сооружения пункта геологического захоронения радиоактивных отходов без получения лицензии на такое строительство, то есть является строительством несанкционированного могильника высокоактивных отходов. ...При сооружении подземной лаборатории...образуется депрессионная воронка, естественный гидрогеологический режим (объект изучения, - Е.К.) будет нарушен,...т.е. от лаборатории будет больше вреда, чем пользы» (<http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=4554>, комментарий Б. Серебрякова). Некоторые правовые инициативы в связи с могильником ГХК были переданы через В. Путина в адрес глав государств G20 участниками Гражданского саммита «Группы Двадцати» (<http://www.press-line.ru/novosti/2013/06/putinu-predlozhili-obratit-vnimanie-na-yadernyy-mogil-nik-pod-krasnoyarskom.html>).

Даже при показательных акциях открытости, специалистам и общественности не дают ответы на ключевые вопросы: почему именно Красноярский край, обстоятельства выбора, анализ других мест, критерии выбора, список ранее рассмотренных Росатомом (около 30 в 18 регионах!) площадок? Предполагается, что эти вопросы не останутся все же без ответа (<http://nuclearno.ru/text.asp?17434>). Некоторая информация к размышлениям по этому поводу приведена далее.

Площадку, которая была выбрана первоначально для одного объекта (наземного завода РТ-2 радиохимической переработки отработавшего ядерного топлива по несбывшимся тогда

планам расширения ГХК, <http://www.iapress-line.ru/dossier/item/10768-unik>), целенаправленно «подогнали» под принципиально другой. Другой, прежде всего, по сроку существования (миллионы лет – могильник, десятки лет - завод). Понятно, что требования к площадкам и к обоснованию их надежности разные для завода и могильника. Есть и другие признаки лукавого «протаскивания» Росатомом нужного решения ([www.bellona.ru/articles\\_ru/articles\\_2013/Krasnoyarsk-repository-EIA](http://www.bellona.ru/articles_ru/articles_2013/Krasnoyarsk-repository-EIA), [www.facebook.com/NETmogilniku](http://www.facebook.com/NETmogilniku), [www.sgzt.com/krasnoyarsk/?module=articles&action=view&id=1617&theme=2](http://www.sgzt.com/krasnoyarsk/?module=articles&action=view&id=1617&theme=2)).

Выбранный вблизи Железногорска Нижнеканский массив гранито-гнейсов вскрыт едва ли десятью скважинами не глубже 700 метров. Имеются обоснованные знаниями о генезисе этого типа пород принципиальные сомнения в их хороших гидроизолирующих свойствах (<http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=4774>). Кроме того, граниты в последнее время преподносят геологам поразительные сюрпризы, невообразимые ранее. Месторождение «Белый тигр» знаменито гигантскими запасами нефти в гранитах на глубинах 1-3 километра. Имеются и другие примеры нефти в кристаллических породах ([http://journal.deerpoil.ru/images/stories/docs/DO-1-1-2013/2\\_Resolution\\_1-KR.pdf](http://journal.deerpoil.ru/images/stories/docs/DO-1-1-2013/2_Resolution_1-KR.pdf)). Кстати, в породах Нижнеканского массива отмечали проявления углеводородов (Ф. Бакшт, Томск, устное сообщение). Для обоснования могильника ГХК эти факты важны двумя следствиями.

Во-первых, пришло время радикального пересмотра концепций поиска и разведки углеводородов. Во-вторых, доказано, что на глубинах в первые километры граниты могут иметь мощные зоны массопереноса, в том числе с направленностью движения газов и флюидов к земной поверхности. Именно обнаруженные Ю. Дублянским (<http://www.seu.ru/programs/atomsafe/B3/g6.htm>) геологические индикаторы периодического появления глубинных вод у земной поверхности впоследствии стали главным аргументом при закрытии проекта Yucca Mountain. А если под ГХК море нефти или воды? Будем потом, после эксплуатации «ядерного кластера», разведку вести – как Казахстан (<http://lenta.ru/news/2013/06/25/use/>). Германия уже обеспокоилась прогнозом наличия газа ниже подземной лаборатории «Горлебен» на глубине 3 километра и соседством площадки с Эльбой (<http://atominfo.ru:17000/hl?url=webds/atominfo.ru/news/air8788.htm&mime=text/html&charset=windows-1251>). МАГАТЭ, кстати, рекомендует при обосновании площадки захоронения ДОКАЗАТЬ отсутствие в ее недрах и вблизи полезных ископаемых, особенно высоколиквидных. Есть и глобальное третье следствие. Абиогенная нефть, как частный случай нефти в гранитах, позволит не принимать серьезно разговоры про принципиальную невозможность запасов углеводородов, скорое их исчерпание и про неизбежность развития гражданской ядерной энергетики с применением опасной радиохимии.

Могильник за Уралом – историческое первое предложение Минатома/Росатома. Кстати, первым (1985г.) было предложение о Кольском полуострове ([http://www.opec.ru/news.aspx?id=221&ob\\_po=86000](http://www.opec.ru/news.aspx?id=221&ob_po=86000)), а первое впечатление, как говорят, всегда самое верное. Какова судьба предыдущих, каждое из которых в свое время было «всесторонне обоснованным и единственно верным»? Почему «один на всех» могильник вот-вот будут строить вблизи Красноярска – географического центра России? Всесторонне ли обоснован этот вариант с учетом предыдущих и еще имеющихся сейчас вариантов? А почему не построить два, но у границ (западной, Печенга и восточной, Краснокаменск)? Могильники у границ с серьезными соседями на несколько порядков повысят безопасность объектов. По крайней мере, о разрушениях в результате военных действий, диверсий и терактов, направляемых против России, можно будет не беспокоиться. Будем крепко помнить о работе крылатых ракет по Югославии. Вовсю идет подготовка к подобному в Сирии. Но никто не решится потревожить таким образом совместно Россию и Китай или Россию и Норвегию, Финляндию, Швецию. Да и другие аспекты безопасности могильника будут выверены многократно, безо лжи, в связи с жизненно важными интересами разных стран, не только Росатомом. Учитывая масштаб задачи и длительность качественного выбора, строительства, эксплуатации и мониторинга объекта, несомненно, что это мотивирует «навечно» международное сотрудничество в приграничье нынешней молодой поросли специалистов и будущих поколений.

В конце концов, если события к тому пойдут, у Печенги и Краснокаменска есть и потенциал глобального ядерного сдерживания аналогично широко известной идее реального и фантастического вариантов «Периметр» и «Машина Судного дня» - никаких уязвимых средств ответной доставки не надо. «Ядерный остров» в границах родного мне Мурманска (<http://nuclearno.ru/text.asp?17345>), как и хранилище на сто лет в Сайда-Губе, видимо, задумка

Росатома «из той же серии». Но, надо отметить, не в самый раз придумано: слабо, слабо.... Не учли настораживающую трассу событий с АПЛ «Комсомолец», «Курск», «Екатеринбург». По части защиты безопасности страны и региона этот как бы остров не только многократно хуже, чем вариант Печенги, но и, скорей всего, подрывает ее. Береговые базы и судоремонтные заводы ВМФ России, прилегающие акватории впору называть «Новыми Бермудами».

Единственный, которому сейчас можно безоговорочно верить, предположительный ответ Росатома применительно к Железногорску – здесь действует и будет все же расширено радиохимическое производство ГХК с целью «одним махом» покрыть все формируемые РФ такого рода потребности. Вот так: главное, - обеспечить решение сиюминутной, не вполне очевидной задачи по развитию ГХК. Могильник лишь необходимое дополнение для этого, а не самостоятельная сложнейшая проблема! Радиохимический завод для гражданских целей «определяет сознание», а не потребность правильно, всесторонне и надежно обосновать решение по вечной изоляции отходов. Кроме того, одновременно госкорпорация запускает амбициозный проект «Прорыв», который призван сформировать новый для России и мира облик отрасли и предусматривает, видимо, опасную радиохимическую переработку при каждой АЭС нового поколения непосредственно на площадках этих станций. Что за стратегическое противоречие – раздвоение сознания? К тому же, замечу, радиохимические технологии решаются применить в промышленных масштабах гражданской отрасли далеко не все ядерные страны. Россию не смущают «странные метеориты» (<http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/12706.html>), осваивающие маршруты над ее территорией.

Нынешняя администрация Росатома на примере программ строительства АЭС показала слабость планирования и реализации планов в интервале времени в десять лет. Но она, на примере могильника вблизи Красноярска, пытается убедить общество, что на миллионы лет вперед предвидеть ход событий и тратить бюджетные деньги умеет. Специалисты США несколько десятков лет поэтапно выбирали по всей стране площадку для могильника, сравнивая разные геологические формации, пока не получили право начать горные работы на Yucca Mountain. Но, увы, итог и здесь печален. А Росатом быстро, в стиле нового «прорыва» и без альтернатив, нашел подходящий массив «у забора» ГХК.

Выбор Нижнеканского массива осуществлен структурами Росатома – ВНИПИПромТехнологии и Радиевым институтом. Он не оптимален геологически (<http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=4634>). Номенклатура подлежащих долговременной/вечной изоляции высокоактивных материалов уже сейчас не сводится только к отходам радиохимии ГХК. Со временем, особенно при ускорении процессов демонтажа ядерных объектов и все большей интернационализации отрасли, неадекватность по многим параметрам площадки вблизи Красноярска будет становиться все очевидней и отягощающей. И шаг за шагом, если могильник здесь будет построен, его функции, скорей всего, будут последовательно, каждый раз «в связи с новыми непредвиденными обстоятельствами», расширяться. Модернизация станет постоянной. Радиационные нагрузки на территорию будут возрастать.

При уважении к опыту упомянутых выше институтов, следует помнить, все же, и некоторые неприятные итоги их научных обоснований в условиях финансовой и корпоративной зависимости от администрации Росатома. ВНИПИПромТехнологии – разработчик («научный» подход тот же – «у забора» своего объекта, но совершенно иного назначения) отвергнутого после критики со стороны Горного института Кольского НЦ РАН проекта подземного ядерного могильника на полигоне Новой Земли, незаконченного аналогичного проекта для территории ПО «Маяк». Кто может вспомнить добрым словом эти проекты? Прямое наследство ВНИПИПТ – неоднозначные результаты подземных ядерных взрывов в мирных целях. Радиевый институт, как минимум, поддержал продвижение одной из технологий обращения с радиоактивными отходами на объекты ПО «Маяк» и (совместно с ВНИПИЭТом) РосРАО, которую осудила Комиссия РАН по борьбе с лженаукой и фальсификацией научных исследований ([http://www.gazeta.ru/science/2013/06/28\\_a\\_5394973.shtml](http://www.gazeta.ru/science/2013/06/28_a_5394973.shtml); [http://moi-vzn.narod.ru/VZN\\_12.PDF](http://moi-vzn.narod.ru/VZN_12.PDF), с. 22-24; <http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=4630>).

Ядерные могильники справедливо, подчеркивая главную роль природных условий в долговременной защите, называют еще геологическими хранилищами. Геология – не профиль Росатома по определению. Не урановые объекты – тем более. Это отражается и в тематике дискуссий и на официальном, и на неофициальном российских уровнях. Преобладают устремления вперед: новые энергетические мощности, реакторы, топливные технологии. Проблемы «тыла» - демонтажа технических достижений, геологической изоляции отработавшего

оборудования, топлива и наработанных отходов - не являются при этом любимыми. Когда же время принуждает все же делать в этом сегменте отрасли дело, начинаются далеко не безобидные «фокусы» с терминологией, правовым статусом и нормами безопасности (<http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=4774>), переносом сроков. В итоге удобным по времени и финансированию оказывается погружение в пучину нереализуемых мечтаний о «Новом Атомном проекте», а неотложные задачи отрасли (включая геологическое захоронение) отодвигаются в сторону или выполняются абы как.

Российская ядерная отрасль изолируется сознательно, отчасти высокомерно, от комплексных знаний о Земле, от горно-геологической науки и практики в ее полноте, фактически пренебрегает мировым опытом. Проявляет готовность «свалить» отходы своей и чужой деятельности «в первую попавшуюся дыру», решает сложную задачу примитивно по принципу «приятного во всех отношениях» Нижнеканского массива «под боком», игнорирует развитие перспектив абиогенных и сланцевых углеводородов. Тем самым она многопланово дискредитирует себя в глазах «просвещенного человечества». И рискует полностью потерять надежных сторонников широкого профессионального спектра, в том числе и среди специалистов в науках о Земле.

Завершающие стадии любого ядерного топливного цикла достоверно не исследованы экономически (<http://www.atomnews.info/?T=0&MID=62&JId=62&NID=3481>). Как не поняты до конца и причины Чернобыля, «а реакторы продолжают работать» (комментарии к <http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=4718>). Кто после ликвидации нынешней РАН хоть как-то (а необходимо комплексно) будет контролировать, учитывая необозримые во времени перспективы ядерной отрасли и ее последствий, геолого-географо-экономические «открытия» и гарантии безопасности Росатома?

Немного о личном. Меня часто подозревают в некомпетентности. Например, мне говорили: «Статьи по существу не геологические/не горных наук». Да, не геологические и не горные в устоявшихся традициях и правилах работы геологов и горняков. А «геологическое хранение ядерных материалов» - это горно-геологическая проблематика? Да, горно-геологическая. Тем не менее, по ряду исторических и политических причин «гражданские» геологи и горняки со всем их разносторонним опытом и методами исследований отстранены/самоустранились от этих дел. Хотя в начале «Атомного проекта» работами по массовым поискам урана, строительством подземных объектов значительно помогли Минатому и стране. По крайней мере, сейчас они находятся не в активной позиции, а на правах «гастарбайтеров» на вспомогательных (чтобы не дело сделать, а общественность формально успокоить) подрядных работах. Кто платит, тому и танцуют по заказу. Это ошибка. Я пыталась, хотя и неумело, поспособствовать исправлению дел, инициировать понимание того, что участие специалистов по Земле в таких исследованиях должно быть усилено. А как и по каким направлениям? Ну, это уже дело этих специалистов «по существу»: понять задачи и определить свое место в строю. Думалось, что вот тут то и хороши были бы статьи «по существу геологические/горные», но не мои. Я не могу причислить себя к уважаемым геологам и горнякам - это правда.

Международные подземные хранилища/могильники ядерных материалов можно рассматривать как элементы будущей системы ядерного нераспространения, как панацею, в том числе, и от попадания этих материалов (возможная начинка радиологического оружия) в руки террористов.

Но прежде, все же, следует, минимум на двух уровнях, переосмыслить вопрос: «Нефть или ядерная энергия/ядерные отходы?» Глобальный уровень. Если абиогенная нефть реальна (как реальна на Земле вода различного происхождения), то нужно остановить (приостановить) развитие нынешней и любой другой будущей ядерной энергетики, неотъемлемым следствием которых есть и будет штатное и аварийное генерирование высокоактивных и долгоживущих отходов. А также – системы международных подземных ядерных могильников, в том числе приостановить работы вблизи Красноярска. Локальный уровень. Если строительство могильника вблизи Красноярска необходимо, надо с помощью глубокого бурения доказать отсутствие нефти и благоприятный гидрологический режим применительно к оконтуривающим предполагаемое место заложения объекта кристаллическим породам Нижнеканского массива.

Для Печенгской геологической структуры и ее обрамления (где обильно, как и в зоне урановых месторождений Краснокаменска, представлены и граниты), например, множеством скважин глубиной 2-2,5 километра, сетью горных выработок «Норильского никеля» и Кольской сверхглубокой скважиной доказано отсутствие нефти и показаны благоприятные предпосылки естественной гидроизоляции будущих подземных сооружений могильника. На основе местного

сырья разработаны строительные материалы, надолго предназначенные для дополнительной (в составе защитных инженерных барьеров) изоляции радионуклидов, а также блокирования опасных процессов внутри могильника. Про инженерно-геологические и другие свойства гранитов Краснокаменска (в частности, их опасную склонность к горным ударам) много знают тамошние и московско-петербургские специалисты. А мурманские геологи, геофизики и горняки пока еще способны (даже, вероятно, самостоятельно и уже в ближайшее время) наполнить при наличии заказчика имеющимися на сегодня фактическими результатами полевых работ первоначальную «затравку» для дальнейшего полновесного обоснования альтернативного варианта международной площадки захоронения высокоактивных и долгоживущих ядерных отходов на Северо-Западе РФ. В прошлом веке их усилиями и по их инициативе в честном научном соревновании было доказано, в том числе на международном уровне (TACIS Project NUCRUS 95410), преимущество Мурманска перед Новой Землей. Почему бы им сейчас с имеющимся горно-геологическим опытом, вариантами площадок на Кольском полуострове и анализом, прежде всего, соседских шведско-финских аналогов (мировых лидеров по части гранитных массивов) не быть оппонентами исследователям площадки около Красноярска?

Одновременно были бы заложены предпосылки создания объекта новой отрасли на горно-геологической основе, который бы (дольше, чем горное дело прежних и нынешних лет, стоящее на пороге кризиса) наполнял бюджет региона основными доходами.

Тем более, что именно с Мурманском отчасти связаны разработка основ научного направления по локализации радиоактивных отходов и отработавшего ядерного топлива, стратегическому использованию подземного пространства страны, а также руководство крупномасштабными исследованиями в области подземного строительства специальных объектов государственного значения, в частности – подземных АЭС и ядерных могильников (<http://ria.ru/science/20130725/951940224.html>; <http://goikolasc.ru/congratulation>). Попытки «навести мосты» между площадками двух регионов со стороны специалистов Кольского полуострова были ([2]; [http://www.opec.ru/news.aspx?id=221&ob\\_no=86000](http://www.opec.ru/news.aspx?id=221&ob_no=86000); [conf.sfu-kras.ru/uploads/MelnikovNN.doc](http://conf.sfu-kras.ru/uploads/MelnikovNN.doc); [portal.tpu.ru/files/conferences/radioactivity/book-light.pdf](http://portal.tpu.ru/files/conferences/radioactivity/book-light.pdf)).

Именно Печенга максимально обеспечит выполнение упомянутой рекомендации МАГАТЭ: известные месторождения исчезнут, а новые практически невероятны при высочайшей геологической изученности территории. Не изменится коренным образом ситуация на данной площадке даже при использовании новых технологий и организации поисковых и разведочных работ относительно традиционного и нового (золото) для Печенги сырья, о гипотетических результатах которых предполагает в общем по региону А. Калинин (<http://zolotodb.ru/articles/geology/placer/10553>). Новые исследования по высоколиквидным полезным ископаемым здесь беспроигрышны при любом их результате. В частности, при отрицательном результате или, в крайнем случае, локальной находке они усилят доказательную базу в части подземного ядерного объекта вне месторождений. Аналогия: в РАН (Н. Лаверов) такой же подход к Краснокаменску считают “единственно верным” (2011г., <http://www.ras.ru/FStorage/Download.aspx?id=bb9c25dd-630b-4f87-8d3e-6fad9a0ba9ca>; 2005г., <http://newmdb.iaea.org/GetLibraryFile.aspx?RRRoomID=694>). “Приаргунское производственное горно-химическое объединение” может работать при существующих запасах урана 30-35 лет.

Международные перевозки ядерных материалов и радиоактивных отходов в Печенгу (как и часть российских, например, с Дальнего Востока), скорей всего, будут осуществляться морем по освоенным несколькими странами (США, Япония, Франция, Швеция, Россия и др.) технологиям. При этом территория страны не будет подвергаться опасности.

Печенгская структура по праву должна рассматриваться как уникальное геологическое (с комплексом других привлекательных для решения проблемы подземного ядерного могильника черт) место Кольского полуострова и России. Печенга – непревзойденный стандарт степени геологической изученности (советский, ставший по наследству российским) и, возможно, качества породных массивов. Здесь (как нигде еще) даже граница мантии установлена точно, по данным геофизики и бурения (А. Жамалетдинов). Необходимо приветствовать попытки новых разносторонних исследований применительно к данной площади. Такая высокая планка подхода к знаниям о литосфере и критериям ее пригодности наиболее адекватна задаче создания природно-техногенного объекта в недрах Земли, безопасно и никому не мешая существовать который впервые в истории человечества должен не иначе как в координатах времени геологического. Соответственно новой, экологической, функции литосферы.

Следует отметить, что разрабатываемая на примере Печенги методология обращения в контексте геологического хранения ядерных материалов к бывшим или истощающимся



сульфидным медно-никелевым месторождениям имеет потенциал расширения. В частности, при необходимости «Норильский никель» и на равноудаленном от западных и восточных поставщиков Таймыре найдет пригодные массив и/или готовые выработки для хранилища, дополнительно изолированные покровом естественных многолетнемерзлых пород. Или на Северо-Востоке России. Не замороженные приповерхностные известняки в качестве непосредственной среды захоронения (как предлагалось ВНИПИПТ для условий полигона Новой Земли), которые и без глобального потепления превратятся в «газированное болото» под действием тепловых и радиационных нагрузок. А приличного инженерного качества породы с плюсовым температурным режимом под отдельной «шапкой» многолетней мерзлоты для дополнительной гарантии от проникновения метеорных вод. Вот ведь на Фукусиме-1 после более чем двух лет неудачных попыток предотвратить миграцию радиоактивной воды приняли решение применить достаточно освоенную в горной промышленности искусственную заморозку грунта вокруг и под АЭС. Удачным сочетанием для любых сценариев будущего ядерной энергетики может быть подземное хранилище вблизи Норильска и уже действующее наземное хранилище Красноярского ГХК.

Благодарю за поддержку исследований профессора Brigitte Falkenburg.

#### Список литературы:

1. Никипелов Б. Этика и диалектика в ядерной энергетике / Бюлл. по атомной энергии / ЦНИИ Атоминформ. – 2003, №10. – С. 7-14.
2. Мельников Н.Н., Конухин В.П., Комлев В.Н. Материалы на основе минерального и техногенного сырья в инженерных барьерах для изоляции радиоактивных отходов. – Апатиты, 1998, Изд. Кольского НЦ РАН. – 94 с.

#### Использование выгорающих поглотителей в реакторе ВВЭР – 1000

*Монгуш С.А.*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск*

[mongusch-s@mail.ru](mailto:mongusch-s@mail.ru)

Тенденции совершенствования реакторов ВВЭР направлены в основном на увеличение глубины выгорания выгружаемого ядерного топлива. Высокая глубина выгорания обеспечивается выполнением более длинного топливного цикла, удлинением кампании реактора (цикл между перегрузками при сохранении общего числа загружаемых теплоделяющих сборок).

В настоящее время рассматривается возможность перехода на 18 и 24 месячные топливные циклы, в которых глубина выгорания в выгружаемых ТВС может достигать 70 МВт·сут/кг[1]. Удлинение кампании реактора возможно путем повышения начального обогащения топлива. Это приводит к необходимости компенсации высокой избыточной реактивности в начале топливных циклов, что может быть достигнуто при помощи введения в топливо выгорающих поглотителей, который позволяет компенсировать запас реактивности в начале кампании, а также снижает неравномерность энерговыделения в кассетах и в активной зоне реактора в целом.

Ранее в качестве выгорающего поглотителя в реакторах ВВЭР использовались стержни из карбида бора, но их использование сокращает количество твэлов в активной зоне. В настоящее время в реакторах ВВЭР-1000 в качестве выгорающего поглотителя используются твэги, в которых оксид гадолиния равномерно размещается в топливных таблетках. Использование уран-гадолиниевое топлива (УГТ) связано с определёнными проблемами:

- замещение уранового топлива оксидом гадолиния ведет к уменьшению массы топливного элемента;

- уран-гадолиниевое топливо имеет более низкую теплопроводность по сравнению с диоксидом урана, что приводит к ухудшению его термодинамических свойств; для уменьшения температуры топлива до заданного максимально предела требуется уменьшение обогащения урана;

- скорость убыли поглотителей существенно превышает скорость выгорания топлива.

Между тем, существуют и альтернативные способы размещения выгорающих поглотителей. Рассматривается возможность гетерогенного размещения проволоки из оксида гадолиния в центральной отверствии топливных таблеток. Компания Westinghouse в реакторах типа PWR использует диборид циркония в виде напыления на внешнюю поверхность топливной таблетки. Данные способы размещения поглотителей пока не нашли применения в отечественной атомной энергетике, однако уже существуют патенты РФ по различным способам нанесения

покрытия из диборида циркония на топливные таблетки из оксида урана. Следовательно, анализируется возможность использования данных способов размещения поглотителей в реакторе ВВЭР-1000.

Расчеты проводились с использованием программного комплекса WIMSD-5BD с использованием DSN метода (метод дискретных ординат)[2]. В качестве расчетной модели рассматривалась элементарная ячейка активной зоны реактора ВВЭР-1000 с одиночным твэлом и с окружающим его водяным теплоносителем.

Выполнено преобразование реальной шестигранной элементарной ячейки к цилиндрическому виду. Из условия сохранения площади ячейки был определен внешний радиус ячейки, равный 0,6694 см.

Анализ гомогенного размещения оксида гадолиния показал, что высокая глубина выгорания и длительный период кампании реактора требует увеличения количества поглотителей, что вызывает увеличение влияния отрицательных побочных эффектов, таких как уменьшение теплопроводности топлива из-за увеличения содержания выгорающих изотопов [3]. Зависимость бесконечного коэффициента размножения от глубины выгорания для топлива с гадолинием не достигают значений  $K_{\infty}$  с чистым диоксидом урана даже после практически полного выгорания гадолиния, вследствие уменьшения ядерной концентрации диоксида урана и ростом концентрации оксида гадолиния.

При гетерогенном размещении гадолиния в центре топливной таблетки в виде проволоки существенно замедляется темп выгорания поглотителя по сравнению с вариантом с гомогенным размещением в топливе. Данный способ размещения выгорающего поглотителя позволяет практически избежать «выбега» реактивности в начале кампании, а также достичь эффекта «плата» в одиночном твэле для коэффициента размножения на широком отрезке времени работы на мощности. Преимуществом гетерогенного размещения является, то, что материал выгорающего поглотителя располагается не в самом топливе, а, следовательно, не уменьшает его содержания в твэле и не влияет на его теплофизические и механические свойства. Количество выгорающего поглотителя, расположенного в центральной отверстии топливной таблетки, ограничено диаметром этого отверстия.

Использование в качестве выгорающего поглотителя бора, его основным изотопом является  $^{10}\text{B}$ , который имеет большое сечение поглощения нейтронов в тепловой области энергий. В результате ядерных превращений этот изотоп превращается в нуклиды с малыми сечениями поглощения нейтронов. Недостатком такого поглотителя является возникновение гелия в результате ядерной реакции  $^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}$ , вследствие чего может повыситься давление в твэле.

Эффективность использования диборида циркония занимает промежуточное положение между гомогенным размещением оксида гадолиния в топливе и его гетерогенным размещением в виде проволоки в центральной отверстии. Начальная компенсация и «выбег» реактивности не так велики, как в первом варианте, и нет такого замедленного высвобождения реактивности, как во втором варианте.

#### Список литературы:

1. Давахра Сааду. Использование выгорающих поглотителей в реакторах типа ВВЭР: Дис. канд. Тех. Наук : 05.14.03 Москва, 2006 13с.
2. Патент РФ № 2131626 – Таблетка ядерного топлива с покрытием (ее варианты), способ нанесения покрытия и установка для осуществления способа
3. Перспективные технологии использования оксидного уран-гадолиниевого топлива в легководных реакторах / Стогов Ю.В., Белоусов Н.И., Савандер В.И. и др. // Материалы XIV семинара по проблемам физики реакторов. М.: МИФИ. 2006. С.45-47.

#### Вывод из эксплуатации промышленных уран-графитовых реакторов ФГУП «ГХК»

*П.М. Гаврилов; А.А. Устинов; А.Г. Сиренко; М.В. Антоненко;*

*Д.В. Журников; А.А. Музыкантов*

*ФГУП «Горно-химический комбинат», Россия, г. Железногорск*

[Sydrex@bk.ru](mailto:Sydrex@bk.ru)

#### 1. Исходное состояние

На площадке ФГУП «ГХК» расположены три промышленных уран-графитовых реактора (ПУГР) – АД, АДЭ-1 и АДЭ-2. Реакторы вместе со вспомогательным оборудованием и коммуникациями размещены в горных выработках скального массива.

Решение о строительстве сооружений и комплекса с промышленными ядерными реакторами принято постановлением Совета Министров СССР № 826-302сс/оп от 26.02.1950 «О комбинате № 815».

ПУГР АД являлся одноцелевым проточным реактором на тепловых нейтронах. Реактор эксплуатировался с 28.08.1958. Остановлен для вывода из эксплуатации 30.06.1992.

ПУГР АДЭ-1 проектировался как энергетический, но эксплуатировался как одноцелевой и работал в проточном режиме с 20.07.1961. Остановлен для вывода из эксплуатации 29.09.1992.

ПУГР АДЭ-2 эксплуатировался с 30 января 1964 года в двухцелевом режиме, то есть кроме наработки оружейного плутония обеспечивал теплом и электрической энергией 100-тысячный город Железногорск.

По межправительственному Соглашению с США остановлен 15 апреля 2010 года для вывода из эксплуатации.

Реакторы расположены в бетонных шахтах, представляющих собой выработки в горных породах, облицованные монолитным бетоном.

После останова ПУГР АД и АДЭ-1 приведены в ядерно-безопасное состояние, получены соответствующие заключения ОЯБ ФЭИ по ядерной безопасности графитовых кладок реакторов.

После останова ПУГР АДЭ-2 из активной зоны реактора выгружено все ядерное топливо, графитовая кладка приведена в ядерно-безопасное состояние. Все отработавшие ядерное топливо природного обогащения (ОСУБ) было переработано на Радиохимическом заводе ФГУП «ГХК» до 15.02.2013.

Работы по выводу из эксплуатации (ВЭ) проводились в соответствии с проектно-технической и конструкторской документацией, разработанной ОКБМ, КО ВНИПИЭТ, НИКИМТ.

На реакторах АД и АДЭ-1 выполнен основной объем работ по демонтажу систем и оборудования, по герметизации проходок через шахты реакторов, дезактивации оборудования и помещений.

#### 2. Работы по выводу из эксплуатации ПУГР ФГУП «ГХК» в рамках ФЦП ЯРБ

С 2008 года основные работы по выводу из эксплуатации остановленных реакторов АД, АДЭ-1, ведутся в рамках п.62 федеральной целевой программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года».

В рамках ФЦП в период времени с 2008 по 2015 год выполнены следующие работы:

- На реакторах АД и АДЭ-1 выполнена часть работ по демонтажу систем и оборудования;
- На реакторе АДЭ-2 проводилась дезактивация оборудования и помещений;

- Проведены необходимые НИОКР для обоснования концепции вывода из эксплуатации промышленных уран-графитовых реакторов по варианту радиационно-безопасного захоронения на месте;

- Проведено комплексное инженерное и радиационное обследование (КИРО) ПУГР АДЭ-2;

- Проведено нейтронно-фотонное обследование графитовой кладки АДЭ-2 с целью дальнейшего обоснования ее ядерно-безопасного состояния и получения соответствующего заключения ОЯБ ФЭИ по ядерной безопасности.

К 2015 году будут созданы дополнительные инженерные барьеры в пределах шахты ПУГР АД (вывод из эксплуатации реактора АД запланирован на 2018 год). Работы по выводу из эксплуатации АДЭ-1 и АДЭ-2 будут проводиться последовательно, после вывода из эксплуатации реактора АД.

#### 3. Выбор варианта вывода из эксплуатации

К 2009 году, учитывая имеющиеся результаты научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР) и технико-экономических исследований, показывающих принципиальную возможность и экономическую целесообразность создания на месте размещения промышленного уран-графитового реактора (ПУГР) объекта окончательной изоляции (захоронения) радиоактивных отходов (РАО), в качестве приоритетного варианта вывода из эксплуатации ПУГР стали рассматривать вариант радиационно-безопасного захоронения на месте.

Переход от варианта долговременного хранения к варианту захоронения, прежде всего, обусловлен отсутствием за довольно длительный временной интервал проблемно-ориентированных подходов к задаче утилизации/перезахорониванию основных радиационно-опасных конструктивных элементов реактора, в том числе содержащих просыпи топлива, а также возможностью использовать проектные решения, реализованные ранее, для варианта захоронения.

Данное направление развития стратегии ВЭ ПУГР получило всестороннюю поддержку со стороны Госкорпорации «Росатом». В 2010 году была утверждена отраслевая концепция вывода из эксплуатации ПУГР по варианту захоронения на месте.

Основными аргументами в пользу варианта радиационно-безопасного захоронения реакторов АД и АДЭ-1 на месте размещения, запатентованного ФГУП «ГХК» (Патент № 2444796 от 15.07.2010), являются: уникальное расположение реакторов в горных выработках; отсутствие научно обоснованных методов утилизации и принятой в отрасли программы по способам обращения с радиоактивно загрязненным графитом; нецелесообразность перезахоронения графитовых кладок, активность которых определяется долгоживущими радионуклидами, в специально предназначенных пунктах хранения, рассчитываемых обычно на 50 лет эксплуатации.

Горный массив образует природный барьер безопасности – естественный внешний контайнмент, который в совокупности с существующими и дополнительно создаваемыми защитными барьерами обеспечит выполнение современных требований по радиационной безопасности. Кроме того, горный массив выполняет функцию основного конструктивного элемента подземного сооружения, который в состоянии воспринимать значительные внешние и внутренние техногенные нагрузки и воздействия.

Реализация варианта захоронения реакторов на месте позволит локализовать и изолировать основные радиоактивно загрязненные компоненты оборудования, строительных конструкций, радиоактивные отходы в шахтах реакторов с созданием необходимых физических барьеров безопасности, исключающих несанкционированный доступ в зону локализации и нерегламентированный выход радиоактивных веществ в окружающую среду.

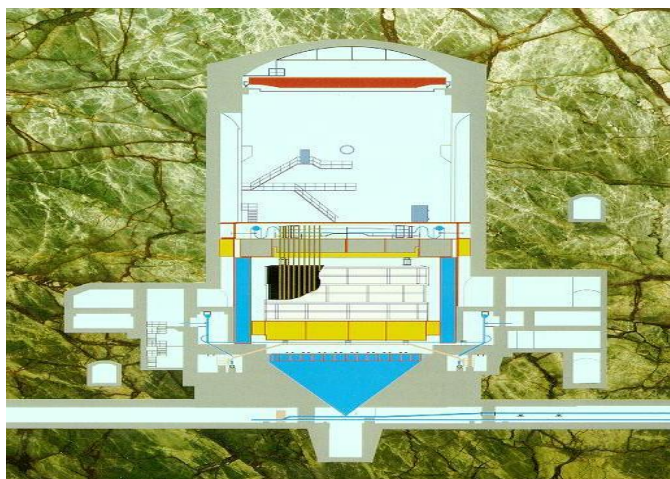


Рисунок 1 – Расположение промышленного реактора в горном массиве.

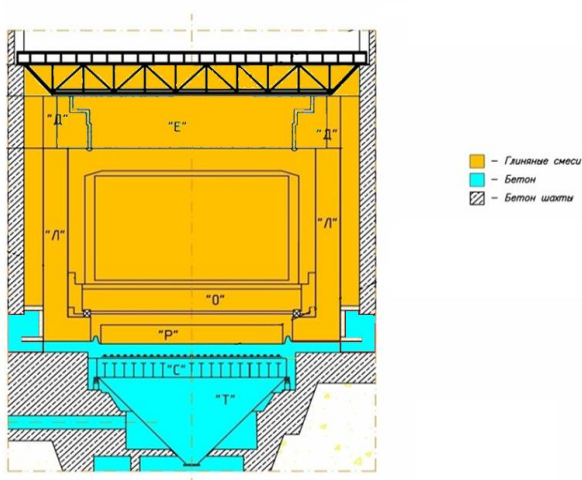


Рисунок 2 – Схема реактора с дополнительными защитными барьерами

Полный демонтаж (ликвидация) конструкций и строительных сооружений ПУГР, содержащих радиоактивные вещества и материалы, удаление всех радиоактивных отходов с площадки ПУГР, а также реабилитация всей площадки ПУГР в целях дальнейшего использования, принимая во внимание специфику расположения ПУГР, представляются нецелесообразным.

Нецелесообразность ликвидации загрязненного оборудования, внутриплощадочных хранилищ РАО и других сооружений, содержащих радионуклиды, с вывозом радиоактивных материалов за пределы площадки, следует также из того, что площадки, на которых размещаются ПУГР, находятся в зоне, где уже существуют поверхностные и подземные хранилища и могильники РАО.

Согласно оценкам затрат на проведение работ по ВЭ ПУГР и накопленному опыту вывод из эксплуатации ПУГР по варианту захоронения требует меньших, по сравнению с вариантом «ликвидация», трудо- и дозозатрат и является более приемлемым по материально-техническим соображениям и срокам выполнения работ.

Обеспечение безопасности захоронения ПУГР следует из принятых в отрасли принципов обеспечения безопасности при обращении с радиоактивными отходами.

Безопасность системы захоронения РАО (долговременная безопасность) должна обеспечиваться на основе реализации принципа многобарьерности, основанного на применении системы барьеров на пути распространения ионизирующего излучения и радиоактивных веществ в окружающую среду, чтобы нарушение целостности одного из барьеров или вероятные внешние события природного или техногенного происхождения не привели к недопустимому снижению уровня безопасности системы захоронения РАО.

Принцип глубоко эшелонированной (многобарьерной) защиты при ВЭ ПУГР предусматривает сочетание существующих барьеров (кожух, металлоконструкции, бетонная шахта, окружающая выработку горная порода) и вновь создаваемых защитных барьеров (засыпка глиной, бетонирование подреакторного пространства, перекрытие, герметизирующее шахту реактора).

В настоящее время проводятся прогнозные расчеты для оценки безопасности захоронения ПУГР, а также выполняется оценка их воздействия на окружающую среду и население на весь период потенциальной опасности.

#### 4. Этапы вывода из эксплуатации ПУГР ФГУП «ГХК»

- Выгрузка топлива и приведение установки в ядерно-безопасное состояние.
- Демонтаж оборудования за пределами реактора с целью создать условия для последующего заполнения конструкции реактора изолирующим материалом.
- Бетонирование подреакторного пространства армированным гидроизоляционным бетоном.
- Последовательное заполнение всех полостей и локальных пустот шахты реактора мелкодисперсной композицией на основе глинистых минералов.
- Заполнение природными материалами минерального происхождения помещений, прилегающих к реакторной установке.
- Создание контайнмента завершается сооружением верхнего перекрытия.

#### 5. Результат реализации проекта

- В конечном состоянии реактор будет защищён многобарьерной системой, обеспечивающей надёжную изоляцию радионуклидов от окружающей среды.
- Экономическая эффективность – более 1 миллиарда рублей на одну установку (с учетом затрат на сооружение региональных хранилищ ТРО при реализации варианта «ликвидация»).

#### 6. Риски отложенного решения

Вывод из эксплуатации является обязательным этапом жизненного цикла реакторных установок. Отказ от деятельности по выводу из эксплуатации окажет негативное влияние на окружающую среду, в особенности для будущих поколений, так как неизбежно приведёт к постепенной утрате защитных функций существующих барьеров безопасности: металлоконструкций реактора и строительных конструкций, что в свою очередь увеличивает риски распространения радиоактивных веществ за пределы промышленной площадки ФГУП «ГХК».

7. Награды, полученные ФГУП «ГХК» за патент № 2444796 с приоритетом от 15.07.2010 «Способ вывода из эксплуатации канального уран-графитового ядерного реактора».

- 2013 год - на международном конкурсе «Национальная безопасность», прошедшем в Москве, ФГУП «ГХК» получило диплом и медаль;

– 2013 год - на XVI Московском международном салоне изобретений и инновационных технологий «Архимед - 2013» ФГУП «ГХК» получило золотую медаль;

– 2013 год - в Женеве на 41-й международной выставке изобретений «INVENTIONS GENEVA» в категории энергетика ФГУП «ГХК» получило золотую медаль.

#### Список литературы:

1. Актуализированными концепция вывода из эксплуатации промышленных уран-графитовых реакторов по варианту радиационно-безопасного захоронения на месте № 106000/0000130008-АД.
2. Актуализированными концепция вывода из эксплуатации промышленных уран-графитовых реакторов по варианту радиационно-безопасного захоронения на месте № 106000/0000130008-АДЭ-1.
3. Актуализированными концепция вывода из эксплуатации промышленных уран-графитовых реакторов по варианту радиационно-безопасного захоронения на месте № 106000/0000130008-АДЭ-2.
4. Санитарные правила обеспечения радиационной безопасности при выводе из эксплуатации промышленных реакторов, СП ВЭ ПР-2001.
5. Безопасность при обращении с радиоактивными отходами. Общие положения. НП-058-04.

#### Тяжелая авария быстрых энергетических реакторов и способы уменьшения их последствий

*Мухамедов Н.Е., Бакаева Н.М., Степанова О.А.*

*Государственный университет имени Шакарима города Семей, Казахстан, Семей*

Энергетические потребности человечества в настоящее время удовлетворяются в основном за счёт сжигания органического топлива – угля, нефти и природного газа. Это приводит к загрязнению окружающей среды сажей и рядом окислов, среди которых наиболее существенна роль углекислого газа. Он смещает углеродный баланс атмосферы и приводит к изменению климата. Однако проблему обеспечения человечества энергией нельзя рассматривать только в свете сегодняшних реалий. В следующем столетии прогнозируемое увеличение мирового населения достигнет десяти, а может быть и более миллиардов. К тому же удельный вес энергоёмких производств существенно возрастет. Вместе с этим встает проблема обеспечения существующих электростанций энергоносителями, так как мировые запасы их ограничены. Например, по современным оценкам запасов носителей для теплоэлектростанций хватит всего на несколько десятилетий. Энергетические запасы рек, океанов и воздушных масс практически неисчерпаемы, однако уже сейчас они составляют лишь небольшую долю в мировом производстве энергии и, вероятно, не будут составлять основную ее часть в будущем.

Функционирование объектов атомной энергетики сопряжено с потенциальной опасностью загрязнения окружающей среды радиоактивными веществами, которая может реализоваться в случае аварийной ситуации на объекте.

В соответствии с рекомендациями Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) установлены семь степеней опасности аварийных ситуаций на ядерных объектах [1]: незначительные происшествия; происшествия средней тяжести; серьезные происшествия; аварии в пределах атомных электростанций (АЭС); аварии с риском для окружающей среды; крупные аварии; тяжелые аварии. Первые три уровня относятся к происшествиям (инцидентам), последние четыре уровня соответствуют авариям. Развитие тяжелых аварий на АЭС возможно при некоторых весьма маловероятных состояниях атомной станции, выходящих за рамки условий проектных аварий, когда возникают многочисленные отказы систем безопасности, что может привести к значительному повреждению активной зоны реактора [1, 2]. По общим положениям обеспечения безопасности атомных станций (ОПБ-88/97) [3] тяжелая, или запроектная авария – это авария, вызванная не предусмотренными для проектных аварий исходными событиями или сопровождающаяся дополнительными по сравнению с проектными авариями отказами систем безопасности (сверх единичного отказа) и принятием персоналом ошибочных решений, реализация которых может привести к тяжелым повреждениям или расплавлению активной зоны реактора.

В быстром реакторе с натриевым теплоносителем (БН) к запроектным авариям принято относить следующие типы аварий (все без срабатывания аварийной защиты): неконтролируемое увеличение мощности (UTOP), прекращение расхода теплоносителя через реактор (ULOF), прекращение теплоотвода (ULOHS), распространение аварии в отдельных тепловыделяющих

сборках (ТВС) на всю активную зону. Предполагается, что в результате множественных отказов не происходит срабатывания аварийной защиты реактора. Возможны другие аварии или их комбинации, но названные включают в себя весь спектр физических явлений процесса развития аварии. Основное различие типов запроектных аварий состоит в инициирующих их событиях и последовательности протекания физических процессов на начальной стадии. В анализе безопасности реакторов типа БН принято деление запроектной аварии в случае неблагоприятного ее развития на четыре стадии: начальную, переходную, послеаварийного перемещения материалов и послеаварийного отвода тепла [4]. Считается, что на первом этапе реактор находится в критическом состоянии.

Устранение проблемы повторной критичности может быть достигнуто путем установления ясной логики, основанной на экспериментальных доказательствах, которые показывают, что активная зона реактора имеет внутренне присущие свойства, исключающие возможность возникновения повторной критичности при ее разрушении (плавлении). Если расплавленное топливо не выводится из активной зоны, в ее объеме может быть сформирован большой бассейн расплава, в котором периодически будет достигаться состояние повторной критичности. Обеспечение раннего выведения расплава топлива из активной зоны позволяет избежать возникновения повторной критичности. Расплавленное топливо с накопленной в нем энергией может быть удалено из активной зоны в процессе ее плавления через каналы выведения расплава.

В рамках таких работ в Институте Атомной Энергии Национального Ядерного Центра Республики Казахстан проводятся эксперименты для исследований поведения топлива энергетического реактора в условиях моделирования аварии на реакторе ИГР (Импульсный графитовый реактор).

Для проведения испытаний в реакторе ИГР с целью изучения закономерностей плавления, перемещение расплава топлива ТВС, его взаимодействия с элементами конструкционных материалов и теплоносителем разработана и изготовлена серия экспериментальных устройств (ЭУ1, ЭУ2, ЭУ3, ЭУ4, ЭУ5, ЭУ6) и проведены их испытания [5], разработано и изготовлено экспериментальное устройство ЭУ7 целью которого является определение теплового потока от бассейна расплава стали к стальной стенке охлаждаемой жидким натрием [6]. Несмотря на конструктивные отличия разработанных и изготовленных внутриреакторных экспериментальных устройств, их схемы имеют общие основные элементы, а именно:

- чехол ТВС с размещенной внутри него топливной сборкой, состоящей из заданного числа модельных твэлов, расплавляемой в процессе пуска реактора ИГР для получения смеси расплава двуокиси урана (топлива) и нержавеющей стали (оболочек твэлов);
- внутренняя труба (или ее имитатор), заполненная или незаполненная натрием, стенка которой проплавляется смесью двуокиси урана и нержавеющей стали, и служащая для направленного перемещения расплава под действием перепадов давления и силы тяжести;
- ловушка расплава, обеспечивающая прием расплава, переместившегося в ходе эксперимента из полости чехла ТВС и обеспечивающая условия безопасной эксплуатации силового корпуса;
- силовой корпус, обеспечивающий условия безопасного проведения эксперимента;
- средства измерения параметров эксперимента.

В экспериментальном устройстве ЭУ1 исследовались процессы разрушения расплавом топлива стенки, охлаждаемой газом или жидким натрием. В эксперименте ЭУ2 исследовались процессы перемещения расплава по «сухой» внутренней трубе, а в двух экспериментах ЭУ3, ЭУ4 исследовались процессы перемещения расплава по внутренней трубе, заполненной жидким натрием. В экспериментальном устройстве ЭУ5 исследовались условия разрушения двойной стенки, контактирующей с жидким натрием. Устройство ЭУ6 предназначено для исследований процесса перемещения расплава топлива вверх по трубе, заполненной натрием. Последовательность проведения внутриреакторных экспериментов схематично показана на рисунке 1.

Одним из основных ожидаемых результатов исследований является экспериментальное подтверждение возможности создания активной зоны с использованием в конструкции ТВС внутренних труб, обеспечивающих направленное (контролируемое) перемещение расплавленного топлива.

В процессе развития аварийной ситуации в энергетическом реакторе с такой конструкцией ТВС выделяют четыре основных фазы:

- начальная фаза - характеризуется разрушением твэлов и плавлением топлива;

- фаза раннего выведения топлива - характеризуется выбросом части расплава топлива (около 20 %) вверх через внутреннюю трубу;
- фаза перемещения материалов - характеризуется плавлением оставшегося в активной зоне топлива за счет остаточного тепловыделения и выводом расплава топлива в нижнюю часть корпуса реактора через направляющие трубы регулирующих стержней;
- фаза охлаждения, в процессе которой осуществляется продолжительное охлаждение расплава топлива, выведенного из активной зоны.

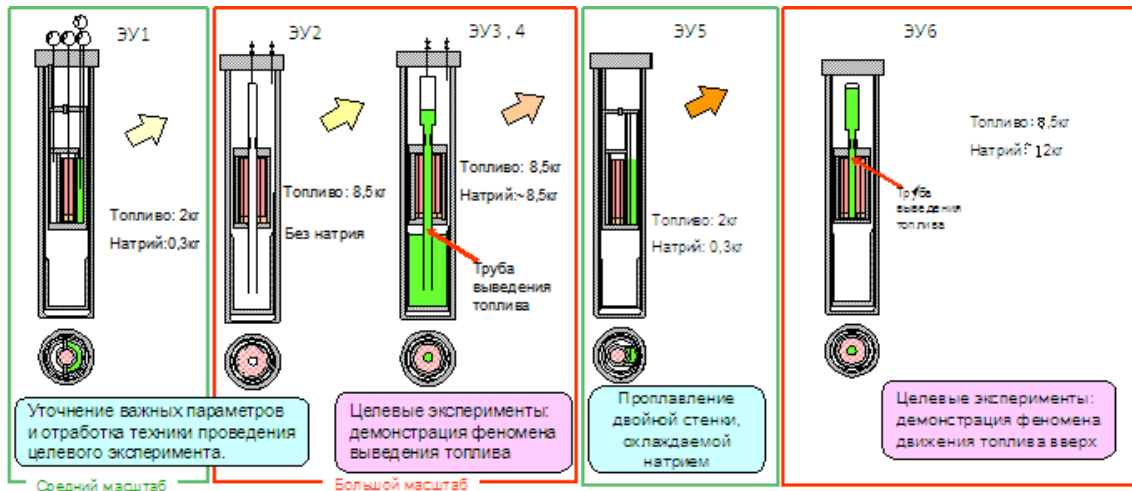


Рисунок 1. Последовательность реализации программы внутриреакторных экспериментов

На третьей фазе развития аварии возникает ситуация, когда под действием остаточного выделения в нерасплавленных фрагментах топлива на металлические элементы конструкции активной зоны образуется бассейн расплавленного металла, который начинает контактировать с направляющей трубой регулирующего стержня [7].

В качестве вывода можно сказать, что существует возможность контролируемого выведения расплава материалов активной зоны реактора на быстрых нейтронах по внутренней трубе тепловыделяющей сборки.

#### Список литературы:

1. Серия норм МАГАТЭ по безопасности. Безопасность атомных электростанций: проектирование. Требования. N NS-R-1. Вена. МАГАТЭ, июнь 2003.
2. The International Nuclear Event Scale (INES). User's manual 2001 edition. Jointly prepared by IAEA and OECD/NEA International Atomic Energy Agency. Vienna, 2001.
3. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций ОПБ-88/97. НП-001-97 (ПНАЭ Г-01-011-97). Утверждены постановлением Госатомнадзора России от 14.11.1997 г. №9.
4. Buksha, Yu. On Approaches Applied Analysis of Melt-down Accident in BN-800 Type Reactor // Proc. IAEA/IWGFR Techn. Committee Meet. on Material-Coolant Interactions and Material Movement and Relocation in LMFR's, O-arai, Ibaraki, Japan, June 6-9, 1994. – O-arai Engineering Center, PNC, 1994. P. 541-544.
5. Исследование процессов, сопровождающих тяжелые аварии энергетических реакторов с плавлением активной зоны: отчет о НИР / ДГП ИАЭ РГП НЯЦ РК; рук. А.Д. Вурим, А.А. Колодешников. – Курчатов, 2009. – 72 с.
6. Анализ условий безопасного проведения испытаний экспериментального устройства ID3. Исследования в обоснование безопасного использования объектов ядерной техники: отчет о НИР / ДГП ИАЭ РГП НЯЦ РК; рук. А.Д. Вурим, А.А. Колодешников. – Курчатов, 2011. – 85 с.
7. Ю.С. Васильев, А.Д. Вурим, А.А. Колодешников, В.А. Гайдайчук, В.М. Котов, В.А. Зуев, С.З. Хаметов, А.В. Пахниц. Отчет о научно – исследовательской работе. Анализ условий безопасного проведения испытаний экспериментального устройства ID3. / ДГП ИАЭ РГП НЯЦ РК. – Курчатов, 2011. С.6-7.



**Ядерная энергия в процессе индустриализации - модернизации во Вьетнаме****Нгуен Ван Ву***Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск  
sir.nguyenvu92@gmail.com*

В процессе индустриализации - модернизации страны, строительство атомных электростанций считается стратегической задачей, это не только решит проблему электрической энергии, но и принесёт другую практическую пользу.

Сегодня во Вьетнаме, вырабатывают электроэнергию в первую очередь тепловые станции и гидроэлектростанции. В последние годы, в связи с обмелением рек генерирующая мощность гидроэлектростанции серьезно страдает. Дефицит электроэнергии наблюдается по всей территории Вьетнама. И эта проблема требует от нас разработки стратегий для решения неотложных потребностей, регулирования энергетического баланса для развития индустриализации страны. Между тем, энергетические ресурсы во Вьетнаме разнообразные, но не в изобилии. Использование возобновляемых источников энергии, таких как энергии ветра, солнца, приливов, геотермальных вод в связи с высокими издержками производства и не стабильными результатами следует создавать только в малых объемах, и это не является решением проблемы энергетического баланса. Кроме того, импорт электроэнергии, угля, газа из-за рубежа, чтобы восполнить этот недостаток не является долгосрочным планом, если рассматривать его с точки зрения национальной энергетической безопасности и устойчивого развития. В подобной ситуации, развитие ядерной энергетики рассматривается как лучший выбор и является основной движущей силой процесса индустриализации - модернизации Вьетнама в будущем.

Хотя в настоящее время в мире существует весьма много общественных мнений против расширения и развития атомных электростанций. Но основной вклад этого сектора для развития экономики и общества многих стран не вызывает сомнений. Поэтому к 2020 году Вьетнам завершит строительство первой электростанции и она будет введена в эксплуатацию, чтобы удовлетворять потребности экономического и социального развития страны.

По данным АО Министерства науки - технологии, спрос на электроэнергию во Вьетнаме растет на 17% в год (в последние 3 года). В 2015 году нехватка электроэнергии - около 8 млрд. кВт-ч, и в 2020 году - 36-65 млрд. кВт-ч. Тенденция к росту дефицита электроэнергии растет. Главная проблема в том, что мы хотим преодолеть этот кризис. В этом аспекте на помощь придет только строительство атомных электростанций, чтобы удовлетворить спрос. Таким образом, стратегия применения атомной энергии в мирных целях является необходимой, не только для удовлетворения потребностей дефицита электроэнергии, но и для других целей.

Практика доказала, что ядерная энергетика предоставляет дешевый источник энергии. Ядерная энергетика может обеспечивать электроэнергией более 50 – 80% населения по сравнению с традиционными источниками энергии. Атомные электростанции имеют преимущество, они постоянно активны, только через 2 года их останавливают на некоторое время, чтобы заменить топливо в реакторах. В это время гидроэлектростанции могут быть остановлены или уменьшают свою мощность во время сухого сезона. Кроме того, строительство атомной электростанции намного проще, чем гидроэлектростанции. Атомная электростанция не требует большой площади, не изменяет качество воды в реке как гидроэлектростанция, при правильной эксплуатации не нарушает экологическое равновесие, не влияет на условия жизни людей. По данным МАГАТЭ, развитие гидроэлектростанций в Азии будет дорогим и неразумным выбором. Так как Азия - населенный континент, там преобладают стихийные бедствия, большинство населения проживает вдоль берега реки. Дело в том, что большинство стран, которые хотят обеспечить темпы экономического развития в национальной электроэнергетической системе, должны развивать ядерную энергетiku. В области охраны окружающей среды, ядерные отходы на самом деле не страшны как отходы ископаемого топлива или других форм энергии. Например, шлаки электростанций рассеиваются в окружающую среду в большом количестве, в состав шлака входят тяжелые металлы, из – за чего шлаки отрицательно влияют на здоровье людей. Кроме того, ядерные реакторы атомных электростанций не выпускают парниковые газы, и способствует сдерживанию глобального потепления и изменению климата. Однако, чтобы осуществить строительство первой атомной электростанции во Вьетнаме, мы столкнемся со многими проблемами. Проблемы, связанные с этим типом энергии – это энергетическая безопасность, в частности – это безопасность техники атомных электростанций и утилизация ядерных отходов. Кроме того, существует опасность по отношению к распространению ядерного оружия, также не малую роль играет безопасность ядерных объектов страны. Для стран, которые первый раз

реализуют проект атомной энергетики, как Вьетнам, существуют вопросы, которые волнуют в первую очередь: нехватка рабочей силы, квалифицированных и опытных инженеров, особенно в управленческих и технических частях.

Таким образом, во Вьетнаме – строительство атомных электростанции – это необходимая мера. Развитие ядерной энергетики рассматривается как лучший выбор и является основной движущей силой процесса индустриализации - модернизации Вьетнама в будущем.

#### Список литературы:

1. <http://www.varans.vn/ShowItems.asp?actType=23&ItemID=626&TypeGrp=1&menuid=103110&menulink=100000&menuup=102000>
2. [http://vi.wikipedia.org/wiki/Năng\\_lượng\\_hạt\\_nhân](http://vi.wikipedia.org/wiki/Năng_lượng_hạt_nhân)
3. [http://vi.wikipedia.org/wiki/Công\\_nghiệp\\_năng\\_lượng](http://vi.wikipedia.org/wiki/Công_nghiệp_năng_lượng)
4. <http://www.tailieuontap.com/2012/11/noi-dung-cua-cong-nghiep-hoa-hien-ai.html>

#### **Особенности зачистки бассейнов выдержки от радиоактивных иловых отложений при выводе из эксплуатации плутониевых уран-графитовых реакторов ФГУП «ГХК»**

*Устинов А.А., Сиренко А.Г., Антоненко М.В., Жирников Д.В., Чернов Б.И., Иванов Е.С.,  
Музыкантова А.А., Чубреев Д.О.*

*ФГУП «Горно-химический комбинат», Россия, г. Железногорск  
dimanch@mail2000/ru*

#### Введение

На площадке ФГУП «ГХК» расположены три промышленных уран-графитовых реактора (ПУГР) – АД, АДЭ-1 и АДЭ-2. Реакторы вместе со вспомогательным оборудованием и коммуникациями размещены в горных выработках скального массива.

ПУГР АД являлся одноцелевым проточным реактором на тепловых нейтронах. Реактор эксплуатировался с 28.08.1958. Остановлен для вывода из эксплуатации 30.06.1992. ПУГР АДЭ-1 проектировался как энергетический, но эксплуатировался как одноцелевой и работал в проточном режиме с 20.07.1961. Остановлен для вывода из эксплуатации 29.09.1992. ПУГР АДЭ-2 эксплуатировался с 30 января 1964 года в двухцелевом режиме, кроме наработки оружейного плутония обеспечивал тепло и электрической энергией город Железногорск, остановлен 15 апреля 2010 года для вывода из эксплуатации.

После остановки ПУГР АД, АДЭ-1, АДЭ-2 приведены в ядерно-безопасное состояние. В настоящее время из активной зоны реакторов полностью выгружены все тепловыделяющие элементы, на реакторах проводятся подготовительные работы к полному выводу из эксплуатации.

Одной из главных проблем вывода из эксплуатации является проблема наличия радиоактивных иловых отложений на дне бассейнов выдержки, которые использовались в течение всего времени работы реакторов для временного хранения облучённых урановых блоков. Бассейны заполнены водой, которая после минимальной водоподготовки поступала из реки Енисей. Технология не предусматривала стопроцентную очистку поступающей воды, поэтому в воде всегда присутствовали природные иловые отложения, представляющие собой трудно-фильтруемые водонасыщенные осадки, состоящие из тонкодисперсных минеральных частиц с содержанием органических веществ. В результате многолетней эксплуатации на дне бассейнов скопилось по примерной оценке  $\approx 210 \pm 40$  тонн низко- и средне активных радиоактивных отходов. Обследование бассейнов показало, что иловые отложения покрывают дно бассейнов неравномерно, под илом находятся авиалевае блоки в значительном количестве.

Таким образом, одной из важных задач вывода из эксплуатации является задача отверждения жидких радиоактивных отходов (иловых отложений) и подготовка их к длительному захоронению.

Технология иммобилизации жидких радиоактивных отходов

Первый этап: зачистка бассейнов выдержки.

Второй этап: отверждение иловых отложений.

Третий этап: складирование и хранение упакованных отверждённых отходов.

На ФГУП «ГХК» разработана технология, позволяющая дистанционно проводить зачистку бассейнов выдержки и одновременно концентрировать иловые отложения для дальнейшей переработки. В предложенном докладе изложены практические аспекты реализации

первого этапа иммобилизации жидких радиоактивных отходов на реакторном заводе ФГУП «ГХК».

Зачистка бассейнов выдержки – это комплекс мероприятий, направленных на удаление иловых отложений и твёрдых элементов со дна бассейнов. Сбор иловых отложений и авиалевых блоков осуществляется без осушки бассейнов, под слоем воды от полутора до шести метров.

При зачистке бассейнов используется следующее оборудование: станция откачки; устройство распульковки иловых отложений с электронным блоком управления; устройства для размыва илов прямооточное и Г-образное; эрлифт; погружные насосы; грейфердвухчелюстной пневмогидравлический; клещи ручные с фиксатором и видеокамерой; грабли донные; барьеры заградительные; прожектора переносные; защитные противорадиационные маты.

Для контроля выполнения работ используется видео- и фото- оборудование. Контроль радиационного фона производится постоянно.

Характеристика оборудования

Станция откачки. Предназначена для перекачивания воды с донными отложениями из очищаемого бассейна в бассейн-отстойник.

Состав: циркуляционный насос POMONA; заборное устройство с насадками; трубопровод для откачки илов; гибкие шланги на всасе и напоре.



Рис. 1 Циркуляционный насос POMONA

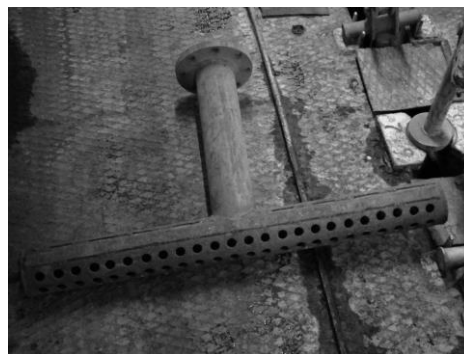


Рис. 2 Нижний Т-образный оголовок заборного устройства

Устройство распульковки иловых отложений. Предназначено для размывания слежавшихся иловых масс под слоем воды до шести метров.

Состав: гидромонитор; воздухораспределитель; трубопроводы подачи воздуха; электрические клапана; электронный пульт управления.

Работа устройства распульковки осуществляется следующим образом. На дно бассейна устанавливается корпус гидромонитора, вода самотёком заполняет корпус. Через впускной клапан в корпус гидромонитора подаётся сжатый воздух, который вытесняет воду из полости гидромонитора через две противоположно направленных форсунки. Струи воды, выходящие из форсунок, размывают слежавшиеся иловые отложения в радиусе 1,2 метра. После вытеснения всей воды из корпуса гидромонитора цикл повторяется. Гидромонитор работает в автоматическом режиме под управлением электронного блока.

Устройства для размыва илов: прямооточное и Г-образное. Предназначены для ручного размывания слежавшихся иловых масс в труднодоступных местах и смыва ила с металлоконструкций.

Устройство для размыва – это пожарный брандспойт, закреплённый на металлической трубе. Устройство с помощью переходников соединяется со станцией откачки, либо с линией противопожарного водопровода. Устройство позволяет дистанционно смывать ил с металлических конструкций бассейна, обмывать технологические ковши, размывать ил в труднодоступных местах бассейнов. Используются насадки двух видов – прямооточная и Г-образная.

Грейфер двухчелюстной пневмогидравлический. Предназначен для сбора россыпи авиалевых блоков со дна бассейнов.

Клещи ручные с фиксатором и видеокамерой. Предназначены для ручного сбора россыпи авиалевых блоков со дна бассейнов из труднодоступных мест. Видеокамера обеспечивает поиск блоков и позволяет наблюдать за захватом блоков.

Эрлифт. Предназначен для подъёма авиалевых блоков со дна бассейна. Принцип действия основан на эффекте инжекции при прохождении сжатого воздуха через сопло. При работе эрлифта

вода вместе с авиалевыми блоками подаётся в сборный ковш, где происходит отделение блоков, а вода возвращается в бассейн.

Погружные насосы. Предназначены для перекачки осветленной воды из бассейна-отстойника обратно в зачищаемый бассейн.

Барьеры заградительные. Предназначены для выгородки участков на дне бассейнов на заключительном этапе «чистовой» зачистки.

Прожектора переносные. Предназначены для освещения дна бассейнов при обследовании (электропитание 12 вольт).

Защитные противорадиационные маты типа РЗГМ-2 (размер 1200x590 мм). Предназначены для снижения дозовых нагрузок на персонал. Укладываются на настил очищаемого бассейна в районе работ, позволяют уменьшить дозовую нагрузку в 1,8 раза.

Технология зачистки бассейнов выдержки

Обследование бассейна, примерная оценка количества иловых отложений, снятие подробной картограммы радиационного фона дна зачищаемого бассейна, выявление районов с повышенным радиационным фоном.

«Черновая» зачистка дна бассейна под слоем воды до шести метров

Размыв иловых отложений пульсационным гидромонитором и их откачка с помощью циркуляционного насоса.

Обследование дна бассейна и выявление скопления блоков.

Сбор блоков из скоплений в ковш с помощью эрлифта, сбор единичных блоков в ковш вручную клещами.

Понижение уровня воды в зачищаемом бассейне до  $\approx 1,5$  м. Фотографирование металлоконструкций до обмывки.

Смыв иловых отложений с металлоконструкций бассейна с помощью прямооточного устройства для размыва.

Повторная откачка иловых отложений с помощью циркуляционного насоса и пульсационного гидромонитора.

Полное опорожнение бассейна, обследование дна зачищенного бассейна, металлоконструкций и ковшей, фотографирование результатов «черновой» зачистки бассейна. Снятие картограммы радиационного фона дна.

«Чистовая» зачистка дна бассейна под слоем воды до полутора метров.

Заполнение бассейна до уровня  $\approx 1,5$  м.

Выгораживание участка дна бассейна установкой заградительных барьеров.

Установка в выгороженный участок заборного устройства циркуляционного насоса, гидромонитора, Г-образного устройства для размыва.

Размыв иловых отложений пульсационным гидромонитором, Г-образным устройством с одновременной откачкой ила циркуляционным насосом.

Последовательное выполнение операций чистовой отмывки на всей площади бассейна.

Полное опорожнение бассейна, обследование дна зачищенного бассейна, концентрация оставшихся блоков с помощью Г-образного устройства для размыва, донных граблей. Сбор блоков грейфером в сборный ковш.

Обследование дна зачищенного бассейна, фотографирование.

Важным элементом технологии зачистки является бассейн-отстойник. Бассейн-отстойник представляет собой ёмкость объёмом 144 м<sup>3</sup>, в качестве которой используется специально подготовленный один из бассейнов, использовавшихся ранее в технологической цепочке работ с облучёнными блоками. Вода с илом из очищаемого бассейна сбрасывается в бассейн-отстойник, где происходит осаждение ила, а осветлённая вода с поверхности возвращается в очищаемый бассейн.

Процесс зачистки

Размывка иловых отложений осуществляется пульсационным гидромонитором. Гидромонитор переставляется при помощи крана по дну бассейна. Сбор иловых отложений осуществляется с помощью станции откачки из района, где происходит размывка. В процессе откачки заборное устройство при помощи крана перемещается по дну зачищаемого бассейна вслед за гидромонитором. Вода с илом перекачивается в бассейн-отстойник, контроль запульпой, поступающей из станции откачки, и уровнем пульпы в бассейне осуществляется дистанционно с помощью систем видеонаблюдения. После наполнения бассейна-отстойника система откачки промывается чистой водой, насос отключается от сети.

Откачанная вода в бассейне-отстойнике выдерживается в течение двух-трёх часов. После осаждения тяжёлой фракции, осветлённая вода из бассейна-отстойника погружными насосами откачивается в зачищаемый бассейн. Цикл повторяется до окончания зачистки бассейна.

На этапе чистой зачистки методом выгораживания части дна бассейна удаётся полностью удалить ил в труднодоступных участках бассейнов.

Обеспечение безопасности при производстве работ

Работа по зачистке бассейнов связана с воздействием вредных производственных факторов: повышенный уровень ионизирующих излучений в рабочей зоне; повышенная ионизация воздуха; повышенный уровень шума на рабочем месте; повышенный уровень вибрации; повышенный уровень электромагнитных излучений.

К работе по зачистке допускаются лица не моложе 18 лет, не имеющие ограничений по состоянию здоровья к работе в условиях ионизирующих излучений.

Радиационная безопасность персонала обеспечивается ограничениями допуска к работе с источниками излучения по возрасту, полу, состоянию здоровья, уровню предыдущего облучения и другим показателям. Для защиты персонала от радиационного воздействия применяются противорадиационные маты, позволяющие уменьшить дозовую нагрузку  $\approx$  в 1,8 раза. Все работы по зачистке бассейнов выдержки производятся в присутствии и под контролем дозиметриста.

Заключение

На ФГУП «ГХК» разработана технология, позволяющая дистанционно проводить зачистку бассейнов выдержки и одновременно концентрировать иловые отложения для дальнейшей переработки.

Разработано и изготовлено оборудование, позволившее реализовать технологию дистанционной зачистки бассейнов выдержки.

Технология прошла практическую проверку, в результате применения уже зачищены четыре бассейна выдержки, в бассейне-отстойнике собрано 60 кубометров иловых отложений.

При реализации технологии найдены технические решения и способы, позволяющие значительно ускорить процесс зачистки и которые являются «ноу-хау» предприятия.

#### Список литературы:

1. Технология производства «Очистка бассейнов от иловых отложений» 2К.10285-ТХ.С.
2. «Программа зачистки бассейнов выдержки» № 212-11-07-06/3717 от 11.10.2013.
3. «Акт по зачистке от рабочих блоков и иловых отложений бассейнов выдержки в об.3/1 УЭБ СВЭ РЗ» № 11-07-13/4057 от 01.11.2013.

### Проблема полония в свинцовом теплоносителе быстрого реактора

*Чуйкина А.В., Чиков М.С.*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г.Томск*

[flipped2010@mail.ru](mailto:flipped2010@mail.ru)

В последнее время тенденции развития атомной промышленности в России направлены в сторону развития быстрых реакторов. В настоящее время эксплуатируется реактор БН-600, к физпуску готовится БН-800, а также существует множество других инновационных проектов быстрых реакторов. На существующих реакторах в качестве теплоносителя используется натрий. Однако, из-за большой пожароопасности натрия и, связанной с этим, сложности и дороговизны инженерных систем, предлагаются альтернативные теплоносители. Одним из таких альтернативных теплоносителей является свинец. В качестве преимуществ свинца можно выделить большие мировые запасы (приблизительно 108 тонн), низкая стоимость (около 1\$/кг), малое сечение упругого, неупругого рассеяния и поглощения (меньше 1 барн) [1]. При использовании такого вида теплоносителя возникает также множество проблем. Одной из таких проблем является накопление радиоактивных и высокотоксичных изотопов  $^{209}\text{Po}$  и  $^{210}\text{Po}$ .

Природный свинец ( $\text{Pb}_{\text{nat}}$ ) состоит из четырех стабильных изотопов, процентное содержание которых 1,4 %  $^{204}\text{Pb}$ , 24,1 %  $^{206}\text{Pb}$ , 22,1 %  $^{207}\text{Pb}$  и 52,4 %  $^{208}\text{Pb}$ .

В активной зоне быстрого реактора изменение изотопного состава свинца обусловлено, в основном, реакциями радиационного захвата и реакциями типа  $(n,2n)$ . Радионуклид  $^{209}\text{Pb}$  образуется путем реакции радиационного захвата из изотопа свинца  $^{208}\text{Pb}$ , составляющего большую часть его естественного состава (рис. 1).

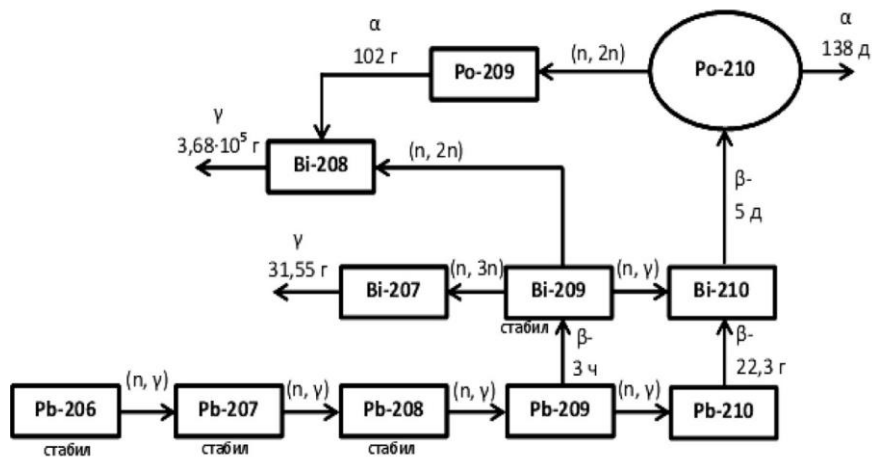


Рис. 1 Процессы ядерных превращений изотопов свинца

Нестабильный изотоп Pb209 путем бета-распада переходит в стабильный изотоп Bi209. В результате реакции радиационного захвата этот стабильный изотоп переходит в короткоживущий Bi210, который, посредством бета-распада превращается в Po210. Этот изотоп является очень токсичным излучателем с энергией излучения альфа-частиц  $E_\alpha = 5,3$  МэВ и на него действуют жесткие требования НРБ. Уровень его освобождения от радиационного контроля – при значениях удельной активности  $A = 1 \cdot 10^4$  Бк/кг. В результате реакции типа  $(n, 2n)$  Po210 образует Po209 ( $T_{1/2} = 102$  года,  $E_\alpha = 4,8$  МэВ).

При расчете активации теплоносителя использовалась схема образования радионуклидов, представленная на рис. 1.

В таблице 1 приведены расчетное содержание Po209 и Po210 и их активность, нарабатываемые в природном свинце после облучения в быстром реакторе в течение 30 лет. По этим данным можно сделать вывод, что наведенная в Pb активность по изотопу Po210 в 107 раз превосходит уровень освобождения от жесткого радиационного контроля.

Таблица 1. Содержание изотопов полония в 1 кг Pbnat после 30 лет облучения в спектре нейтронов быстрого реактора

Изотоп	Активность радиоизотопа в 1 кг Pbnat, Бк/кг	Содержание изотопа в 1 кг Pbnat, г/кг
Po209	$1,85 \cdot 10^6$	$3,06 \cdot 10^{-6}$
Po210	$1,17 \cdot 10^{11}$	$6,35 \cdot 10^{-4}$

В таблице 2 приведены значения относительной опасности и активности радиоизотопов, попадающих в окружающую среду в результате запроектной аварии быстрого реактора с повреждением корпуса и гермообъема [3].

Таблица 2. Относительная опасность и выброс активности при запроектной аварии быстрого реактора

Наименование	Радионуклид						
	Po	Hg	I	Zn	Cs	As	Cd
Активность, Кюри	3	1200	60	500	100	300	100
Относительная опасность	0,400	0,200	0,160	0,100	0,080	0,044	0,006

Присутствие Po210 в составе выброса вызвано активацией свинцового теплоносителя, а наличие остальных нуклидов связано с негерметичностью тепловыделяющих стержней. На долю Po210 приходится самая большая часть потенциальной радиационной опасности.

В качестве альтернативы, которая могла бы преодолеть этот недостаток свинцового теплоносителя, исходя из процессов ядерных превращений на рис.1, может быть использован свинец, обогащенный по изотопу Pb206. При обеднении теплоносителя изотопом Pb208, Pb209 будет образовываться гораздо меньше, а с ним и остальных высокотоксичных изотопов.

Исследования РНЦ «КИ» показывают возможность на практике обогатить природный состав свинца на центрифужных каскадах. Рабочим веществом при разделении стабильных изотопов является летучее соединение –тетраметил свинца –  $Pb(CH_3)_4$ , с достаточно изученными физико-химическими свойствами и совместимостью с материалами центробежного оборудования[4]. В результате обогащения можно получить свинец, обогащенный по изотопу  $Pb^{206}$  на 96,4 %. Содержание изотопа  $Pb^{208}$  при этом составляет 0,1 %.

В таблице 3 приведены результат расчета активности радиоизотопов полония в 1 кг изотопа  $Pb^{206}$  после 30 лет облучения в спектре нейтронов быстрого реактора.

Таблица 3.Содержание изотопов полония в 1 кг  $Pb^{206}$ после 30 лет облучения в спектре нейтронов быстрого реактора

Нуклид	Активность радиоизотопа, Бк/кг	Содержание радиоизотопа, г/кг
$Po^{209}$	$5,59 \cdot 10^1$	$9,35 \cdot 10^{-11}$
$Po^{210}$	$6,61 \cdot 10^6$	$3,92 \cdot 10^{-8}$

Видно, что уровень активности изотопов полония снижается в 105 раз. Это уже гораздо ближе к нормативным значениям, предусмотренным НРБ. Можно сделать вывод о том, что использование  $Pb^{206}$  вместо свинца естественного состава практически решает проблему полония в теплоносителе быстрого реактора.

#### Список литературы:

1. Хорасанов Г.Л., Блохин А.И.и др. Высокообогащенный свинец-206 для малой атомной энергетики // В сб.: Доклады 5-й Всероссийской научной конференции “Физико-химические процессы при селекции атомов и молекул”. М.: ЦНИИАтоминформ, 2000, с. 186–189.
2. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). СП 2.6.1.758-99. М., Минздрав России, 2009 г.
3. Орлов В.В., Леонов В.Н., и др. Детерминистическая безопасность реакторов БРЕСТ // В сб.: Тяжелые жидкометаллические теплоносители в ядерных технологиях. Обнинск: ГНЦ РФ ФЭИ, 1999, т. 2, с. 440–449.
4. Хорасанов Г.Л., Иванов А.П. и др. Малоактивируемый теплоноситель на основе изотопа свинца  $Pb^{206}$  для перспективных ЯЭУ // В сб.: Доклады 4-й Всероссийской (Международной) научной конференции “Физико-химические процессы при селекции атомов и молекул”. М.: ЦНИИАтоминформ, 1999, с. 262–267.

#### Исследование процесса гетерогенного каталитического разложения комплексона трилона б в азотнокислых растворах

*Г.А. Анальков, И.Г. Ефремов, А.Н. Дьяченко\*, А.Ю. Жабин, Г.Г. Кокарев*  
 ФГУП «Горно-химический комбинат», Россия, г. Железногорск

\*Национальный Исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск  
 glebaldo@mail.ru

#### Введение

Одной из задач в обеспечении радиационной безопасности при эксплуатации атомных электростанций и радиохимических производств является решение проблемы очистки и переработки жидких радиоактивных отходов (ЖРО), образующихся при проведении работ по дезактивации оборудования и эксплуатации спецпрачечных [1].

Основным компонентом дезактивирующих растворов являются комплексообразующие вещества, которые образуют прочные растворимые комплексы с радионуклидами  $^{134}Cs$ ,  $^{137}Cs$ ,  $^{60}Co$ . В качестве таких веществ при дезактивации находят применение полифосфаты, аминокполикарбоновые кислоты, лимонная, щавелевая, винная, плавиковая кислоты и их соли - цитраты, оксалаты и фториды. Из органических комплексообразователей типа аминокполикарбоновых кислот, называемых обычно комплексонами и применяемых на АЭС, наибольшее значение для дезактивации имеет этилендиаминтетрауксусная кислота (ЭДТА) и ее двунариевая соль (трилон Б). Устойчивость комплексов, образуемых ЭДТА (ее солями), так высока, а концентрация свободного катиона, образуемого в результате диссоциации комплекса, настолько мала, что при этом не достигается значения произведения растворимости для

большинства труднорастворимых соединений, присутствующих в воде теплообменного и теплоэнергетического оборудования. Это и обуславливает эффективность комплексона.

Отсюда следует, что переработка ЖРО значительно упрощается после удаления или разрушения содержащихся в них комплексонов, которые связывают радионуклиды и затрудняют их выделение традиционными физико-химическими методами.

Процесс деструкции комплексонов (ЭДТА, трилон Б) может происходить при добавлении различных окислителей, таких как пероксид водорода и др. [2]. В числе других способов можно выделить методы озono-пероксидного окислительного ( $O_3$ ,  $H_2O_2$ ) и пероксидно-фотоокислительного ( $УФ/H_2O_2$ ) разложения комплексонов [3],[4]. Проведение таких процессов требует строгого определения и соблюдения таких параметров как рН среды (раствора), температуры, концентрации окислителей и др. Также можно судить о малой эффективности данных процессов ввиду продолжительности по времени их проведения. Отсюда следует, что в чистом виде данные процессы невозможно назвать оптимальными для промышленного использования.

В процессе обработки по предлагаемому способу происходит термическое декарбоксилирование, заключающееся во внутримолекулярной перегруппировке, при которой от молекулы комплексона в присутствии гетерогенного катализатора отщепляется несколько молекул диоксида углерода. Комплексующие свойства комплексона при этом полностью исчезают и растворы в дальнейшем можно перерабатывать обычными методами [6].

Целью данной работы являлось повышение эффективности разложения комплексона трилона Б в азотнокислых растворах путем применения гетерогенного платинового катализатора.

Экспериментальная часть

В качестве катализатора при проведении экспериментов был взят платиновый катализатор на основе ионообменной смолы ВП-1АП, применяемый при получении  $U(4+)$  в азотнокислых средах [5]. Технологический процесс получения платинового катализатора состоит из следующих основных пределов:

- приготовление исходного раствора платино-хлористоводородной кислоты;
- приготовление исходного раствора платино-хлористоводородной кислоты с концентрацией платины  $100 \pm 5$  г/л;
- подготовка поверхности смолы ВП-1АП для платинирования;
- приготовление раствора платинирования;
- приготовление платинового катализатора на ионообменной смоле.

Приготовление платинового катализатора проводили путём пропитки смолы ВП-1АП щелочным раствором платины при массовом соотношении гидроксида натрия и платины (в пересчёте на металл) равном 4-6, с последующей промывкой водой и обработкой раствором гидразингидрата.

Процентное содержание платины на носителе определяли после обработки навески катализатора царской водкой с последующим определением платины в растворе спектрофотометрическим методом с использованием хлорида олова. На рисунке 1 изображена смола ВП-1АП до и после нанесения платины.

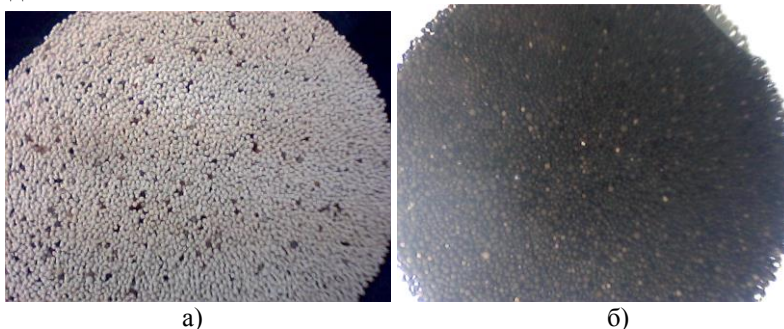


Рис. 1. Смола ВП-1АП до (а) и после (б) нанесения платины.

Параметры колонны с катализатором 2-4% Pt/ ВП-1АП: высота слоя катализатора – 11,5 см, внутренний диаметр колонки ~ 2,7 см. Колоночный объем ~66 мл. Соотношение диаметра насыпного слоя катализатора к его высоте ~1:4,9. Общая схема лабораторной установки представлена на рисунке 2.



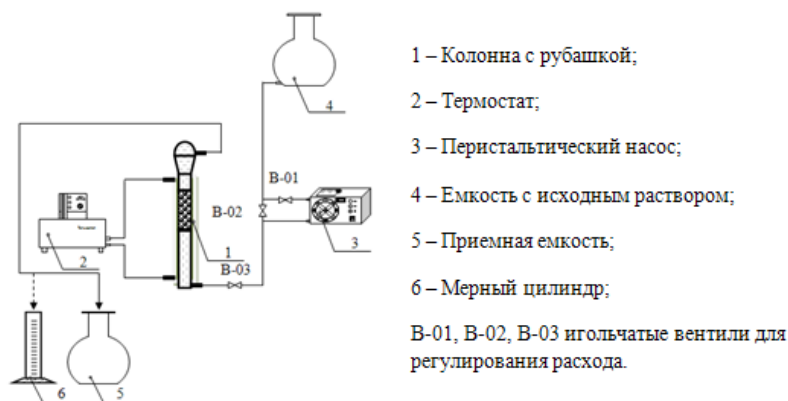


Рис. 2. Лабораторная установка для изучения гетерогенного каталитического метода разложения комплексона трилона Б.

Исходные данные процесса:

- состав исходного раствора: трилон Б, азотная кислота, пероксид водорода, вода;
- расход исходного раствора – 7 колон.об/ч;
- время контакта раствора, содержащего трилон Б, с катализатором ~ 50 с;
- температура – 70÷98 °С.

Раствор после каталитической колонны собирался порциями по 50 мл и анализировался на содержание трилона Б и  $\text{HNO}_3$ .

Обсуждение результатов

В ходе выполнения экспериментов по каталитическому разложению раствора, содержащего комплексон трилон Б и азотную кислоту разных концентраций при различных температурах, были получены следующие данные:

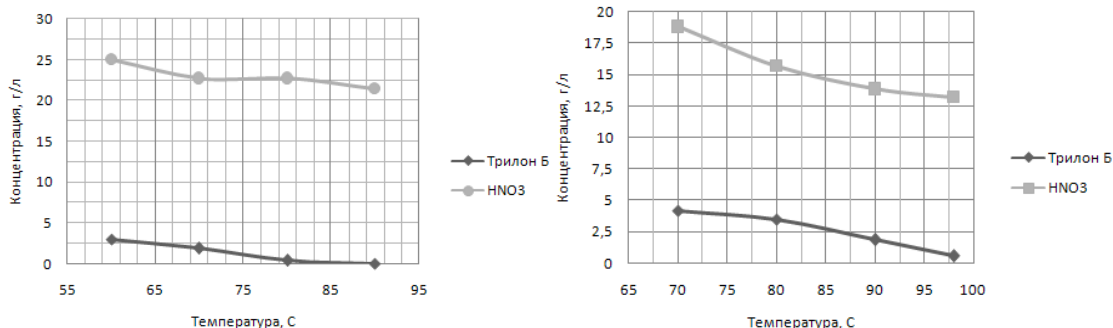


Рис. 3. Зависимость разложения трилона Б от температуры процесса.

При температурах 90-98°C наблюдалось практически полное разложение комплексона (~99,91%), остаточная концентрация трилона Б составила <1 мг/л (при исходной концентрации 10 г/л). Однако в дальнейших экспериментах, руководствуясь данными по составам дезактивирующих растворов радиохимических производств и АЭС, содержащих комплексоны (в том числе трилон Б), содержание трилона Б было установлено на уровне 1-2 г/л.

Скорость пропускания раствора через слой катализатора (скорость потока) – 7 колон.об./ч. Наблюдалось также незначительное разложение азотной кислоты (~5-10%). Возможен незначительный разброс значений степени разложения комплексона (в пределах трех- четырех десятых долей процента) с полученными значениями, что объясняется цикличностью накопления на поверхности катализатора и уноса продуктов разложения трилона Б и  $\text{HNO}_3$ . В результате накопления на поверхности катализатора продуктов разложения уменьшается площадь поверхности катализатора и уменьшается степень разложения катализатора. Данная проблема решалась предварительной активацией колонны 1-3М раствором  $\text{HNO}_3$  в течение 30 минут.

В ходе выполнения работы было изучено влияние концентрации азотной кислоты на процесс каталитического разложения трилона Б. Данные представлены на рисунке 4.

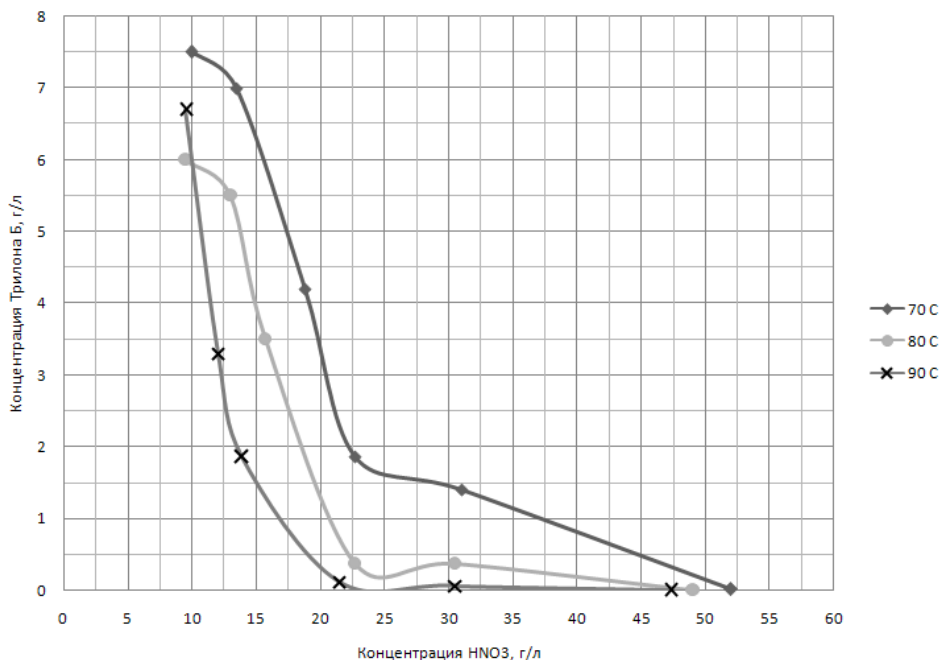


Рис. 4. Влияние концентрации HNO<sub>3</sub> на процесс каталитического разложения трилона Б.

Как видно из графика (рисунок 4), повышение концентрации азотной кислоты значительно увеличивает эффективность процесса гетерогенного каталитического разложения трилона Б. При повышении содержания HNO<sub>3</sub> до 45-50 г/л наблюдается практически полное разложение (до 99,9%) комплексона. Однако, учитывая температурный фактор, возможно добиться полной деструкции трилона Б уже при концентрации HNO<sub>3</sub> 22-25 г/л, повысив температуру процесса до 90°C.

При снижении концентрации HNO<sub>3</sub> до значений 5-8 г/л полного разложения трилона Б не происходит (остаточная концентрация комплексона составляет 0,3-0,4 г/л). Для этого в систему был введен дополнительный окислитель – пероксид водорода. Эффективность процесса значительно повышается даже при содержании азотной кислоты на уровне 0,5 г/л.

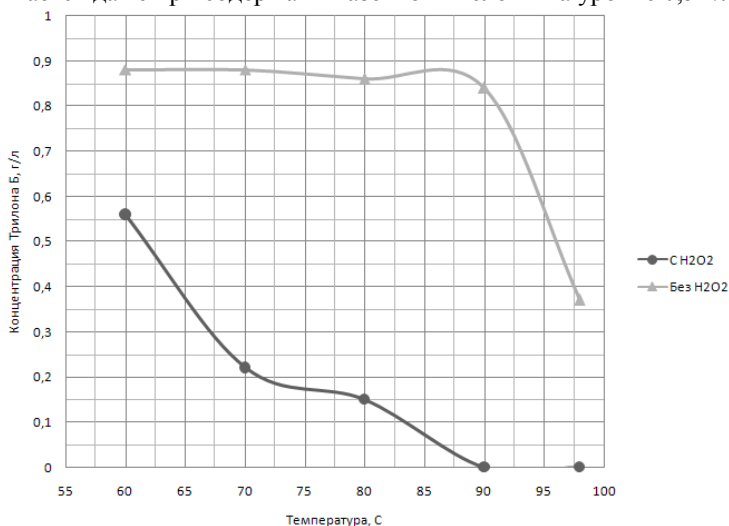


Рис. 5. Разложение трилона Б в отсутствии/присутствии H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

В то же время, температуры свыше 80°C значительно затрудняют использование H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ввиду начала разложения перекиси уже при температурах 50-60°C. В то же время, повышение концентрации H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> в системе снижает температуру каталитического разложения трилона Б. На рисунке 6 приведены графические зависимости разложения трилона Б в зависимости от концентрации H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> в исходном растворе.

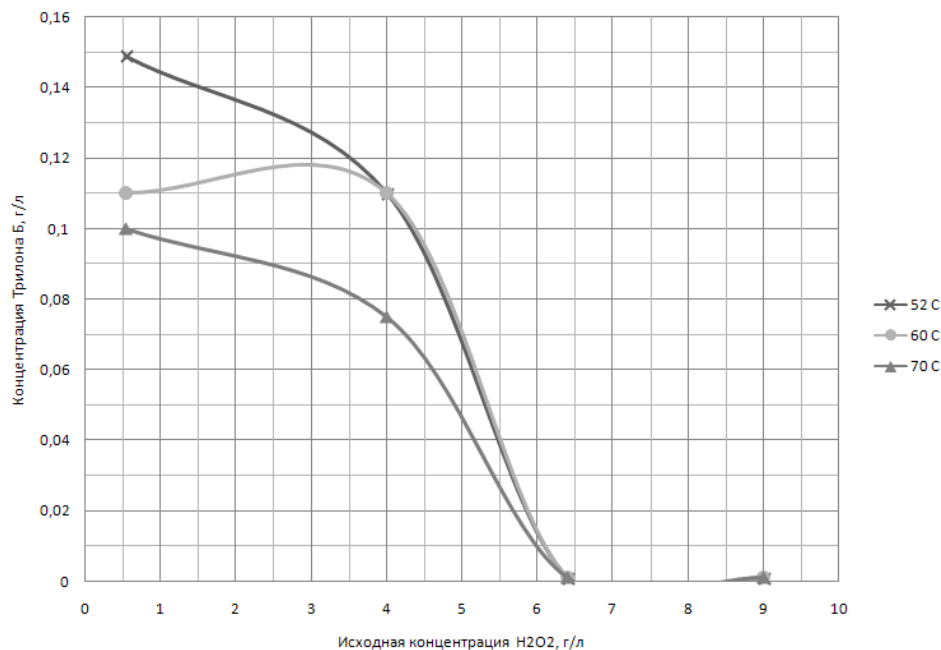


Рис. 6. Влияние концентрации H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> на процесс каталитического разложения трилона Б.

Таким образом, введение в систему H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> увеличивает эффективность разложения трилона Б до остаточных концентраций <1 мг/л уже при температурах 50-70°C. Оптимальная концентрация H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> в исходном растворе, содержащем комплексон трилон Б (1-2 г/л), составляет 6-7 г/л.

В настоящее время ведутся работы по дальнейшей оптимизации процесса гетерогенного каталитического разложения комплексона трилона Б в азотнокислых растворах. Рассматривается влияние различных факторов (времени контакта раствора с поверхностью катализатора, характеристик катализатора и др.) на эффективность процесса. Результаты исследований планируется выпустить в виде отдельного сообщения (статьи).

#### Выводы

Исследован процесс гетерогенного каталитического разложения комплексона трилона Б в азотнокислых растворах на платиновом катализаторе с носителем в виде ионообменной смолы ВП-1АП.

Разработана и предложена к использованию лабораторная установка каталитического разложения, показавшая свою эффективность (остаточная концентрация комплексона <1 мг/л).

Показано влияние температуры на процесс каталитического разложения комплексона.

Рассмотрен процесс разложения трилона Б при различных концентрациях азотной кислоты (рН=0-4).

Изучено влияние пероксида водорода на процесс каталитической деструкции комплексона трилона Б.

Оптимальными условиями для проведения каталитического разложения трилона Б на платиновом катализаторе с носителем ВП-1АП можно считать следующие условия: исходная концентрация комплексона – 1-2 г/л, перекиси – 6 г/л, температура – 70-80°C. Степень разложения составляет при этом 99,91%.

#### Список литературы:

1. Combined Methods for Liquid Radioactive Waste Treatment: Final report of a coordinated research project 1997–2001. International Atomic Energy Agency, Vienna, IAEA, 2003. 246 p. (IAEA-TECDOC-1336).
2. Арустамов А.Э., Зинин А.В., Красников П.В., Прилепо Ю.П., Перевезенцев В.В., Савкин А.Е., Свитцов А.А., Хубецов С.Б. Метод ионселективной очистки жидких радиоактивных отходов атомных станций // Безопасность жизнедеятельности. 2005. № 11. С. 13-16.
3. Лагунова Ю.О., Селиверстов А.Ф., Ершов Б.Г., Морозов П.А., Камруков А.С., Ангуладзе Ш. // Фотоокислительное разрушение Трилона Б в щелочных растворах. Материалы 5-й международной научно-технической конференции: «Обращение с радиоактивными отходами». М: «ВНИИАЭС», 2006, С.39 – 40.

4. Лагунова Ю.О., Селиверстов А.Ф., Ершов Б.Г., Морозов П.А., Камруков А.С., Шашковский С.Г. //Окислительное разложение ЭДТА в водных растворах при действии УФ-излучения. Радиохимия, 2008, т.50, № 1, С. 62-66.
5. Короткевич В.М., Теровский В.С., Михайлова Н.А. и др. Восстановление уранилнитрата на платиновом катализаторе с помощью гидразина // I Российская конф. по радиохимии. – г.Дубна, 17–19 мая 1994 г.: Тез. докл. – М.: РНЦ «Курчатовский институт», 1994. – С. 202.
6. Способ разложения комплексонов в азотнокислых растворах. Патент SU 1214607А, С 02 F 1/72, 28.02.86.

#### К расчету возраста нейтронов в графите

*Бас Т.В., Кузьмин А.В.*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск  
kuzminav@tpu.ru*

В начале 40-х годов прошлого века Энрико Ферми в поисках решения уравнения замедления, выраженное через поток замедления, учел функциональную связь между летаргией замедляющихся нейтронов и с возрастом  $\tau$ , т.е. «временем», прошедшим с момента испускания быстрого нейтрона до момента его детектирования. Он ввел новую переменную

$$d\tau = \frac{D(u)}{\zeta \Sigma_s(u)} du \quad \text{или} \quad \tau(u) = \int \frac{D(u)}{\zeta \Sigma_s(u)} du, \quad (1)$$

которая позволяла оценить возраст в заданном интервале энергии по имеющимся экспериментальным данным физических свойств среды.

В выражении (1)  $\zeta$  – среднелогарифмическая потеря энергии за одно соударение;  $\Sigma_s(u)$  – эффективное макроскопическое поперечное сечение рассеяния среды, см<sup>-1</sup>. Коэффициент диффузии среды, см, может быть определен через макроскопическое транспортное сечение рассеяния  $\Sigma_{tr}(u)$ , см<sup>-1</sup>:

$$D(u) = \frac{1}{3 \cdot \Sigma_{tr}(u)}. \quad (2)$$

Примеры расчетного определения возраста по имеющимся экспериментальным данным свойств, входящих в уравнения (1)-(2) приводятся в [1,2].

Отрывочные и недостаточно полные сведения энергетической зависимости ядерно-физических свойств элементов нацеливали исследователей на проведение прямых экспериментальных методов определения возраста, а также на расширение и уточнение базы данных по физическим свойствам реакторных материалов. Естественно, в первую очередь основное внимание было уделено углероду как первому замедлителю в ядерных реакторах на тепловых нейтронах. Примерно до 1962 года экспериментальные и аналитические результаты не давали должного согласия [3], что в первую очередь могло говорить о все ещё недостаточно корректных данных по ядерно-физическим свойствам углерода. В табл.1 приведены экспериментальные и теоретические результаты возраста при замедлении нейтронов деления с энергией  $E_0 = 2 \text{ МэВ}$  до энергии индиевого резонанса  $E_m = 1,46 \text{ эВ}$ .

Первые ошутимые результаты, которые можно назвать эталонными, были получены в работе [4], методика и результаты которой подробно изложена в [5].

Таблица 1. Возраст  $\tau_{1,46}$  в графите плотностью 1,60 г/ см<sup>3</sup>

Ссылка	Возраст, $\tau_{1,46}$ , см <sup>2</sup>	Ссылка	Возраст, $\tau_{1,46}$ , см <sup>2</sup>
Эксперимент	Теория		
1. Fermi (1943)	317,0	1. Goldstein (1961)	304,0 ± 3,0
2. Hill (1949)	310,6 ± 3,0	2. Joanou (1962)	305,0
3. Davey (1958)	337,9	3. Alter [4] (1964)	307,4 ± 1,0
4. Hendrie (1959)	312,6 ± 0,5		
5. Paschall [4] (1964)	307,8 ± 1,9		

В справочнике [6] представлены удобные для проведения расчетного определения возраста зависимости микроскопических сечений  $\sigma_s(u)$  и  $\sigma_{tr}(u)$ , полученные в работах [7,8]. Приведем формулу (1) с учетом (2) к виду удобному для проведения расчетов

$$\tau(u) = \int \frac{du}{3\bar{\zeta}\Sigma_s(u)\Sigma_{tr}(u)} = \frac{1}{3\bar{\zeta}N^2} \int \frac{du}{\sigma_s(u)\sigma_{tr}(u)} \quad (3)$$

Найдем произведение микроскопических сечений, результаты сведем в табл.2.

**Таблица 2.** Сечения взаимодействия нейтронов с графитом в зависимости от летаргии [6]

u	$\sigma_s$ , барн	$\sigma_{tr}$ , барн	$\sigma_s\sigma_{tr}$ , (барн) <sup>2</sup>	u	$\sigma_s$ , барн	$\sigma_{tr}$ , барн	$\sigma_s\sigma_{tr}$ , (барн) <sup>2</sup>
0,00	1,732	1,533	2,655	3,00	4,400	4,052	17,829
0,25	1,880	1,664	3,128	3,25	4,450	4,116	18,316
0,50	2,195	1,925	4,225	3,50	4,515	4,190	18,918
0,75	2,505	2,179	5,458	3,75	4,555	4,241	19,318
1,00	2,805	2,438	6,838	4,00	4,590	4,335	19,897
1,25	3,095	2,702	8,323	4,25	4,610	4,354	20,072
1,50	3,385	2,982	10,094	4,50	4,635	4,377	20,287
1,75	3,665	3,254	11,926	4,75	4,675	4,415	20,640
2,00	3,900	3,494	13,627	5,00	4,690	4,429	20,772
2,25	4,100	3,702	15,178	5,25	4,700	4,439	20,863
2,50	4,250	3,872	16,456	...	...	...	...
2,75	4,350	3,989	17,352	18,185	4,700	4,439	20,863

В соответствие с данными [6] значение среднелогарифмического декремента примем постоянным и равным  $\bar{\zeta} = 0,158$ . Ядерную концентрацию графита N, ядер/см<sup>3</sup>, при его физической плотности  $\gamma C = 1,6$  г/см<sup>3</sup> определим по известной формуле

$$N = \frac{N_A \cdot \gamma}{A} = \frac{0,6022 \cdot 10^{24} \cdot 1,6}{12,014} = 0,0802 \cdot 10^{24}$$

Заметим, что в отечественной практике под летаргией понимают  $u = \ln(E_0 / E)$ , где за  $E_0$  принята средняя энергия спектра мгновенных нейтронов деления равная 2 МэВ.

На рис.1 представлена зависимость произведения сечений от летаргии. В диапазоне летаргий  $u = 0 \dots 18,185$ , что соответствует пути замедления от  $E_0$  до стандартной энергии  $E_{cm} = 0,0253$  эВ, выделяются 2 зоны графического интегрирования уравнения (3). В результате выражение (3) с учетом данных табл. 2 можно записать для возраста тепловых нейтронов  $\tau_T$  в виде

$$\tau_T = \frac{1}{3 \cdot 0,158 \cdot 0,006432 \cdot 10^{48}} \times \left( \frac{1}{\langle \sigma_s \sigma_{tr} \rangle} \int_0^{5,25} du + \frac{1}{(\sigma_s \sigma_{tr})_{5,25}} \int_{5,25}^{18,185} du \right),$$

где  $\langle \sigma_s \sigma_{tr} \rangle = 14,3074$  барн<sup>2</sup> – среднее значение произведения сечений, определенное с помощью машинного кода,  $(\sigma_s \sigma_{tr})_{5,25} = 20,8633$  барн<sup>2</sup> – постоянное табличное значение.

Результат расчета возраста нейтронов деления при замедлении до энергии индиевого резонанса  $\tau_{1,46}$  в графите по справочным данным, представленным в [6, стр. 327], равен:  $\tau_{1,46} = 260$  см<sup>2</sup>. Очевидно заметное отличие от теоретической оценки Олтера [4]:

$$\delta = \frac{260 - 307,4}{307,4} = -15,4\%.$$

Наиболее вероятными причинами подобного расхождения могут быть:

- устаревшие экспериментальные данные, представленные в атласах [7,8] по транспортному сечению и сечению упругого рассеяния;

- некорректность в определении среднего значения декремента  $\bar{\xi}$ .

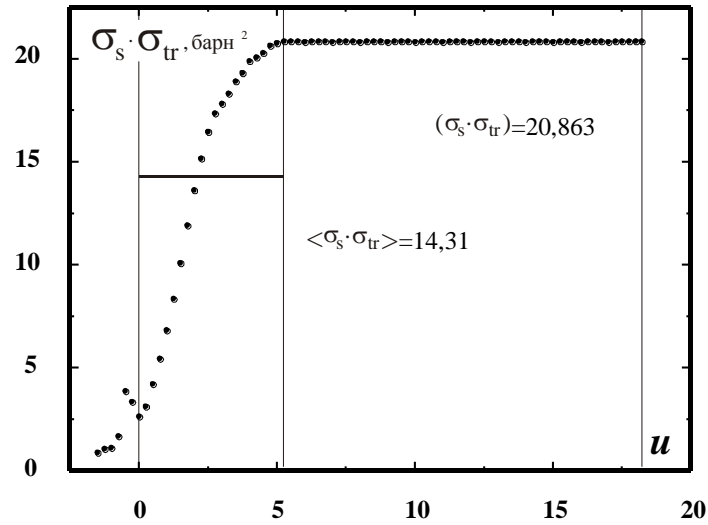


Рис. 1. Среднее  $\langle \rangle$  и постоянное  $( )$  значения произведения сечений в границах замедления нейтронов от  $E_0$  до  $E_{cm}$

Проверка этих предположений с использованием современных доступных экспериментальных данных по сечениям взаимодействия графита была проведена в работе [9] с использованием групповых констант [10].

Эффективное микроскопическое транспортное сечение в табл.4 определялось по формуле  $\sigma_{tr}(u) = \sigma_c(u) + \sigma_{in}(u) + \sigma_s(u) \cdot (1 - \mu(u))$ ,

где  $\sigma_c, \sigma_{in}$  – микроскопические эффективные сечения радиационного захвата и неупругого рассеяния;  $\mu(u)$  – средний косинус угла рассеяния.

Отметим наиболее существенные особенности экспериментальных ядерно-физических констант по углероду, представленных в разное время в справочниках [6,10].

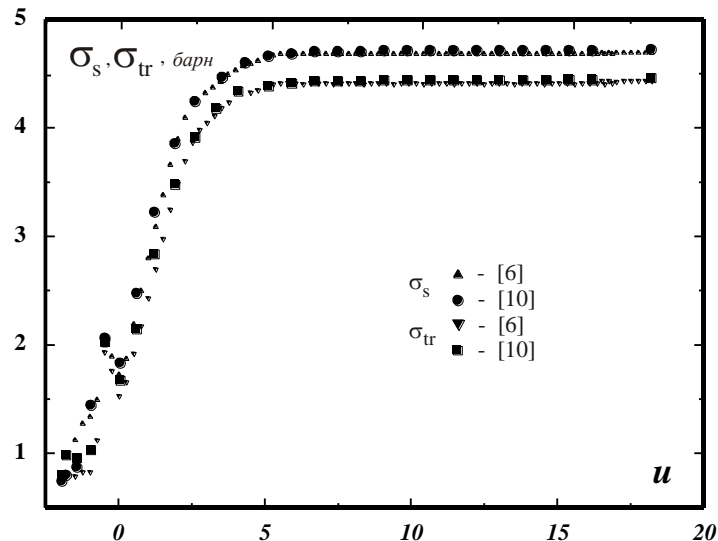


Рис.2. Сравнение сечений по разным источникам

В диапазоне летаргий  $u = 0 \dots 18,185$ , соответствующем пути замедления от  $E_0 = 2 \text{ МэВ}$  до стандартной энергии  $E_{cm} = 0,0253 \text{ эВ}$ , нет резонансного поглощения и это, несомненно, создаёт возможности более точного расчёта возраста до детектируемого значения нейтронов.

Если в справочнике [6] предполагается, что среднелогарифмическая потеря энергии за одно соударение нейтрона с ядром атома углерода  $\bar{\xi}$  постоянна на всем интервале замедления, то в 28-групповой системе констант [10] учитывается зависимость её от энергии, особенно заметная в области высоких энергий.

Подобное отличие имеет место и с применением среднего косинуса угла рассеяния  $\mu$ . При пользовании данными [6] эта характеристика считается постоянной и равной  $\mu = 2/(3A)$ , где  $A$  – массовое число элемента. В табл. 4 можно видеть, что в области высоких энергий она заметно изменяется.

Сечения  $\sigma_s(u)$  и  $\sigma_{tr}(u)$ , представленные в [10], имеют несколько завышенные значения в сравнении с данными [6] (см. рис.2). Очевидно, согласно (4), это приведет к меньшему значению возраста и, следовательно, к большей погрешности результата. На этом основании можно говорить о большой методической погрешности данного способа расчета возраста нейтронов и о необходимости поиска других методов.

#### Список литературы:

1. Меррей Р. Физика ядерных реакторов. – М.: АИ, 1961. – 292 с.
2. Кузьмин А.В. Основы теории переноса нейтронов (лабораторный практикум): учеб. пособие для вузов. 2-е изд. – Томск: Изд-во ТПУ. 2010. – 192 с.
3. Бекурц К., Виртц К. Нейтронная физика. – М.: Атомиздат, 1968. – 456 с.
4. Campbell R.W., Paschall R.K. and Swanson V.A. The age of fission neutrons to indium-resonance energy in graphite // Nucl. Sci. Engng. – 1964. – V. 20. –P. 445–454.
5. Кузьмин А.В. Экспериментальное и расчетное определение возраста нейтронов деления в различных средах: учеб. пособие для вузов. 1-изд. – Томск: Изд-во ТПУ. 2011. – 232 с.
6. Гордеев И.В., Кардашев Д.А., Малышев А.В. Ядерно-физические константы: Справочник. – М.: Госатомиздат, 1963. – 507 с.
7. Hughes D.J., Magurno B.A. and Brussel M.K. Neutron Cross Sections, BNL325, Suppl. 1, 1960.
8. Hughes D.J. and Schwartz R.B. Neutron Cross Sections, BNL325, 1958.
9. Бас Т. В. Подготовка групповых констант к расчету возраста тепловых нейтронов в графите// Энергетика: эффективность, надежность, безопасность: Труды XIV Междунар. студ. научно-техн. семинара: в 2-х томах. Т.2 - Томск: Изд-во ТПУ. 2012. – С. 78-81 с
10. Групповые константы для расчета реакторов и защиты: Справочник / Л.П. Абагян, Н.О. Базаянц, М.Н. Николаев, А.М. Цибуля: Под ред. М.Н. Николаева. – М.: Энергоатомиздат, 1981. – 232 с.

#### Расчет возраста нейтронов деления до индиевого резонанса в графите методом групп

**Бас Т.В., Кузьмин А.В.**

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск*

Приводится алгоритм расчета возраста замедляющихся нейтронов в графите методом групп. Сравнение результатов расчета возраста нейтронов деления при замедлении до энергии индиевого резонанса показало хорошую сходимость с теоретическими и экспериментальными данными.

Ядерно-физические константы в основном предназначены для инженеров-физиков при проектировании и эксплуатации ядерных реакторов и защиты. Эти характеристики постоянно обновляются с получением новых экспериментальных и теоретических результатов и обобщаются в соответствующих справочниках и библиотеках баз данных. В отечественной технической литературе по данной теме наиболее известными являются справочники [1,2]. В первом из них приведены экспериментальные данные, полученные до 1962 г., хотя необходимые нам для анализа макроскопическое транспортное сечение рассеяния  $\Sigma_{tr}(u)$ , см-1 и  $\Sigma_s(u)$ , см<sup>-1</sup> – эффективное макроскопическое поперечное сечения рассеяния среды, см-1 с удобным шагом по летаргии  $\Delta u=0,25$ , были опубликованы несколько ранее. Во втором справочнике [2] приводятся таблицы 28-групповых нейтронных констант, основанных на данных до 1977 г.

Основные энергетические характеристики групп представлены в табл.1, где  $\bar{u}$  – означает среднее значение летаргии в группе.

Таблица 1. Разбиение энергии нейтронов на группы

Группа	$E_n$	$\bar{u}$	Группа	$E_n$	$\bar{u}$
-1	14,5–14,0·МэВ	-1,96361	13	4,65–2,15·кэВ	6,37713
0	14,0–10,5·МэВ	-1,81238	14	2,15–1,0·кэВ	7,14665
1	10,5–6,5·МэВ	-1,44692	15	1,0–0,465·кэВ	7,91219
2	6,5–4,0·МэВ	-0,96508	16	465–215·эВ	8,67971
3	4,0–2,5·МэВ	-0,48551	17	215–100·эВ	9,44923
4	2,5–1,4·МэВ	0,02532	18	100–46,5·эВ	10,21478
5	1,4–0,8·МэВ	0,59784	19	46,5–21,5·эВ	10,98230
6	0,8–0,4·МэВ	1,20397	20	21,5–10,0·эВ	11,75182
7	0,4–0,2·МэВ	1,89712	21	10,0–4,65·эВ	12,51736
8	0,2–0,1·МэВ	2,59027	22	4,65–2,15·эВ	13,28488
9	100,0–46,5·кэВ	3,30702	23	2,15–1,0·эВ	14,05440
10	46,5–21,5·кэВ	4,07454	24	1,0–0,465·эВ	14,81995
11	21,5–10,0·кэВ	4,84406	25	0,465–0,215·эВ	15,58747
12	10,0–4,65·кэВ	5,60961	T	0,0253 эВ	18,18561

В табл. 2 представлена часть среднегрупповых сечений из работы [2], необходимых для проведения расчета возраста нейтронов до любого детектируемого значения.  $\sigma_c$  – микроскопическое эффективное сечение радиационного захвата;  $\sigma_{in}$  – сечение неупругого рассеяния с учетом сечений реакций  $(n, 2n)$  и  $(n, 3n)$ ;  $\sigma_s \equiv \sigma_e$  – сечение упругого рассеяния;  $\mu$  – средний косинус угла рассеяния, вычисленный без учета того в какую группу попадет нейтрон после рассеяния;  $\zeta$  – среднее приращение летаргии при упругом рассеянии (среднелогарифмический декремент);  $\sigma_z$  – сечение упругого замедления. Помимо этого по приведенным данным [2], таблица дополнена расчетом эффективного микроскопического транспортного сечения, которое определялось по формуле:

$$\sigma_{tr}(u) = \sigma_c(u) + \sigma_{in}(u) + \sigma_s(u) \cdot (1 - \mu(u)) \quad (1)$$

Согласно теории метода групп [3] возраст нейтронов в  $i$ -ой группе определяется из следующей формулы

$$\tau_i = \frac{D^{(i)}}{N \cdot (\sigma_a^{(i)} + \sigma_R^{(i)})}, \quad (2)$$

где  $N$  – ядерная концентрация графита плотностью 1,60 г/см<sup>3</sup>; сечение поглощения определяется выражением  $\sigma_a^{(i)} = \sigma_c^{(i)} + \sigma_{in}^{(i)}$ , а сечение увода нейтрона из группы за счет упругого соударения нейтрона с ядром углерода есть сечение упругого замедления  $\sigma_R^{(i)} \equiv \sigma_z^{(i)}$ . Сумму сечений в (2)  $\sigma_a^{(i)} + \sigma_R^{(i)}$  по терминологии [3] называют действующим сечением замедлителя.

Коэффициент диффузии нейтронов в группе определяется выражением:

$$D^{(i)} = \frac{1}{3 \cdot \Sigma_{tr}^{(i)}} = \frac{1}{3 \cdot N \sigma_{tr}^{(i)}}. \quad (3)$$

Таким образом, формулы (1)-(3) позволяют провести расчет возраста в каждой энергетической группе. Поскольку нас интересует область замедления, которая моделировалась в экспериментах по определению возраста в графите [4]: диапазон летаргий  $u = 0 \dots 14,125$ , соответствующий пути замедления от  $E_0 = 2 \text{ МэВ}$  до энергии индиевого резонанса  $E_m = 1,46 \text{ эВ}$ , то результаты расчета возраста в группах, представленные в табл. 3, охватывают только этот диапазон энергий.



Таблица 2. Основные групповые константы углерода [2]

Группа	$\sigma_s$ , барн	$\mu$	$\zeta$	$\sigma_c$ , барн	$\sigma_{in}$ , барн	$\sigma_{tr}$ , барн	$\sigma_z$ , барн
-1	0,751	0,617	0,022	0,081	0,438	0,80626	0,473
0	0,806	0,4436	0,068	0,09	0,454	0,99246	0,343
1	0,878	0,2682	0,104	0,06	0,262	0,96452	0,366
2	1,451	0,3247	0,081	0	0,059	1,03886	0,43
3	2,07	0,0164	0,153	0	0	2,03605	0,767
4	1,84	0,0869	0,16	0	0	1,6801	0,509
5	2,48	0,1323	0,158	0	0	2,1519	0,703
6	3,23	0,1191	0,161	0	0	2,84531	0,749
7	3,86	0,0972	0,158	0	0	3,48481	0,882
8	4,25	0,0787	0,159	0	0	3,91553	0,972
9	4,49	0,0683	0,156	0	0	4,18333	0,912
10	4,62	0,06	0,158	0	0	4,3428	0,947
11	4,68	0,0573	0,157	0	0	4,41184	0,962
12	4,7	0,056	0,159	0	0	4,4368	0,968
13	4,72	0,056	0,159	0	0	4,45568	0,972
14	4,72	0,056	0,159	$1 \cdot 10^{-5}$	0	4,45569	0,972
15	4,72	0,056	0,159	$2 \cdot 10^{-5}$	0	4,4557	0,972
16	4,73	0,056	0,159	$3 \cdot 10^{-5}$	0	4,46515	0,974
17	4,73	0,056	0,159	$4 \cdot 10^{-5}$	0	4,46516	0,974
18	4,73	0,056	0,159	$7 \cdot 10^{-5}$	0	4,46519	0,974
19	4,73	0,056	0,159	$1 \cdot 10^{-4}$	0	4,46522	0,974
20	4,73	0,056	0,159	$1,4 \cdot 10^{-4}$	0	4,46526	0,974
21	4,73	0,056	0,159	$2,1 \cdot 10^{-4}$	0	4,46533	0,974
22	4,73	0,056	0,159	$3,1 \cdot 10^{-4}$	0	4,46543	0,974
23	4,73	0,056	0,159	$4,5 \cdot 10^{-4}$	0	4,46557	0,974
24	4,73	0,056	0,159	$6,6 \cdot 10^{-4}$	0	4,46578	0,974
25	4,73	0,056	0,159	$9,7 \cdot 10^{-4}$	0	4,46609	0,974
T	4,729	0,056	–	0,0034	0	4,46758	

Поскольку требуемые границы являются только частью 4 и 23 групп, то необходимо сделать правку значений возраста, используя простую интерполяцию. Так как в диапазоне 4 группы с энергией 2,5...1,4 МэВ возраст нейтронов при замедлении в этом интервале энергий равен  $\tau_1 = 60,6 \text{ см}^2$ , то, очевидно, что в интервале 2,0...1,4 МэВ возраст будет иметь значение равное 32,7272 см<sup>2</sup>, а в последней группе 7,1457 см<sup>2</sup>.

Таблица 3. Результаты расчета возраста в группах

Группа	$E_n$	$D^{(i)} \times N$ , барн <sup>-1</sup>	$\sigma_a^{(i)} + \sigma_R^{(i)}$ , барн	$\tau_i$ , см <sup>2</sup>
4	2,5–1,4·МэВ	0,1984	0,509	60,60086
5	1,4–0,8·МэВ	0,1549	0,703	34,25753
6	0,8–0,4·МэВ	0,11715	0,749	24,31766
7	0,4–0,2·МэВ	0,09565	0,882	16,86108
8	0,2–0,1 МэВ	0,08513	0,972	13,616840
9	100,0–46,5·кэВ	0,07968	0,912	13,58362
10	46,5–21,5·кэВ	0,07676	0,947	12,60123
11	46,5–21,5·кэВ	0,07555	0,962	12,21064
12	10,0–4,65·кэВ	0,07513	0,968	12,06667
13	4,65–2,15·кэВ	0,07481	0,972	11,9661
14	2,15–1,0·кэВ	0,07481	0,97201	11,96595

15	1,0–0,465·кэВ	0,07481	0,97202	11,9658
16	465–215·эВ	0,07465	0,97403	11,91583
17	215–100·эВ	0,07465	0,97404	11,91568
18	100–46,5·эВ	0,07465	0,97407	11,91523
19	46,5–21,5·эВ	0,07465	0,9741	11,91479
20	21,5–10,0·эВ	0,07465	0,97414	11,91419
21	10,0–4,65·эВ	0,07465	0,97421	11,91315
22	4,65–2,15·эВ	0,07465	0,97431	11,91166
23	2,15–1,0·эВ	0,07465	0,97445	11,90957

После сложения всех составляющих в группах с учетом правки в 4 и в 23 группах получим следующее значение возраста которое с погрешностью менее 3 % отличается от теоретической оценки Олтера [5].

$$\sum \tau_i^{2 \text{ МэВ} \dots 1,46 \text{ эВ}} = 298,6866 \text{ см}^2,$$

Таким образом, применение метода групп, базирующего на более полных и достаточно корректных экспериментальных данных [2] позволяет получить наиболее точные значения возраста замедляющихся нейтронов.

#### Список литературы:

1. Гордеев И.В., Кардашев Д.А., Малышев А.В. Ядерно-физические константы: Справочник. – М.: Госатомиздат, 1963. – 507 с.
2. Групповые константы для расчета реакторов и защиты: Справочник / Л.П. Абагян, Н.О. Базаянц, М.Н. Николаев, А.М. Цибуля: Под ред. М.Н. Николаева. – М.: Энергоатомиздат, 1981. – 232 с.
3. Основы теории и методы расчёта ядерных энергетических реакторов: Учеб. пособие для вузов / Г.Г. Бартоломей, Г.А. Бать, В.Д. Байбаков, М.С. Алхутов. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 512 с., ил.
4. Бас Т.В., Кузьмин А.В. К расчету возраста нейтронов в графите. В настоящем сборнике.
5. Campbell R.W., Paschall R.K. and Swanson V.A. The age of fission neutrons to indium-resonance energy in graphite // Nucl. Sci. Engng. – 1964. – V. 20. –P. 445–454.

#### Проектный облик термоэмиссионной электрогенерирующей сборки вынесенного типа с тугоплавкой высокотемпературной тепловой трубой

*Баучкин Ф.А.*

*МГТУ им. Н.Э. Баумана, Россия, г. Москва*

[fedorb2006@rambler.ru](mailto:fedorb2006@rambler.ru)

Термоэмиссионные ядерные энергетические установки (ЯЭУ) являются наиболее перспективными для межорбитальных космических буксиров и космических энергетических установок повышенной мощности и не имеют альтернативы среди источников электрической энергии в космических системах в ближайшей и среднесрочной перспективе в диапазоне до 500 кВт. Они отличаются повышенными температурами холодильников-излучателей (ХИ) и потому пониженными габаритами и массой по сравнению с другими типами установок.

Отсутствие вращающихся инерционных масс в термоэмиссионной энергетической установке облегчает работу системы ориентации при эволюциях космического аппарата (КА) в пространстве. Отсутствие же больших поверхностей панелей (как у солнечных батарей) позволяет облегчить компенсацию момента сил солнечного лучевого давления относительно центра масс космического аппарата.

В России проводились разработки термоэмиссионных ядерных энергетических установок целого спектра мощностей: от 5...6 кВт («Топаз», «Енисей») до 2...3 МВт, обладающих целым рядом преимуществ по сравнению с другими видами энергоснабжения. Конструктивная схема термоэмиссионной ЯЭУ представлена на рис. 1. ЯЭУ включает в себя:

- термоэмиссионный реактор-преобразователь (1) с обслуживающими системами: система управления и защиты (СУЗ) реактора, устройство подачи рабочего тела в электрогенерирующие каналы;
- теньевую радиационную защиту (2), обеспечивающую ослабление радиационного излучения реактора до уровня, допустимого для приборов КА;

- систему отвода неиспользованного тепла от реактора (3) с жидкометаллическим теплоносителем, включающую электромагнитный насос, холодильник-излучатель для сброса тепла в космическое пространство и другие агрегаты.



Рис. 1. Конструктивная схема ЯЭУ в орбитальном положении

ЯЭУ, проектируемые в настоящее время в России, строятся по классической схеме, когда термоэмиссионные преобразователи (ТЭП) находятся в пределах активной зоны ядерного реактора, а топливные элементы объединены с ТЭП в составе так называемых многоэлементных электрогенерирующих каналов (ЭГК) гирляндного типа.

Несмотря на то, что данная схема была успешно применена на ЯЭУ «Топаз» в составе космического аппарата «Плазма-А» в 1987 г., а также доказала свою работоспособность во время многочисленных испытаний, она обладает рядом недостатков, главными из которых являются:

Свеллинг топлива в полости эмиттера и, как следствие, нарушение величины межэлектродного зазора (МЭЗ) в ЭГК и существенное падение характеристик ЯЭУ. В настоящее время проблема частично решена благодаря освоению новых технологий.

Попадание газообразных продуктов деления в МЭЗ, которые загрязняют межэлектродный зазор и рабочее вещество ТЭП, осаждаются на поверхностях электродов и ухудшают их эмиссионные свойства. Решить эту проблему можно либо применением расходной схемы подачи цезия (открытый цикл), либо, в случае с замкнутым циклом, установкой в цезиевый контур сепаратора, который бы отделял и сбрасывал в открытый космос газообразные продукты деления. Причем в первом случае существенно возрастает стартовая масса установки, а во втором – возрастает стоимость установки и понижается ее надежность.

Неизотермичность ЭГК по длине, обусловленная перепадами температур и потерями на коммутационных перемычках.

Решить эти проблемы возможно, используя другую принципиальную схему относительного расположения ядерного топлива и ТЭП, основная идея которой – вынос ТЭП за пределы активной зоны ядерного реактора и подвод тепла к ним с помощью тугоплавких высокотемпературных тепловых труб (ТВТТ). Преимуществами такой схемы являются: обеспечение изотермичности ТЭП по длине, ликвидация вероятности загрязнения МЭЗ и электродов газообразными продуктами деления, а также отсутствие ядерного топлива в ЭГК. Кроме того, в отличие от гирляндовой схемы, в ЭГК практически отсутствуют радиальные нейтронные потоки.

Однако такая схема никогда не применялась на практике, более того, она содержит в себе ряд серьезных технических и технологических сложностей, главные из которых – проблема обеспечения длительного ресурса высокотемпературных тепловых труб (они должны работать 7...10 лет при температурах порядка 2000 К и радиальных тепловых потоках выше 150 кВт/м<sup>2</sup>), проблема пуска высокотемпературных тепловых труб из замороженного состояния и проблема обеспечения последовательной коммутации ЭГК (что необходимо для получения большей выходной электрической мощности ЯЭУ).

Предлагаемый одноэлементный вынесенный из активной зоны ТРП электрогенерирующий канал представляет собой цилиндрический ТЭП, расположенный на конденсационном конце ТВТТ переменного сечения – 1, испарительный конец которой помещен в активную зону РП, причем ЭГК представлен в двух исполнениях – прямой и обратной полярности, которые не отличаются внешне, но имеют различную развязку электродов ТЭП. За счет чередования ЭГК прямой и обратной полярности при коммутации, можно обеспечить последовательное соединение ЭГК и, тем самым, большее напряжение в цепи питания, чем при параллельном соединении, и, как следствие, большую электрическую мощность. Продольное сечение ЭГК представлено на рис. 2.

На поверхность ТВТТ на длине 619 мм (отсчитываемой от конца зоны конденсации ТВТТ) методами ионно-плазменного напыления нанесен слой электрической изоляции – 2 из окиси алюминия Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> толщиной 500 мкм. Эмиттер – 3, изготовленный из монокристаллического вольфрама, устанавливается на ТВТТ с помощью газостата. Длина эмиттера составляет 590 мм для

ЭГК прямой полярности и 498,5 мм после соединения с надставкой токовывода для ЭГК обратной полярности. Толщина эмиттера – 500 мкм. Цилиндрический коллекторный пакет выполнен на основе несущей трубки – 6 из ниобия, на внутреннюю поверхность которой нанесен слой «мокрой» изоляции – 5 толщиной 500 мкм, а на внешнюю поверхность – слой «сухой» изоляции – 7 толщиной 500 мкм. Поверх слоя «мокрой» изоляции нанесен коллектор – 4 из молибдена толщиной 600 мкм. В качестве материала изоляции выбрана высокочистая окись алюминия с присадкой SiO<sub>2</sub> (для получения надежной металлизации керамики и обеспечения возможности пайки изоляции с металлом), в качестве материала защитного чехла выбран ниобий, который при 1000 К расширяется чуть больше, чем окись алюминия.

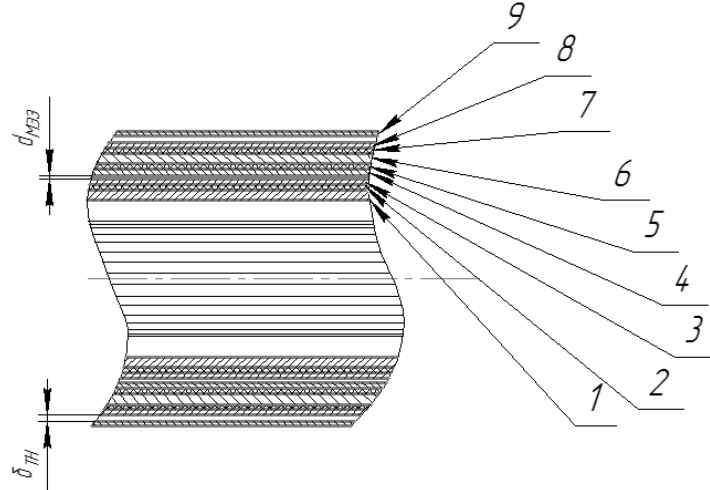


Рис. 2. Продольное сечение ЭГК

Эмиттерный и коллекторный пакеты разделены межэлектродным зазором толщиной 400 мкм, заполненным паром рабочего тела – цезия. При сборке ТРП на внешнюю поверхность коллекторного пакета устанавливается тонкостенная обечайка – 8 толщиной 500 мкм, а сам ЭГК устанавливается в кожух охлаждения – 9 толщиной 400 мкм. Внешняя поверхность ЭГК отделена от кожуха охлаждения зазором для ТН толщиной 1,3 мм.

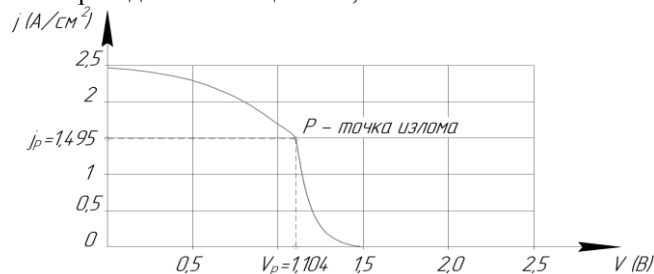


Рис. 3. ВАХ ТЭП

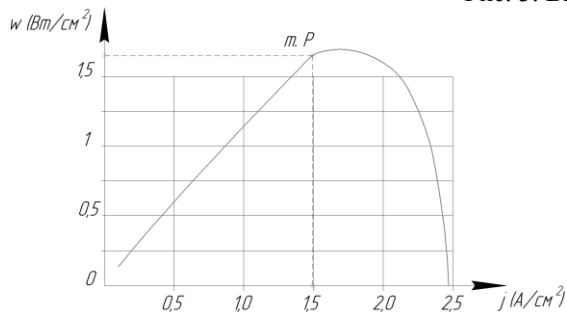


Рис. 4. Удельная мощность ТЭП

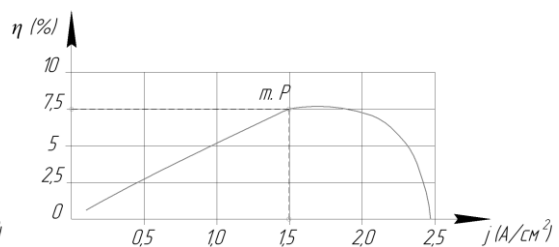


Рис. 5. КПД ТЭП

Для пайки материалов коллекторного пакета и металлокерамических узлов (МКУ) выбран припой состава: 65 вес. % V, 30 вес. % Nb, 5 вес. % Ti. Температура плавления такого припоя: **2080 К**. В качестве материала компенсаторов температурных деформаций, манжет МКУ,

деталей токовывода по тем же причинам, выбран ниобий, а в качестве материала мостов МКУ – монокристаллический  $Al_2O_3$ .

Вольт-амперная характеристика (ВАХ) ТЭП, зависимость его удельной электрической мощности и КПД от плотности тока представлены на рис. 3, 4, 5.

Характеристики ТЭП на номинальном режиме работы представлены в таблице 1.

Таблица 1. Характеристики ТЭП

Температура эмиттера, К	2000
Температура коллектора, К	1000
Давление паров цезия, торр	1
Высота ТЭП, мм	490
Напряжение на токовыводах ЭГК, В	1,1
Удельная электрическая мощность, Вт/см <sup>2</sup>	1,65
Электрическая мощность, Вт	483
Ток через ЭГК, А	437
Электронный КПД, %	44,6
Полный КПД, %	7,5

На рис. 6 представлена конструкция электрогенерирующей сборки (ЭГС) с тугоплавкой высокотемпературной тепловой трубой, где 1 – элементы торцевых отражателей, 2 – ядерное топливо, 3 – ТВТТ, 4 – ТЭП.

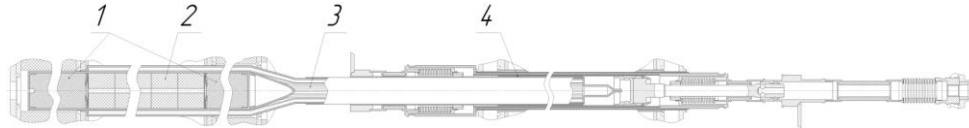


Рис. 6. Конструкция ЭГС

Тепловая мощность, которую требуется передать через одну ТВТТ в составе ТРП к эмиттеру ЭГС, составляет 6448 Вт, а плотность теплового потока в осевом направлении –  $6,8 \cdot 10^7$  Вт/м<sup>2</sup>. Температура рабочего тела ТВТТ при работе ЯЭУ на номинальном режиме составляет 2025 К, температура внешней поверхности ТВТТ в активной зоне реактора – 2016 К, температура внешней поверхности ядерного топлива – 2027 К. Радиальный тепловой поток в зоне испарения (в активной зоне реактора) – 220 кВт/м<sup>2</sup>, в зоне конденсации – 246 кВт/м<sup>2</sup>.

Очевидно, что при таких температурах использование составных или комбинированных фитилей с применением пористых экранов или сеток существенно понизит надежность и ресурс конструкции, так как высока вероятность отслоения фитиля от корпуса трубы. Поэтому в качестве капиллярной структуры (КС) была выбрана система канавок прямоугольного сечения, выполненных на внутренней поверхности ТВТТ. В качестве теплоносителя выбран литий. В качестве материала корпуса тепловой трубы выбран вольфрам, который обладает высокой температурой плавления, а также химически не взаимодействует с литием.

Распределение давлений в тепловой трубе описывается с использованием уравнения баланса давлений по парожидкостному тракту тепловой трубы. Режим течения в жидкой и паровой фазах – ламинарный. График перепада давлений по длине ТВТТ представлен на рис. 7:

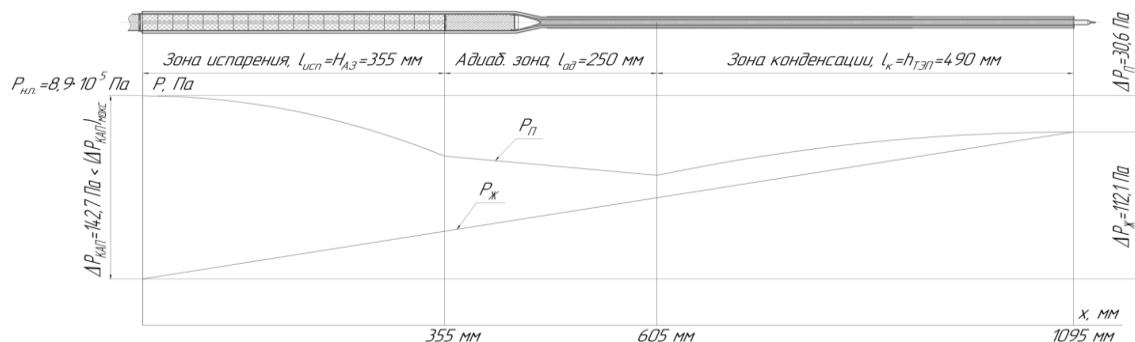


Рис. 7. Распределение давления в ТВТТ.

Геометрические параметры ТВТТ представлены в таблице 2.

Таблица 2. Геометрические параметры ТВТТ

Длина ТВТТ	1095 мм
Длина зоны испарения	355 мм
Длина адиабатической зоны	250 мм
Длина зоны конденсации	490 мм
Внешний радиус ТВТТ	8,5 мм
Радиус парового канала ТВТТ в зоне конденсации	5,5 мм
Толщина стенки корпуса ТВТТ	1 мм
Глубина канавки КС	2 мм
Ширина канавки КС	1 мм
Число канавок КС	16

Таким образом, ТЭП, выполненный по предложенной в данной работе конструктивной схеме, по своим расчетным характеристикам не уступает преобразователям, экспериментальные характеристики которых описаны в [1]. Спроектированная ЭГС соответствует модульному принципу построения ТРП: повышая количество ЭГС, можно получать и большую полезную электрическую мощность ЯЭУ. В то же время в данной конструкции решены основные проблемы гирляндной схемы ЭГК. Недостатками этой схемы являются технологические сложности и неподтвержденный на сегодняшний день ресурс.

#### Список литературы:

1. Квасников Л.А., Кайбышев В.З., Каландаришвили А.Г. Рабочие процессы в термоэмиссионных преобразователях ядерных энергетических установок / Под редакцией Л.А. Квасникова. – М.: Изд-во МАИ, 2001. – 208 с.: ил.
2. Кузнецов В.А. Ядерные реакторы космических энергетических установок. – М.: Атомиздат, 1977. 240 с.
3. Ивановский М.Н., Сорокин В.П., Ягодкин И.В. Физические основы тепловых труб. – М.: Атомиздат, 1978. 256 с.
4. Дан П.Д., Рей Д.А. Тепловые трубы: Пер. с англ.: Зейгарник Ю.А. – М.: Энергия, 1979. – 272 с.: ил.
5. Технология термоэмиссионных преобразователей. Справочник. Под ред. канд. техн. наук Рябикова С.В. – М.: Атомиздат, 1974. 232 с.
6. Технологические основы тепловых труб / Ивановский М.Н., Сорокин В.П., Чулков Б.А., Ягодкин И.В. – М.: Атомиздат, 1980. – 160 с.

#### К анализу поведения ТВЭЛА в зависимости от выгорания топлива

*Дашевский Р.В., Кузьмин А.В.*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск*

Одним из путей решения существующей в ядерной энергетике проблемы по снижению топливной составляющей себестоимости производства электроэнергии цикла является перевод ВВЭР на 18- и 24-месячные топливные циклы. При этом увеличение глубины выгорания ядерного горючего снижает не только себестоимость топливной составляющей, но и расходы на переработку, транспортировку и хранение отработавшего топлива. Помимо этого, увеличение длительности использования тепловыделяющих сборок в ядерных реакторах, т.е. увеличение выгорания топлива, снижает эксплуатационные расходы и повышает коэффициент использования установленной мощности АЭС.

Повышение выгорания топлива необходимо рассматривать в контексте с его надежностью [1]. Для этого важно понять причины и характер всевозможных изменений, происходящих в топливе по мере увеличения глубины выгорания в разных условиях эксплуатации, с тем, чтобы воплотить их в рабочие вычислительные модели, используемые для решения самых различных задач. Например, в работе [2] рассматривались 3 различные модели деформации сердечника и оболочки твэла с целью определения эффективной температуры топлива в процессе выгорания топлива активной зоны 1-го блока Ростовской АЭС. Характер основных изменений, происходящих в твэле при высоких выгораниях (рис.1) связан, в основном, с уменьшением внешнего диаметра твэла вследствие ползучести материала оболочки при радиационном

облучении, с распуханием топлива в процессе выгорания и с изменением теплопроводности топлива в процессе выгорания.

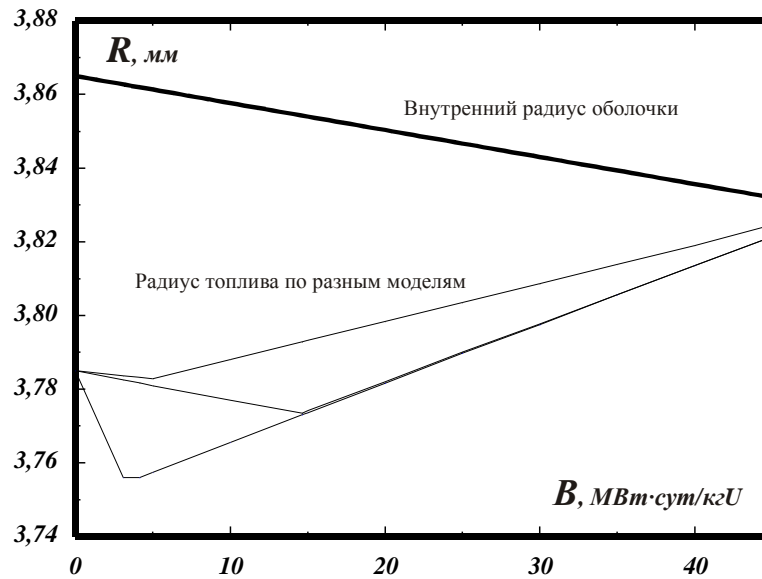


Рис. 1. Модели деформации сердечника и оболочки ТВЭЛ

Целями настоящей работы являются выбор расчетной модели ТВЭЛ с соответствующими аппроксимациями по изменению характерных его размеров, а также анализ и отбор расчетных зависимостей по теплопроводности окисного топлива в зависимости от его выгорания в процессе кампании.

У авторов разных моделей единодушным мнением выбрана линейная зависимость изменения внутреннего радиуса циркониевой оболочки ТВЭЛ  $R_{iá}$  от выгорания  $B$ , которую можно представить в виде:

$$R_{об}(B) = 3,865 - 7,33 \cdot 10^{-4} \cdot B.$$

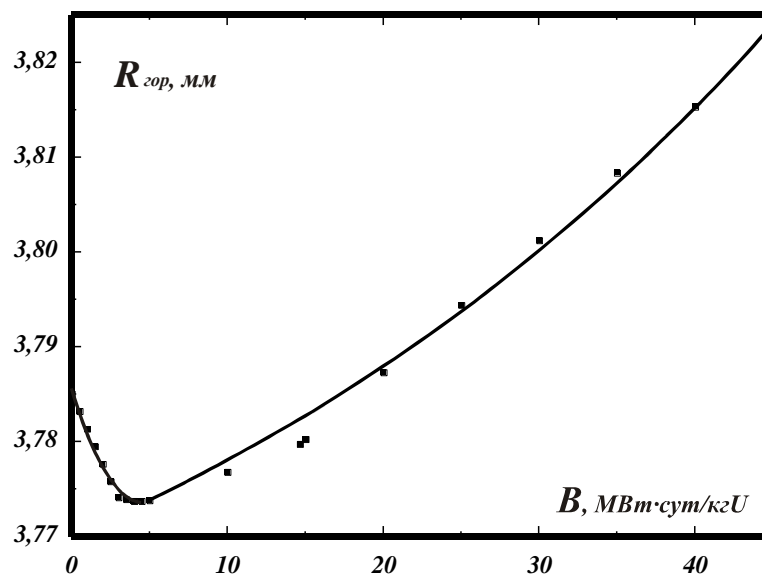


Рис. 2. Изменение радиуса топлива в процессе выгорания

Весьма заметное расхождение данных наблюдается в поведении топлива (рис.1). Это вполне объяснимо многофакторностью воздействия на топливные элементы и связанное с этим отсутствие согласованного математического описания. Если предположить, что диапазон описываемый моделями охватывает всю возможную область деформации топлива, то уже это позволяет выбрать модель с осредненными характеристиками и провести тепловой и нейтронно-физический анализ на текущую микрокампанию топлива.

Выбрав среднеарифметическое значение траектории деформации топлива в процессе выгорания, можно отметить следующие наиболее важные особенности (рис.2).

С начала работы реактора происходит заметная усадка окисного топлива, достигая минимума при выгорании около 4,5 МВт·сут/кгU. На этом промежутке кампании топлива изменение радиуса горячего может быть определено следующей зависимостью:

$$R_{гор}(B) = 3,7856 - 0,0053 \cdot B + 5,79 \cdot 10^{-4} \cdot B^2.$$

Последующая стадия роста примерно в диапазоне 15-20 МВт·сут/кгU достигает первоначальных конструктивных размеров и затем продолжает возрастать по закону слабой экспоненты:

$$R_{гор}(B) = 3,736 + 0,034 \cdot \exp(B/47,3).$$

С увеличением выгорания топлива весьма заметно меняется зависимость теплопроводности от температуры (рис.3). Для сравнения и выбора расчетной формулы зависимости теплопроводности от выгорания были привлечены данные модели Halden и Start-3 из [3] и результаты, полученные по аппроксимационной зависимости [4] для выгораний 20, 40 и 60 МВт·сут/кгU.

Аппроксимация экспериментальных данных для расчета теплопроводности облученного UO<sub>2</sub> с плотностью 95% от теоретической рекомендовано в [5,6] и работает для диапазона выгораний до 75 МВт·сут/кгUO<sub>2</sub> с неоднозначностью до 2000 К в пределах 20%:

$$\lambda = [0,1148 + 0,0035B + 2,475 \cdot 10^{-4}(1 - 0,00333B)^t]^{-1} + 0,0132 \exp(0,00188t),$$

где  $t = T - 273$

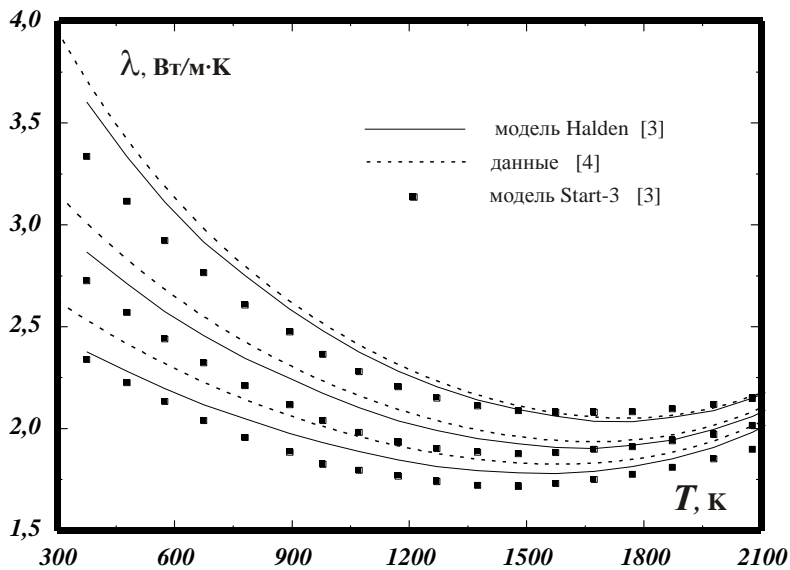


Рис. 3. Изменение теплопроводности двуокиси урана в зависимости от температуры и выгорания

Сравнение результатов расчетов по модели Halden и аппроксимации работы [4] показывает, что изменения теплопроводности UO<sub>2</sub> от выгорания и температуры незначительно отличаются на малых значениях выгорания и постепенно расходятся с его увеличением.

Результаты расчетов по модели Start-3 дают самые низкие значения в сравнении с остальными моделями. Для оценочных расчетов можно рекомендовать эту более консервативную схему расчета, по которой желательно подготовить соответствующую аппроксимацию.



Таким образом, аппроксимации для расчета изменения радиуса оболочки и топлива, а также расчетная формула [4-6] и данные численных расчетов [3] позволят провести анализ температурных режимов ТВЭЛ на различных стадиях выгорания.

**Список литературы:**

1. Рябинин Ю. Надёжность топлива. Обеспечение эффективности и безопасности эксплуатации топлива с позиции заказчика // РЭА. 2011. – №10. – С. 3-7.
2. Артемов В.Г., Артемова Л.М., Шемаев Ю.П. Исследование влияния выгорания топлива на теплофизические свойства ТВЭЛ в совместных нейтронно-физических и теплогидравлических моделях ВВЭР // «Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР». Сборник тезисов докладов 5-й МНТК. – Подольск, 2007.
3. Medvedev, S. Bogatyr, V. Kuznetsov, V. Lagovsky, L. Korystin. Fuel Rod Behaviour at High Burnup WWER Fuel Cycles (FSUE, VNIINM, Moscow). Proceedings of the Fourth International Conference “WWER Fuel Modeling and Experimental Support”, Bulgaria, 2003, с.354-364.
4. Кириллов П.Л., Терентьева М.И., Денискина Н.Б. Теплофизические свойства материалов ядерной техники: Учебное справочное пособие для студентов специальностей: 14.03.05 — Ядерные реакторы и энергетические установки, 14.04.04. – Атомные электрические станции и установки / Под общ. ред. проф. П.Л.Кириллова; 2-е изд. перераб. и доп. – М.: ИздАт, 2007. – 200 с.
5. Thermophysical of Materials Properties Database of Materials for Light Water Reactors and Heavy Water Reactors: Final Report of a Coordinated Research Project 1999-2005; IAEA-TECDOC-1496. – Vienna: IAEA, 2006.
6. Walker C.T., Staicu E.G., Sheindlin M. et al. On the Thermal Conductivity of UO<sub>2</sub> Fuel at a High Burn-up of around 100 MWd/kgHM // Journal of Nuclear Materials. – 2006. – Vol. 350. – P. 19-39.

**Перспектива внедрения процесса перколяции в технологии переработки оят**  
**Бондин В.В., Смирнов С.И., Коробейников А.И., Даровских П.Н., Дьяченко А.С.**  
 ФГУП «Горно-химический комбинат», Россия, г. Железногорск.  
 sage2006@sibmail.com

В 2012 году на ОАО «Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов имени академика А.А. Бочвара» (ОАО «ВНИИНМ») г. Москва было начато исследование процесса щелочной перколяции ОЯТ с целью извлечения из него таких элементов, как Мо, Тс, Cs. Данный процесс важен для технологии переработки ОЯТ в связи с тем, что Мо является основной причиной образования осадков, Тс «размазывается» по всех экстракционной цепи и мешает всему экстракционному переделу, Cs является основным носителем радиоактивности. Извлечение даже части Мо, Тс, Cs до экстракционного передела способно улучшить как технологические, так и экономические показатели переработки в целом.

Учитывая достаточно интересные результаты, полученные на модельных образцах, была поставлена задача проверки процесса перколяции на реальном ОЯТ.

Исследование проводилось на ФГУП «Горно-химический комбинат» с использованием порошка U3O8, полученного газотермической обработкой (волоксидацией) реального ОЯТ. Порошок закиси-окси на 98 % представлен частиц размером менее 38 мкм.

Состав материала представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Содержание урана и ПД в используемом порошке U3O8

Элемент	U	La	Ru	Nd	Sm	Zr	Mo	Sn	Pr	Tc
Содержание в закиси-окси, % масс.	71,4	0,14	0,13	0,25	0,27	0,35	0,37	0,27	0,64	0,068

В качестве перколяционных растворов применяли ряд щелочей (LiOH, KOH, NaOH) с концентрацией 0,1 моль/л, перекись водорода и перекисно-щелочной раствор с добавкой фторид-иона.

На первом этапе были проведены эксперименты, в которых навески волоксирированного топлива обрабатывалась дистиллированной водой, гидроокисью натрия или пероксидом водорода при температуре 250С, отношении Т:Ж 1:10, времени обработки 3 часа. После обработки

растворы анализировали на содержание Тс и Мо. Полученные результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Содержание Тс и Мо в перколирующих растворах, мг/г ОЯТ

Перколирующий раствор	Технеций		Молибден	
	Содержание в растворе, мг/г ОЯТ	Выход в раствор, %	Содержание в растворе, мг/г ОЯТ	Выход в раствор, %
Дистиллированная вода	0,16	17,2	0,25	4,8
Гидроокись натрия	0,26	27,2	0,21	4,1
Перекись водорода	0,30	52	0,40	7,7
Примечание: Начальное содержание технеция в растворе 0,95 мг/г ОЯТ, молибдена 5,2 мг/г ОЯТ				

Лучшие показатели по результатам экспериментов показаны при щелочной и перекисной обработке.

На втором этапе опробованы различные щелочные растворы и щелочно-перекисный раствор с добавкой фтор-иона. Условия проведения эксперимента были такими же, как на первом этапе. Результаты экспериментов представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Содержание Тс и Мо по продуктам, из расчета на 1 г. ОЯТ.

Перколирующий раствор	Технеций		Молибден	
	Содержание в растворе, мг/г ОЯТ	Выход в раствор, %	Содержание в растворе, мг/г ОЯТ	Выход в раствор, %
Гидроокись натрия	0,26	27,2	0,21	4,0
Гидроокись лития	0,12	12,6	0,29	5,6
Гидроокись лития	0,13	13,6	0,28	5,4
Щелчно-перекисный раствор с добавкой NaF	0,15	15,8	0,3	5,8
Примечание: Начальное содержание технеция в растворе 0,95 мг/г ОЯТ, молибдена 5,2 мг/г ОЯТ				

Результаты показывают, что обработка гидроокисью натрия дает лучший результат. Обработки гидроокисью калия и лития показали, что технеций хуже переходит в раствор, а молибден – лучше, чем при обработке гидроокисью натрия. Щелочно-перекисная обработка с добавлением фтор-иона не показала какого-либо преимущества перед другими растворами.

Исходя из полученных результатов принято решение о проведении перколяционной обработки волоксирированного ОЯТ растворами гидроокиси натрия и пероксида водорода в 2 стадии, что согласуется с рекомендациями ВНИИНМ, сделанными на основании работ на модельных образцах.

Приведенные результаты экспериментов показали невысокую эффективность перколяционного процесса по извлечению молибдена и технеция. Причинами этого могло быть нахождение значительной части Мо в ОЯТ в закрытой от перколирующего раствора форме и отсутствие активного перемешивания двухфазной системы. При проведении дальнейших экспериментов планируется оптимизировать состав перколирующего раствора посредством увеличения концентрации щелочи с 0,1 моль/л до 0,2-0,4 моль/л и пероксида водорода с 3% до 5-10%, а так же проведения интенсивного перемешивания суспензии.

#### Список литературы:

1. Волк В.И., Веселов С.Н., Арсеенков Л.В., К.Н. Двоеглазов и др. «Проведение операций газотермической обработки и перколяции. Отработка процесса выпаривания перколяционных вытяжек. Определение предельных значений кратности упаривания.» - Отчет ОАО «ВНИИНМ» инв.№ 11890, 2012. – 47с.
2. Волк В.И., Веселов С.Н., Арсеенков Л.В., «Определение возможности щелочной перколяции волоксирированного ОЯТ: этап 1» - Рекомендации по организации технологического процесса перколяции ОАО «ВНИИНМ» Учетный № 200/1821, 2013 – 15с.

### Определение эффективной температуры топлива реактора на тепловых нейтронах

Кан А.Ю., Кузьмин А. В.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск

В современной атомной энергетике наиболее популярными источниками энергии являются водо-водяные энергетические реакторы с водой под давлением (ВВЭР, PWR) и водяные кипящие реакторы (BWR). Эти реакторы работают в тепловом спектре нейтронов, вызывающих деление ядерного горючего, что и определило основную пару материалов тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов): циркониевые сплавы и диоксид урана. Стремление повысить экономическую эффективность за счет увеличения единичной мощности блока и кампании топлива постоянно приводило к поиску нового горючего, надежных материалов и конструкций тепловыделяющих сборок (ТВС).

В энергетических реакторах материалы активной зоны (а.з.) находятся при весьма высоких температурах, например, в ВВЭР температура в центре топливной таблетки из двуоксида урана может быть близка к 2000°C, поэтому даже относительно малые отклонения от номинальных режимов работы приводят к значительным абсолютным изменениям температур. Особенно велики эти изменения при переходных режимах работы реакторов. Увеличение температуры приводит к расширению материалов, из-за чего изменяются соотношения между массовыми и объемными долями компонентов реактора и увеличиваются размеры а.з. и реактора в целом. Кроме того, при этом повышаются скорости движения атомов и существенно уширяются резонансы в зависимостях сечения поглощения от энергии для тяжелых ядер. Все эти температурные эффекты вызывают изменение эффективного коэффициента размножения (или реактивности) и достаточно подробно изложены в [1-3].

Для определения степени влияния температуры на реактивность вводятся:

интегральные характеристики – температурный эффект реактивности (ТЭР)  $\rho_T$ , который для удобства разбивается на изотермический или температурный  $\rho_t$  и мощностной  $\rho_N$  эффекты реактивности;

и дифференциальные коэффициенты реактивности – изотермический  $\alpha_t = d\rho_t/dT$ , 1/°C и мощностной  $\alpha_N = d\rho_N/dN$ , 1/МВт, которые определяют надёжность и безопасность ядерного реактора.

Все эти характеристики зависят от эффективной или средней температуры  $T_{эф}$  по всему объему топлива в а.з. Их значения получают в результате сложных поэтапных тепловых и нейтронно-физических расчётов на ЭВМ [4] и последующих достаточно трудоемких нейтронно-физических измерений [5]. Методы тепло-гидравлических расчётов [6] ориентированы в основном на определение максимальных температур и тепловых потоков наиболее энергонапряжённых ТВС и последующее сравнение с допустимыми значениями, что не отвечает поставленной нами задаче.

Поэтому целью настоящей работы является формирование методики приближенной оценки  $T_{эф}$  с последующей апробацией.

Принцип расчета этих эффектов покажем на примере ВВЭР с известными массовыми и объемными характеристиками эквивалентной двухзонной макроячейки Вигнера-Зейца.

Мощностной эффект связан в основном с доплеровским уширением резонансных уровней  $^{238}\text{U}$  и определяется зависимостью эффективного резонансного интеграла от эффективной абсолютной температуры топлива. Для её определения воспользуемся следующей формулой [1]:

$$T_{эф} = T_c + 0,4 \cdot (T_{\max} - T_c),$$

где  $T_{\max}$  и  $T_c$  – температуры на оси и на поверхности топливного блока, соответственно. Очевидно, что при определении температурного эффекта эффективная температура холодного реактора условно может быть принятой температуре равной 20°C, а температура горячего реактора – средней температуре теплоносителя в а.з. ЯР.

Таким образом, для определения мощностного эффекта на любое текущее значение тепловой мощности ЯР достаточно провести тепловой расчет для эквивалентной макроячейки средней мощности с целью определения  $T_{\max}$  и  $T_{cm}$ .

Не учитывая выделения тепла в замедлителе, найдем средний по реактору поверхностный тепловой поток  $\bar{q}_F$ :

$$\bar{q}_F = \frac{Q_p}{S_{TO}}$$

Учет этого эффекта позволит выделить возможную область изменения  $\dot{Q}_{y0}$ .

Поверхность теплообмена  $S_{TO}$  определяется выражением:

$$S_{TO} = \Pi_{об} \cdot n_{твэл} \cdot H_{аз} = \Pi_{об} \cdot n_{твэл}^{TBC} \cdot N_{TBC} \cdot H_{аз},$$

где  $\dot{I}_{iá}$  – обогреваемый периметр твэла;  $n_{твэл}$  и  $n_{\dot{Q}_{y0}}^{\dot{A}\dot{N}}$  – число твэл в а.з. ЯР и в одной ТВС, соответственно.

Температуру на поверхности оболочки твэла  $T_{cm}$  найдем по формуле:

$$T_{cm} = T_f + \frac{\Delta T_f}{2} + \Delta T_\alpha,$$

где  $\dot{Q}_f = (T_1 + T_2)/2$  – средняя температура теплоносителя в зоне;  $\Delta T_f = (T_2 - T_1)$  – полный подогрев ТН в реакторе;  $\Delta T_\alpha$  – температурный напор «стенка-жидкость», определяемый формулой

$$\Delta T_\alpha = \frac{\bar{q}_F}{\alpha},$$

где  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи пучка стержней, принимаемый постоянным по высоте канала. Значения  $\alpha$  в ТВС находятся по зависимостям для разной упаковки твэлов [4].

С учётом всех термических сопротивлений значение максимума температуры топлива определяется следующим выражением:

$$T_{max} = T_f + \frac{\Delta T_f}{2} + \Delta T_\alpha + \Delta T_{об} + \Delta T_{зaz} + \Delta T_{гор},$$

где  $\Delta T_{об}$  означает температурный перепад на оболочке твэла;  $\Delta T_{зaz}$  – температурный перепад в газовом зазоре;  $\Delta T_{\dot{a}\dot{o}}$  – температурный перепад в топливном блоке.

Перепад на тонкой оболочке твэла можно представить в виде

$$\Delta T_{об}^{max} = \bar{q}_F \cdot \frac{2d_n}{d_n + d_e} \cdot \frac{\delta_{об}}{\lambda_{об}},$$

где  $2d_i/(d_i + d_a)$  – множитель, корректирующий значение потока на средний диаметр оболочки;  $\delta_{iá}$ ,  $\lambda_{iá}$  – толщина и коэффициент теплопроводности оболочки, соответственно.

Аналогично запишем выражение для перепада на газовом зазоре:

$$\Delta T_{зaz} = \bar{q}_F \cdot \frac{2d_e}{d_e + d_m} \cdot \frac{\delta_{зaz}}{\lambda_{зaz}},$$

где  $d_m$  – диаметр топливной таблетки.

Если пренебречь зависимостью профиля распределения плотности потока тепловых нейтронов, значение которого в поверхностных слоях топливного блока более высокое, и взять среднее значение энерговыделения, то получим параболический закон распределения температуры:

$$T_{гор}(r) = T_c + \frac{\bar{q}_v}{4\lambda_{гор}} \cdot (r_{гор}^2 - r^2),$$

а радиальный перепад по топливному блоку будет равен:

$$\Delta T_{гор} = T_{max} - T_c = \frac{\bar{q}_v \cdot r_{гор}^2}{4\bar{\lambda}_{гор}} = \frac{\bar{q}_l}{4\pi \cdot \bar{\lambda}_{гор}}$$

В этих зависимостях  $\bar{q}_v$  и  $\bar{q}_l$  означают средние по реактору объёмный и линейный тепловые потоки.

Следует заметить, что при проведении оценочного расчёта эффективной температуры топлива  $T_{эф}$  важную роль играют теплофизические свойства контактирующих сред, которые за последние десятилетия существенно уточнены и представлены в справочнике [7]. Кроме того сам процесс теплового расчёта носит итерационный характер.

Результаты расчетов  $T_{эф}$  по предлагаемой методике сравнивались с расчётными исследованиями изменения средней температуры топлива в процессе первых 3-х микрокампаний первого блока Волгодонской АЭС [5] и показали удовлетворительную сходимость.

#### Список литературы:

1. Основы теории и методы расчета ядерных энергетических реакторов: Учеб. пособие для вузов / Бартоломей Г.Г., Бать Г.А., Байбаков В.Д., Алтухов М.С. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 512 с.
2. Дементьев Б.А. Кинетика регулирования ядерных реакторов. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 272 с.
3. Владимиров В.И. Физика ядерных реакторов: Практические задачи по их эксплуатации. Изд. 5-е изд. перераб. и доп. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. – 480 с.
4. Справочник по теплогидравлическим расчетам (ядерные реакторы, теплообменники, парогенераторы) / Кириллов П.Л., Юрьев Ю.С., Бобков В.П. / Под общ. ред. П.Л. Кириллова.–2-е изд., перераб. и доп.–М: Энергоатомиздат, 1990. – 360 с.
5. Артемов В.Г., Артемова Л.М., Шемаев Ю.П. Исследование влияния выгорания топлива на теплофизические свойства твэла в совместных нейтронно-физических и теплогидравлических моделях ВВЭР. // «Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР». Сборник тезисов докладов 5-й МНТК. – Подольск, 2007.
6. Зенов В.М. Нейтронно-физические измерения на АЭС с ВВЭР: Учеб. пособие. –Севастополь: СНИЯЭиП, 2003 – 40 с.: ил.
7. Кириллов П.Л., Терентьева М.И., Денискина Н.Б. Теплофизические свойства материалов ядерной техники: Учебное справочное пособие для студентов специальностей: 14.03.05 – Ядерные реакторы и энергетические установки, 14.04.04. – Атомные электрические станции и установки / Под общ. ред. проф. П.Л.Кириллова; 2-е изд. перераб. и доп. – М.: ИздАт, 2007. – 200 с.

#### Процесс перевода ИРТ-Т на низкообогащенное топливо

*Минин Т.И., Чуйкина А.В.*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск  
[t-min@mail.ru](mailto:t-min@mail.ru)*

В настоящей работе был смоделирован перевод реактора ИРТ-Т с ВОУ топлива на НОУ топливо в режиме штатных перегрузок. Основная цель данного исследования – экономическая выгода проекта и сохранение рабочих параметров реактора в допустимых пределах.

Реактор ИРТ-Т является водо-водяным реактором бассейнового типа на тепловых нейтронах. Основная задача реактора – получение высокого потока нейтронов для проведения облучения образцов. Тепловая мощность реактора составляет 6 МВт. Активная зона реактора ИРТ-Т представляет собой прямоугольную плиту изготовленную из сплава алюминия марки АД-1. Активная зона расположена в бассейне реактора на глубине 6,5 м. В корпусе активной зоны имеется 56 ячеек для установки ТВС и бериллиевых блоков. Четыре центральные ячейки заняты бериллиевыми блоками, образуя ловушку нейтронов. В бериллиевых блоках располагаются вертикальные экспериментальные каналы. Так же к активной зоне подводятся горизонтальные экспериментальные каналы.

Моделирование реактора проводилось в программном комплексе TIGRIS. Программа разработана для расчетного сопровождения эксплуатации типа ИРТ МИФИ и предназначена для нейтронно-физического расчета стационарных состояний активной зоны установки с учетом выгорания топлива. В качестве модели переноса нейтронов в программе использована трехмерная групповая диффузионная модель. Библиотека четырех групповых макросечений для программы TIGRIS была подготовлена с использованием программного кода GETERA [2]. Данная программа рассчитывает гетерогенные ячейки и поля ячейки на основе метода вероятности первых столкновений.

В качестве исходной принимается загрузка перед компанией от 06.05.10, где использовались штатные ТВС с ВОУ топливом.

Основными расчетными данными, которые принимаются во внимание при эксплуатации, являются запас реактивности, характеристики органов СУЗ и распределение глубины выгорания по ТВС.

Прежде всего, необходимо было провести проверку корректности расчетной модели полученной в программе TIGRIS. Для этого были проведены расчеты реальных компаний реактора ИРТ-Г. Основным критерием являлось значение Кэфф при критическом положении стержней регулирования (рис.1).

Производилось моделирование компании реактора с последующим расчетом основных параметров: запас реактивности, длительность компании, выгорание топлива, распределение энерговыделения, плотность потока нейтронов в экспериментальных каналах. После чего была изменена конфигурация активной для того, что бы достигнуть наилучшей равномерности потока нейтронов. Также частично меняли ТВС с ВОУ топливом на ТВС с НОУ топливом. Алгоритм повторялся до полной замены всех ТВС с ВОУ топливом на НОУ топливо. Процесс перевода занял 5 компаний.

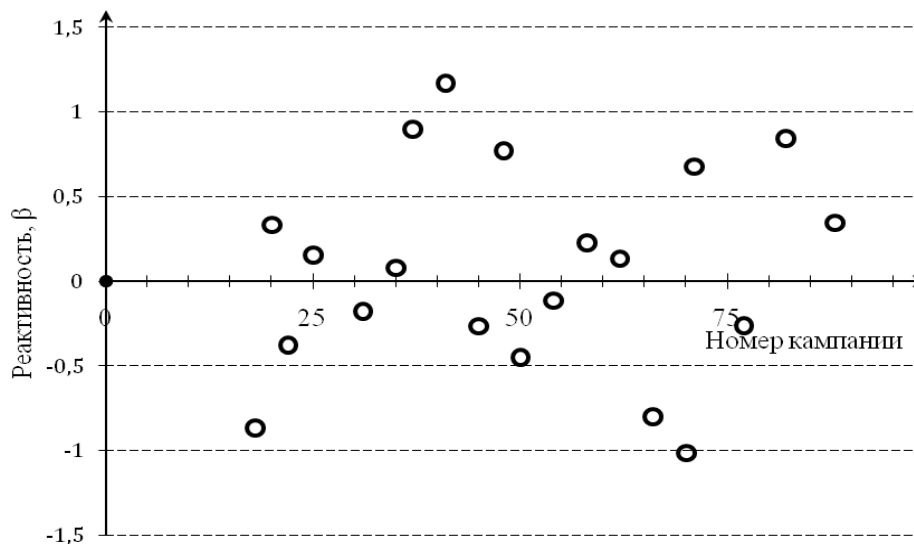


Рис. 1. Отклонение Кэфф от критического положения для реальных компаний

В каждой компании были выбраны ячейки с наибольшим энерговыделением для последующего расчета теплофизических характеристик. Расчеты выполнялись в программном комплексе ТГРК, где рассчитывались тепловые потоки и распределение температур по сечению и высоте сборки. Проведенные расчеты показали, что температура начала кипения составляет 114,5 °С.

Результаты проведенных исследований показывают, что реализация переходного режима возможна в процессе штатных перегрузок реактора без дополнительных специальных мер. При этом выполняются требования по значениям подкритичности и длительности компаний которая увеличится в среднем на 33 дня.

Результаты теплофизических расчетов позволяют отметить, что в кампаниях с НОУ топливом значения мощности и температур не превышают (и лежат немного ниже) соответствующих аналогичных параметров, полученных для ВОУ топлива.

При номинальной мощности реактора ИРТ-Т температурные режимы работы твэлов укладываются в предельные значения и соответствуют требованиям безопасности эксплуатации реактора. Максимальные температуры поверхности твэлов и их сердечников при мощности реактора 6 МВт не превышают 84 °С, а максимальная плотность теплового потока с поверхности твэла не превышает 500 кВт/м<sup>2</sup>.

Проведенные расчеты позволяют отметить, что при переводе реактора ИРТ-Т на НОУ топливо :

- уменьшаются размножающие свойства топлива (запас реактивности снижается на 1,4 бэфф);
- уменьшается эффективность системы регулирования на 2,5 бэфф;
- уменьшается плотность потока тепловых нейтронов в экспериментальных каналах на 6-7 %.

Но все эти эффекты перевешиваются тем, что снижаются затраты реактивности на производство единицы тепловой энергии, тем самым снижаются ежегодные затраты свежих сборок, и увеличивается длина кампании.

Использование сборок с топливом низкого обогащения приводит к увеличению в активной зоне реактора воспроизводящего материала – U238 и, как следствие, более интенсивной наработке вторичного топлива – Pu239.

#### Список литературы:

1. Бать Г.А., Коченов А.С., Кабанов Л.П. Исследовательские ядерные реакторы. — Москва Энергоатомиздат 1985
2. Методика и результаты теплового расчета твэлов реактора ИРТ-Т : Известия вузов. Физика. №4/2 / Наймушин А. Г., Чертков Ю. Б., Лебедев И. И. [и др.]. Томск : Изд-во ТГУ, 2013.
3. Кирилов П.Л., Богословская Г.П. Теплообмен в ядерных энерго- установках. – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 456 с.

## Секция 5 Экология и защита окружающей среды

### Интеллектуальная система комплексного мониторинга использования энергетических ресурсов в условиях территориально-рассредоточенных потребителей минерально-сырьевого комплекса

*Абрамович Б.Н., Сычев Ю.А., Федоров А.В., Зимин Р.Ю.*

*Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург, Россия  
[sychev\\_yura@mail.ru](mailto:sychev_yura@mail.ru)*

Энергетические системы на основе распределенной генерации за последние 20 лет во всем мире приобретают особую актуальность с учетом растущих требований к уровню энергосбережения и энергетической эффективности, а также к снижению энергетической составляющей в себестоимости промышленной продукции. Системы распределенной генерации на сегодняшний день являются наиболее реальной альтернативой традиционным централизованным энергетическим сетям. Распределенная генерация в первую очередь нацелена на децентрализацию существующих энергетических систем с максимальным использованием местных источников.

Технологии и принципы распределенной генерации направлены на повышение эффективности энергообеспечения промышленных и бытовых объектов с максимальным приближением источника к потребителю в условиях отсутствия или значительного удаления централизованных энергетических сетей. Предприятия минерально-сырьевого комплекса (МСК), занимающие значительный сегмент в экономике РФ, в большинстве своем расположены на территории, не охваченной централизованным электроснабжением, и имеют в своем составе ответственные с точки зрения непрерывности технологического процесса территориально-рассредоточенные потребители. Таким образом, в условиях РФ технологии и принципы распределенной генерации наиболее целесообразно внедрять именно на предприятиях МСК в условиях территориальной рассредоточенности технологических и энергетических объектов.

Основой технологии и принципа распределенной генерации является комплексное совместное использование различного типа альтернативных и возобновляемых источников энергии. В условиях МСК РФ согласно результатам многочисленных теоретических и экспериментальных исследований [1, 2] наиболее целесообразно по критериям надежности, бесперебойности, энергосбережения и энергоэффективности совместное использование энергии попутного нефтяного газа, ветра и солнца.

Для успешного функционирования энергетических систем распределенной генерации в условиях МСК РФ необходимо решение следующих актуальных научно-технических задач:

- эффективный мониторинг использования и управление расходом различных энергоресурсов;
- повышение качества электрической энергии и обеспечение электромагнитной и электромеханической совместимости электрооборудования;
- обеспечение эффективных режимов совместной работы различных альтернативных и возобновляемых источников энергии в рамках единого электротехнического комплекса;
- возможность параллельной работы местных источников с централизованной энергосистемой;
- адаптивность к характеру изменения графиков электрических нагрузок и режимов энергопотребления.

При внедрении систем распределенной генерации на основе альтернативных и возобновляемых источников энергии и независимости от централизованных энергосистем, в первую очередь необходимо наличие эффективных методов и средств по мониторингу и контролю использования энергоресурсов и уровню качества электрической энергии, для создания которых нужно объединить в единый комплекс различные функции, каждая из которых направлена на фиксирование заданного набора показателей [3].

Функция мониторинга ориентирована на решение задач контроля технического состояния, включающей в себя процессы контрольно-диагностических измерений, сбор и хранение контрольно-диагностической информации, предварительную обработку, анализ, визуализацию и представление данных для последующей обработки.



Функция управления предполагает решение задач по подготовке и формированию вариантов информационно-управляющих воздействий и решений в зависимости от параметров текущей ситуации в системе энергообеспечения.

Реализация двух указанных ключевых функций осуществляется техническими средствами и решениями относящихся к подклассу информационных технологий, ориентированных на создание и применение автоматизированных систем поддержки принятия решений на основе комплексного анализа ситуаций и прогнозирования состояния сложных динамических систем в нестационарных и неоднородных средах. В рамках указанных систем и технологий осуществляется разработка виртуальных прогностических сценариев развития сложных многомерных ситуаций в условиях комплексной динамической неопределенности, проводится ситуационный анализ текущей обстановки и т.п. В случае систем распределенной генерации на основе альтернативных и возобновляемых источников энергии сложной многомерной ситуацией является совокупность режима энергообеспечения от какого-либо одного или нескольких типов источников энергии, режима энергопотребления какой-либо одной или нескольких функциональных групп электроприемников, электромагнитная обстановка, уровня качества электрической энергии, электромагнитной и электромеханической совместимости электрооборудования, структуры рассматриваемой энергетической системы.

Исходя из этого, для создания интеллектуальной системы комплексного мониторинга и контроля использования энергоресурсов, а также уровня качества электрической энергии в условиях распределенной генерации необходимо учитывать ключевые характеристики и параметры режимов генерации и потребления энергии, а также показатели качества электрической энергии, уровень электромагнитной совместимости электрооборудования и текущую конфигурацию энергетической системы.

В условиях предприятий МСК РФ помимо указанных особенностей значимую роль играет степень ответственности потребителей по критерию устойчивости и обеспечения непрерывности технологического процесса при кратковременных перерывах энергоснабжения, что определяет требуемый уровень надежности и бесперебойности энергообеспечения от различных источников. Исходя из этого необходимо создание классификатора потребителей МСК РФ по длительно допустимому времени перерыва энергообеспечения, при котором срыва технологического процесса не произойдет, для возможности ситуационного управления совместной работой различных альтернативных и возобновляемых источников энергии и параллельной работой с централизованной энергосистемой.

Таким образом, при разработке интеллектуальной системы комплексного мониторинга, контроля использования энергоресурсов, а также уровня качества электрической энергии в условиях распределенной генерации необходимо в первую очередь учитывать степень значимости конкретных технических факторов на процесс генерации, распределения, преобразования и потребления электрической энергии от различных источников.

#### **Список литературы**

1. Абрамович Б.Н., Бельский А.А., Яковлева Э.В. Возобновляемые источники энергии для электроснабжения территориально рассредоточенных объектов горной промышленности // XXXVIII неделя науки СПбГПУ: материалы между-народной научно-практической конференции, ч. II, изд-во Политехн. ун-та, С-Пб, 2009 г, с.49-504.
2. Абрамович Б.Н., Турышева А.В. Эффективное энергоиспользование попутного нефтяного газа // XXXIX Неделя науки СПбГПУ : материалы между-народной научно-практической конференции. - Ч.II. - СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2010 г., с. 60-62.
3. Абрамович Б.Н., Сычев Ю.А., Устинов Д.А. Интеллектуальная энергосистема предприятий минерально-сырьевого комплекса // Материалы X Международной конференции «Новые идеи в науках о земле». 12-15 апреля 2011 г. Сборник докладов. Том 2. Издательство РГГРУ, Москва, 2011 г. с. 202.

#### **Акустический расчет трехкамерного глушителя шума со звукопоглощающими элементами методом конечных элементов**

**Аграфонова А.А., Смирнов С.Г.**

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Россия, г. Москва*

[agrafonova\\_anna@mail.ru](mailto:agrafonova_anna@mail.ru)

Одним из основных путей снижения шума в канале является использование

высокоэффективных глушителей шума. Наиболее распространенными являются камерные глушители, которые состоят из одной или нескольких камер, представляющих собой расширения трубопровода по его сечению. Здесь звуковые волны отражаются от противоположной стенки и, возвращаясь к началу в противофазе по отношению к прямой волне, уменьшают ее интенсивность.

Задачей данной работы было проведение оптимизации системы снижения шума газодувки. Рутс, уровень которого сильно превышал допустимые значения. В качестве системы шумозаглушения было предложено установить трехкамерный глушитель шума, несколько вариантов конструкции которого было исследовано.

Трехкамерный глушитель шума представляет собой цилиндрический корпус, ограниченный торцевыми стенками, на которых смонтированы соответственно впускной и выпускной патрубки, внутренние срезы которых размещены в узловых зонах низших мод собственных колебаний газового объема, заключенного в камере глушителя. Камеры такого глушителя, образованные перегородками внутри корпуса, соединены между собой узкими кольцевыми каналами, выполненными двумя концентрическими цилиндрами, укрепленными в перегородках.

Спектр шума энергоустановок, как правило, содержит дискретные гармонические составляющие в диапазоне частот  $100 \div 1000$  Гц, поэтому первая камера глушителя должна быть настроена на первую или более мощную гармонику. Частота гармонических составляющих шума может быть измерена или рассчитана, т.к. она кратна частоте вращающихся рабочих органов энергоустановок и количеству поршней, роторов или лопаток. Для того чтобы осуществить широкий частотный диапазон заглушения шума, без провалов, последующие камеры глушителя, образованные поперечными перегородками в его корпусе, должны отличаться по длине и не быть кратными первой камере. Акустические волны, порожденные работающей энергоустановкой, проникающие в камеры глушителя, образуют в них стоячие волны двух типов: продольные – вдоль оси глушителя, и радиальные – от центральной оси к периферии цилиндрического корпуса. Эти стоячие волны называются модами. У радиальных первой, второй и третьей мод стоячих волн узлы давления находятся, соответственно, в центре, на расстоянии  $0,68$  и  $0,789$  диаметра камеры глушителя. Для снижения радиальных резонансных мод впускной патрубков глушителя должен располагаться в центре, а кольцевые каналы, соединяющие камеры, должны иметь средний диаметр  $D_{k1}$  равный  $D \cdot 0,68$  для второй радиальной моды и  $D_{k2}$  равный  $D \cdot 0,789$  для третьей радиальной моды, где  $D$  – диаметр корпуса глушителя (рис. 1). Эти особенности конструкции описаны в патенте на полезную модель № 128246 [1].

Однако часть звуковой энергии из-за конечного размера трубок может проникать в следующую камеру и не заглушаться. В предлагаемой конструкции для захвата минимальной зоны, в которой расположен узел стоячей радиальной волны, предлагается расположение патрубка, соединяющего две соседние камеры. В двух имеющихся перегородках, разделяющих весь объем глушителя на три камеры, соединительные патрубки расположены на разных диаметрах, соответствующим различным модам колебаний.

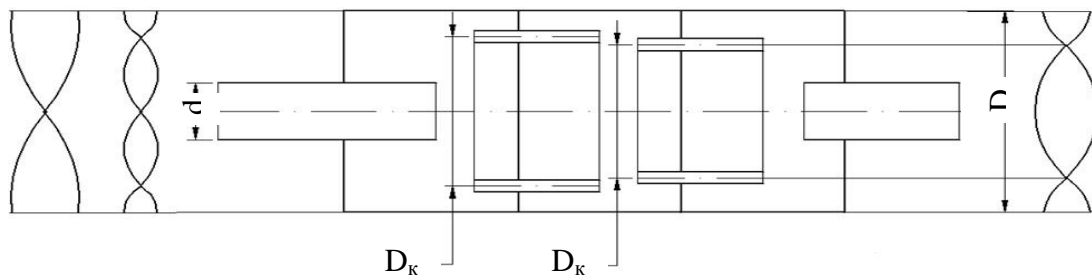


Рис. 1. Схема трехкамерного глушителя

В незаглушенном спектре присутствуют явно выраженные области с высоким значением уровня звукового давления. Таким образом, для хорошего заглушения нужно снижать шум именно на этих частотах. Для достижения этого подбирались соответствующие размеры патрубков, равные четверти длины волны, соответствующей той частоте, на которой должно наблюдаться максимальное снижение звука. В данной работе был применен расчет методом конечных элементов, так как аналитические формулы не позволяют учесть особенности конструкции рассматриваемых вариантов глушителя.

Математическое моделирование глушителей шума, как правило, проводится в рамках линейной теории акустики. При этом глушитель можно представить в виде некоторой системы с одним входом и одним выходом, рассматривая его в качестве преобразователя звуковых колебаний. Поступающая по входному патрубку на вход глушителя звуковая волна частично отражается, образуя встречную волну, а частично проходит внутрь глушителя. Внутри глушителя часть звуковой мощности поглощается, а часть излучается в окружающее пространство наружными стенками глушителя, если не предусмотрены специальные мероприятия (звукоизоляция корпуса глушителя).

В качестве основной акустической характеристики глушителя используются так называемые потери передачи звуковой энергии ( $TL$ ), представляющие собой логарифмическое отношение волны, поступающей на вход глушителя, к прошедшей в глушитель при согласованной нагрузке на его выходе. Потери передачи зависят только от свойств самого глушителя и в общем случае являются функцией частоты. Этот показатель довольно легко может быть измерен и определен расчетным путем. Поэтому эту оценку целесообразно использовать в исследовательских целях для оценки эффективности той или иной конфигурации глушителя, а также при сравнении теоретических и экспериментальных результатов с целью проверки правильности разрабатываемых расчетных схем [2,3].

Метод конечных элементов для расчета глушителей шума имеет преимущество в том, что с его помощью в принципе можно моделировать глушители очень сложной конфигурации. Основу метода составляет разбиение объема глушителя на множество малых элементарных объемов — конечных элементов. Для каждого такого элемента записывается приближенное уравнение относительно неизвестной амплитуды звукового давления. Сопрягая решения для всех конечных элементов, находят звуковые давления в каждом элементарном объеме глушителя. Число элементов, на которые разбивается глушитель, зависит от конфигурации глушителя, его размеров по отношению к длинам волн в интересующем исследователя частотном диапазоне, а, в конечном счете, от требуемой точности получаемых результатов. Другим важным моментом рассматриваемого метода является задание граничных условий. Как правило, полагают, что поверхности глушителя являются абсолютно жесткими. Для внутреннего объема глушителя задаются параметры среды. А также необходимо задать условия на входном и выходном сечениях [4].

Исследования проводились в программных комплексах ANSYS и SYSNOISE. В первом из них создавалась геометрия модели, объем которой разбивался на элементы. Стоит отметить, что разбиение вследствие большого объема было неравномерное: вблизи концов патрубков и мелких деталей конструкции размер элементов задавался мельче, основной объем камеры был разбит более крупными элементами. Затем конечно-элементная модель импортировалась в программу SYSNOISE, где назначались граничные условия и проводился непосредственно расчет распределения звукового давления в области глушителя при заданной нагрузке.

В результате расчета были определены значения звукового давления в канале до и после глушителя, по которым вычислены значения потерь передачи звуковой энергии в канале во всем рассматриваемом диапазоне частот.

В качестве исследуемых конструкций были рассчитаны четыре варианта трехкамерного глушителя, описанного выше, отличающиеся конструктивным исполнением внутренних элементов.

В первом варианте (модель 1) переток из одной камеры в другую осуществлялся через щель, образуемую двумя концентрическими цилиндрами, расположенными в соответствии с распределением узлов давления и имеющих площадь, равную площадям входной и выходной труб.

Во втором варианте (модель 2) для повышения эффективности в высокочастотной области спектра (более 1000 Гц) внешние цилиндры, образующие кольцевые щели, которые соединяют соседние камеры, выполнялись перфорированными. Полости, образованные этими перфорированными цилиндрами и корпусом глушителя заполнялись звукопоглощающим материалом (например, базальтовым волокном). Для того чтобы звуковые волны беспрепятственно проникали в звукопоглощающий материал (ЗПМ) и в нем затухали, степень перфорации цилиндра должна составлять не менее 20%, т.е. цилиндр должен быть акустически прозрачным.

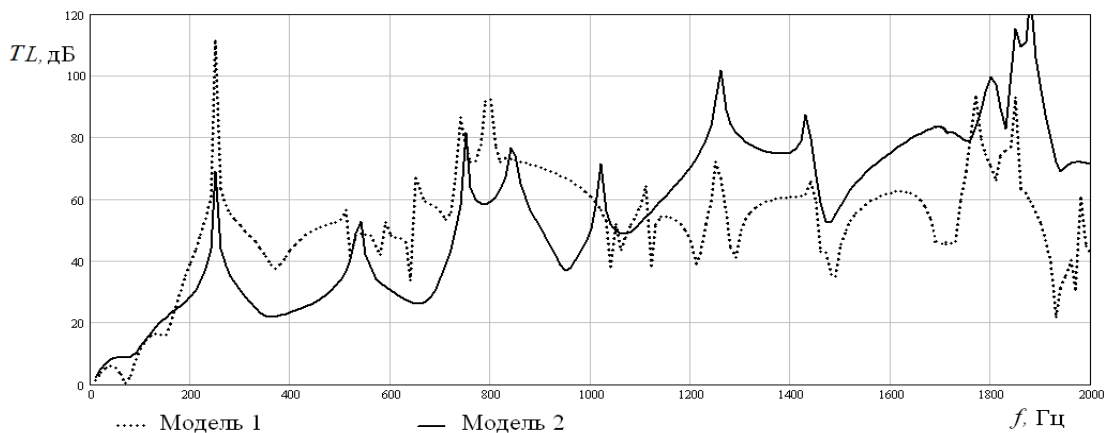


Рис. 2. Потери передачи звуковой энергии моделей 1 и 2

Расчет при помощи моделирования позволяет увидеть особенности прохождения потока в этих случаях и, как следствие, изменения в распределении звукового давления в объеме и работе глушителя. Спектры потерь передачи звуковой энергии в диапазоне при расчете от 10 до 2000 Гц с шагом 10 Гц для двух конструктивных вариантов, а также спектр требуемого снижения представлены на рис.2, по которому видно, как меняется характеристика работы глушителя при добавлении в его объем звукопоглощающего материала. На частотах выше 1000 Гц наблюдается улучшение работы, но на частотах до 1000 Гц потери передачи звуковой энергии оказываются меньше вследствие уменьшения объема резонансных камер. Поэтому было предложено добавлять ЗПМ не по всему кольцу, а только в половине его объема, вторая же половина как и в модели 1 оставалась бы резонансной. При этом были исследованы два варианта такого исполнения. В первом случае ЗПМ заполнял 1 и 3 четверти обоих колец (модель 3), во втором случае в первом кольце были заполнены 1 и 3 четверть, во втором – 2 и 4 (модель 4). Спектр потерь передачи звуковой энергии в этих случаях свыше 1200 Гц практически не отличается от показанного моделью 2, поэтому на рис. 3 представлены результаты расчета в диапазоне от 10 до 1200 Гц. Видно, что уменьшение объема ЗПМ позволило повысить эффективность работы глушителя относительно модели 2. Так же можно сказать, что спектры потерь передачи моделей 3 и 4 носят схожий характер, однако обладают своими особенностями, что в данном случае проявляется в диапазонах 750-800 и 850-1050 Гц.

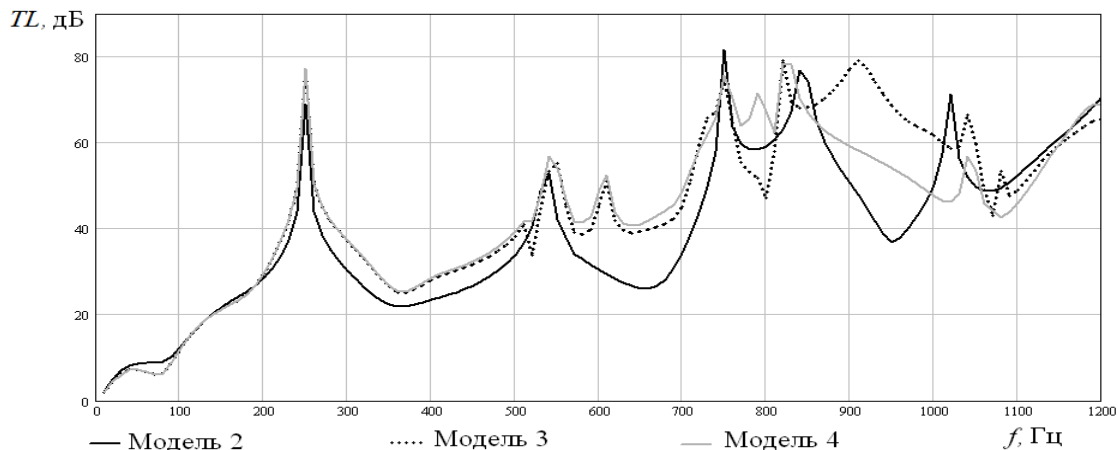


Рис. 3. Потери передачи звуковой энергии моделей 2, 3 и 4

Таким образом, можно сделать вывод о том, что расчет при помощи конечно-элементного моделирования позволяет проводить оценку работы глушителей довольно сложной конструкции, а также помогает определить влияние особенностей моделей близких в целом, но имеющих свои конструктивные отличия, аналитическое описание которых затруднительно. А потери передачи звуковой энергии, служащие критерием в качестве сравнения работы глушителей, позволяют проводить сравнение различных конструкций друг с другом.

## Список литературы

1. Глушитель шума энергетических установок: патент на полезную модель 128246 Рос. Федерация. №201218036/06; заявл. 28.12.2012; опубл. 20.05.2013 – 10 с.
2. Bilawchuk S., Fyfe K.R. Comparison and implementation of the various numerical methods used for calculating transmission loss in silencer systems // Applied Acoustics. — 2003. — V. 64, — № 9. — P. 903–916.
3. Аграфонова А.А. Оценка акустической эффективности глушителей шума // Труды XIX Школы-семинара молодых ученых и специалистов под руководством академика А.И. Леонтьева. Проблемы газодинамики и тепломассообмена в энергетических установках – 20-24 мая 2013 г. – Орехово-Зуево – стр. 323-327.
4. Комкин А.И., Аграфонова А.А. Исследование излучения шума системой выпуска автомобиля методом конечных элементов // Безопасность в техносфере. – 2010. – № 5. – С. 17–22.

## Эколого-геохимическая характеристика территории г. Павлодара

*Ажаев Г.С.<sup>1</sup>, Кадырова М.С.<sup>2</sup>**Павлодарский Государственный университет им. С. Торайгырова, Республика Казахстан, г. Павлодар**Инновационный Евразийский университет, Республика Казахстан, г. Павлодар  
[mayya.kadyrova@mail.ru](mailto:mayya.kadyrova@mail.ru)*

Поступление тяжелых металлов в окружающую среду городов существенно ухудшает экологическое состояние территорий, вызывает изменение химического состава всех природных компонентов урбоэкосистемы, отрицательно сказывается на здоровье населения. Поэтому оценка экологического состояния урбанизированных территорий является на сегодняшний день одной из актуальных проблем. Попадающие в атмосферу загрязняющие вещества выпадают на почвенно-растительный покров, как на территории города, так и на прилегающий к нему пригород, загрязняя последние многими химическими веществами, составляющими целый блок токсичных, канцерогенных и мутагенных химических элементов, включая и тяжелые металлы.

Эколого-геохимическая оценка состояния снежного покрова, территорий урбоэкосистем в условиях многолетнего техногенного загрязнения представляется важной для осознания экологического риска для населения, необходимости оздоровления городской среды, разработки стратегии рационального природопользования, а также совершенствования организации геохимического мониторинга.

Снежный покров, являясь накопителем атмосферных выпадений (в холодное время года), широко используется многими исследователями в целях определения вещественного состава загрязнителей, мощности их потока и дальности переноса. В целом, снежный покров отражает состояние воздушного бассейна той или иной территории и дает первое визуальное представление о качестве среды обитания человека. Более глубокое его изучение позволяет оценить уровень загрязнения природной среды в количественных показателях.

Целью исследований было определение тяжелых металлов и микроэлементов в твердой и водной фазах снега на территории города Павлодара Республики Казахстан.

Город Павлодар - многопрофильный промышленный центр. На период исследований в городе зарегистрировано 87 средних и крупных промышленных предприятий. К наиболее крупным промышленным предприятиям относятся алюминиевый, электролизный, машиностроительный, химический, нефтехимический, картонно-рубероидный, судостроительно-судоремонтный, инструментальный, тракторный, резинотехнический заводы, завод металлоконструкций и электромонтажных изделий и др. Кроме того, на территории города расположены 3 ТЭЦ, более 20 котельных и около 5800 единиц частного домостроения, которыми в год сжигается общей сложностью более 3,5 млн. т. угля. Следует иметь в виду и тот факт, что в черте города Павлодара находится свыше 60300 садовых участков, где сосредоточено производство овощей, картофеля, фруктово-ягодных культур.

Выбросы предприятиями загрязняющих веществ в атмосферу города Павлодара составили 131 тыс. тонн. Еще 13 тыс. тонн поступает в нее с выхлопными газами автотранспорта.

Исследования снега проводились в различных районах города Павлодара и его промышленных зонах (северной, восточной, центральной) согласно методическим рекомендациям [1].

При исследовании загрязнения окружающей среды вопрос о фоне имеет первостепенное значение. Для этих целей на удалении 80 км от города в противоположную сторону от розы ветров были отобраны пробы, место отбора которых удовлетворяет условию минимальной урбанизации прилегающей территории, что позволило авторам принять уровень накопления микроэлементов в этих пробах за региональный фон (таблица 1).

**Таблица 1.** Фоновое содержание химических элементов в водной и твердой фазах снегового покрова

Фаза	Cu	Zn	Cd	Pb
Водная, мкг/дм <sup>3</sup>	0,3	25,5	0,14	0,11
Твердая, мг/кг	20,5	48,3	0,16	23,2

Среднее содержание и пределы колебаний химических элементов в водной и твердой фазах снегового покрова на территории г. Павлодара представлены в таблице 2.

**Таблица 2.** Среднее содержание химических элементов в водной и твердой фазах снегового покрова на территории г. Павлодара

Элемент	Водная фаза мкг/дм <sup>3</sup>	Kc	Твердая фаза мг/кг	Kc
Cu	<u>14,7</u> 0,4-79,9	<u>49,0</u> 1,3-266,3	<u>137,4</u> 29,8-392,7	<u>6,8</u> 1,5-19,2
Zn	<u>95,3</u> 18,9-270,6	<u>3,7</u> 0,7-10,6	<u>264,3</u> 54,5-785,5	<u>5,6</u> 1,1-16,3
Cd	<u>3,2</u> 0,1-45,0	<u>23,1</u> 0,9-321,3	<u>2,1</u> 0,2-7,0	<u>13,2</u> 1,1-43,6
Pb	<u>4,1</u> 0,1-16,2	<u>34,1</u> 0,8-147,6	<u>102,5</u> 28,7-198,8	<u>4,5</u> 1,2-8,6

*Примечание:* Kc - коэффициент концентрации, в числителе – средняя концентрация; в знаменателе - пределы колебаний.

По результатам анализа снегового покрова установлено, что средняя концентрация химических элементов в водной фазе превышает фон в 3,7-48,9 раза, в твердой фазе - 4,1-10,2 раза.

Средняя концентрация Cu, Zn, Cd, Pb в твердой фазе снегового покрова в 2,9-15,9 раза выше их кларка в земной коре и в 4,1-10,2 раза их кларка в почве.

Уровень концентрации химических элементов в твердой и водной фазах снегового покрова различных зон г. Павлодара неодинаков (таблица 3), что отражает специфику разнопрофильных производств, их неодинаковую техногенную нагрузку, степень очистки выбросов и т.д.

**Таблица 3.** Среднее содержание химических элементов в водной и твердой фазах снегового покрова различных зон г. Павлодара

Зоны города	Cu	Zn	Cd	Pb
Северная зона (химический, нефтехимический, тракторный, картонно-рубероидный заводы, ТЭЦ-3, ОАО «Казэнергокабель» и др.)	<u>12,7</u> 161,7	<u>90,7</u> 290,1	<u>1,6</u> 2,4	<u>3,5</u> 110,7
Восточная зона (алюминиевый, электролизный, машиностроительный заводы, ТЭЦ-1, АО «Строймонтаж» и др.)	<u>24,4</u> 135,2	<u>110,9</u> 260,4	<u>7,8</u> 2,3	<u>5,8</u> 107,0
Центральная (Селитебная) зона (АО «Павлодармолоко», ТОО ФК «Ромат», АО «Энергострой»)	<u>3,8</u> 65,3	<u>79,1</u> 190,1	<u>0,5</u> 0,7	<u>1,1</u> 69,1

*Примечание:* в числителе - водная фаза, мкг/дм<sup>3</sup>; в знаменателе - твердая фаза, мг/кг.

Самые высокие концентрации химических элементов в компонентах снегового покрова характерны для восточной и северной зон города, где сосредоточены крупные промышленные предприятия и ТЭЦ. Указанные зоны характеризуются высоким уровнем запыленности (более 146,3 кг/км<sup>2</sup>·сут) и естественным притоком химических элементов с атмосферной пылью. Так, только алюминиевым и нефтехимическим заводами и тремя ТЭЦ города в атмосферу в 2011 году было выброшено 126,2 тыс. т. загрязняющих веществ (из 130,5 тыс. т. в целом по городу от стационарных источников). Наиболее выраженные концентрации химических элементов в снеговом покрове располагаются по направлениям господствующих ветров (юго-западное, юго-

восточное, западное). По мере удаления от промышленных центров концентрация элементов в снеговом покрове постепенно уменьшается.

Поскольку в городе предприятия образуют территориально-промышленные узлы, очаги загрязнения имеют не один центр, к которому приурочено максимальное содержание в снеге того или иного элемента, а несколько центров, различающихся по составу накапливающихся элементов и по интенсивности их накопления (таблицы 4-5).

**Таблица 4.** Сравнительная характеристика отдельных ареалов загрязнения водной фазы снегового покрова г. Павлодара

Ареал (зоны) города	Среднее значение $Z_c$	Формула геохимической специализации
Северная зона (химический, нефтехимический, тракторный, картонно-рубероидный заводы, ТЭЦ-3, ОАО «Казэнергокабель» и др.)	249,3	$Cu_{42,4}Pb_{31,5}Cd_{11,1}Zn_{3,6}$
Восточная зона (алюминиевый, электролизный, машиностроительный заводы, ТЭЦ-1, АО «Строймонтаж» и др.)	235,2	$Cu_{81,3}Cd_{55,7}Pb_{52,8}Zn_{4,3}$
Центральная (Селитебная) зона (АО «Павлодармолоко», ТОО ФК «Ромат», АО «Энергострой»)	53,6	$Cu_{12,8}Pb_{9,6}Cd_{3,6}Zn_{3,1}$
Общее по городу	179,4	$Cu_{45,5}Pb_{31,3}Cd_{23,5}Zn_{3,7}$

**Таблица 5.** Сравнительная характеристика отдельных ареалов загрязнения твердой фазы снегового покрова г. Павлодара

Зоны города	Среднее значение $Z_c$	Формула геохимической специализации
Северная зона (химический, нефтехимический, тракторный, картонно-рубероидный заводы, ТЭЦ-3, ОАО «Казэнергокабель» и др.)	30,6	$Cd_{14,9}Cu_{7,9}Zn_{6,0}Pb_{4,8}$
Восточная зона (алюминиевый, электролизный, машиностроительный заводы, ТЭЦ-1, АО «Строймонтаж» и др.)	27,7	$Cd_{14,1}Cu_{6,6}Zn_{5,4}Pb_{4,6}$
Центральная (Селитебная) зона (АО «Павлодармолоко», ТОО ФК «Ромат», АО «Энергострой»)	11,7	$Cd_{4,6}Zn_{3,9}Cu_{3,2}Pb_{3,0}$
Общее по городу	23,3	$Cd_{11,2}Cu_{5,9}Zn_{5,1}Pb_{4,1}$

Наиболее контрастными по содержанию химических элементов в снеговом покрове являются северная и восточная зоны вокруг крупных промышленных узлов, наименее - центральная зона, где практически отсутствуют промышленные предприятия, ТЭЦ, котельные. На основе полученных данных, на территории города выделены аномальные зоны, относящиеся к высокому ( $Z_c = 128-256$ ), среднему ( $Z_c = 64-128$ ) и низкому уровням загрязнения ( $Z_c = 32-64$ ). Зоны подробно охарактеризованы с точки зрения преобладающих источников загрязнения, геохимических спектров и адресной привязки наиболее интенсивно загрязненных участков.

Выполненные исследования показали, что среда обитания обследованных территорий характеризуется значительной нагрузкой на все виды природных деponирующих сред: почвенный покров, водные объекты, атмосферный воздух, снеговой покров. Техногенное загрязнение г. Павлодара тяжелыми металлами происходит за счет пылевых выбросов промпредприятий, деятельности металлургических, нефтехимического заводов, объектов теплоэнергетики, хранения отходов производства (шламонакопители, шлакоотвалы, золоотвалы, золошлакоотвалы), сточных вод предприятий, автотранспорта, спецтехники и др. [2]. Загрязнение снежного покрова города Павлодара носит полиметалльный характер и распределяется по территории г. Павлодара мозаично, образуя очаги в зависимости от источников выбросов.

#### Список литературы

1. Методические рекомендации по проведению полевых и лабораторных исследований почв при

- контроле загрязнения окружающей среды металлами. - М.: Метеоиздат, 1982. - 109 с.
2. Панин М.С., Гельдымамедова Э.А. Эколого-геохимическая характеристика огородных культур, выращенных на садово-огородных почвах г. Павлодара // Материалы V Международной биогехимической школы «Актуальные проблемы геохимической экологии». - Семипалатинск, 2005. - С. 388-392.

УДК 629.113.62-235; 621.85

**Правило десяти моментов холостого хода механической передачи****И.К.Александров**

Вологодский гос. техн. ун-т, Россия

[alex@mh.vstu.edu.ru](mailto:alex@mh.vstu.edu.ru)

В классических курсах «Теория машин и механизмов» и «Детали машин» [1, 2] в целях упрощения определения величины фрикционных потерь в элементах механических передач принято допущение о возможности использования в инженерных расчетах формулы, предложенной Амонтоном (1699 г.) [3]:

$$F_{TP} = f_{TP} \cdot F_H, \quad (1)$$

где  $F_H$  - нормальная сила, передаваемая на площадку контакта между взаимодействующими телами,  $H$ ;  $F_{TP}$  - сила трения – сила, возникающая при относительном перемещении тел в касательном направлении,  $H$ ;  $f_{TP}$  - коэффициент трения.

Однако реально в соответствии с законом Амонтона-Кулона (в его полной форме) [4,5,6] фрикционные силы в паре трения определяются зависимостью:

$$F_{\Phi P} = F_{TP} + F_{CC} = f_{TP} \cdot F_H + F_{CC}, \quad (2)$$

где  $F_{\Phi P}$  - суммарная фрикционная сила,  $H$ ;  $F_{CC}$  - сила молекулярного сцепления, величина которой не зависит от значения силы  $F_H$ ,  $H$ .

Допущение отсутствия сил сцепления в элементах кинематической цепи, определяемое зависимостью (1), приводит к тому, что относительные механические потери, оцениваемые КПД, как в элементах кинематической цепи (КЦ), так и в целом для всей КЦ считаются постоянными, то есть не зависят от нагрузочного режима передаточного механизма. В таком случае расчёт суммарного КПД всей КЦ сводится к очень простому выражению

$$\eta_{\Sigma} = \prod_{i=1}^n R_i, \quad (3)$$

где  $\eta_{\Sigma}$  - суммарное значение КПД кинематической цепи;  $n$  – количество элементов кинематической цепи;  $R_i$  - предельное (максимальное) значение КПД соответствующего ( $i$ -го) элемента КЦ.

Ущербность расчета КПД как произведения постоянных коэффициентов очевидна, так как при этом не учитывается влияние на КПД нагрузочных, скоростных и температурных режимов, вида и состояния смазки и других условий эксплуатации. Во многих случаях такая методика расчета энергетической эффективности механической передачи становится неприемлемой.

Важнейшим фактором, принципиально изменяющим значение КПД, является нагрузочный режим работы механизма, определяемый передаваемым крутящим моментом, который при работе любой машины меняется в широких пределах: от нуля до максимально допустимых значений. Остальные факторы: скоростной и температурный режимы и другие эксплуатационные условия зачастую можно стабилизировать в пределах номинальных значений.

Впервые ревизию упрощенной методики энергетического анализа механической передачи провел Левит Г.А. [7], который представил КПД механической трансмиссии как функцию, зависящую от нагрузочного (мощностного) режима.

Левит Г.А. предложил разделить общие потери в передаче на нагрузочные и постоянные:

$$N_C = N_H + N_X, \quad (4)$$



где  $N_C$  - суммарные потери мощности;  $N_H$  - нагрузочные (переменные) потери мощности (эти потери прямо пропорциональны реализуемой полезной мощности);  $N_X$  - постоянные потери – мощность, необходимая для совершения холостого хода механизма.

Отсюда возникла принципиальная формула КПД передачи:

$$\eta = 1 - \frac{N_H}{N} - \frac{N_X}{N}, \quad (5)$$

где  $N$  - полная мощность на приводном валу.

Справедливо полагая, что при выполнении холостого хода КПД передачи равен нулю, а близкое к максимальному стабильное значение КПД достигается только при значительной полезной нагрузке, Левит предложил для расчёта текущего значения КПД функцию вида:

$$\eta = \eta_{\Sigma} \left(1 - \frac{N_X}{N}\right). \quad (6)$$

Здесь  $\eta_{\Sigma}$  - предельное суммарное значение КПД передачи, определяемое по традиционной формуле (3).

Следует, однако, отметить, что гиперболическая зависимость (6) содержит методологическую некорректность, которая заключается в том, что использование отношения мощностей  $N_X / N$  допустимо только при условии соблюдения равной частоты вращения приводного вала как при холостом ходе, так и при нагрузочном режиме работы механизма:  $\omega_X = \omega = const$ . В противном случае формула (6) не работает.

Допустим, что привод механизма осуществляется двигателем с мягкой характеристикой (например, электродвигателем постоянного тока последовательного возбуждения), который имеет механическую характеристику, близкую к режиму постоянной мощности. В этом случае  $N_X \cong N$  и КПД, вычисленный по формуле Левита, во всем диапазоне нагрузок окажется равным нулю.

Следовательно, мы вынуждены принять условие постоянства скоростного режима и внести коррективы в формулу (6), а именно, заменить отношение мощностей отношением моментов:

$$\frac{N_X}{N} = \frac{M_{X\Sigma} \cdot \omega}{M \cdot \omega} = \frac{M_{X\Sigma}}{M},$$

при  $\omega = const$

где  $M$  - полный момент на приводном валу;  $M_{X\Sigma}$  - суммарный момент холостого всех элементов передачи, приведенный к приводному валу;  $\omega$  - заданная частота вращения приводного вала.

Итак, перепишем формулу Левита в корректном виде:

$$\eta = \eta_{\Sigma} \left(1 - \frac{M_{X\Sigma}}{M}\right). \quad (7)$$

при  $\omega = const$

На рис. 1 зависимость (7) представлена графически.

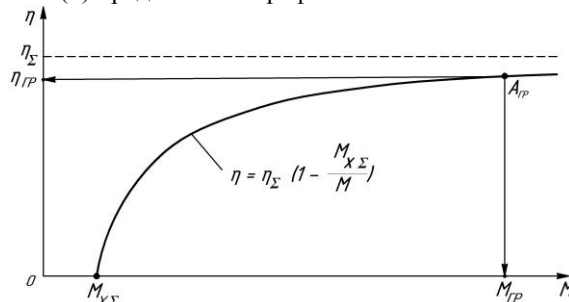


Рис. 1. Гиперболическая зависимость КПД механической передачи от величины момента на приводном валу  $\eta = f(M)$

Поскольку в формуле (7) значения  $\eta_\Sigma$  и  $M_{X\Sigma}$  - константы, то функция  $\eta = f(M)$  является гиперболой, для которой соблюдаются два очень важных для нас условия:

$$1) \lim_{M \rightarrow \infty} \left( \eta_\Sigma - \frac{\eta_\Sigma M_{X\Sigma}}{M} \right) = \eta_\Sigma ; \quad 2) \eta_\Sigma - \frac{\eta_\Sigma M_{X\Sigma}}{M} = 0$$

при  $M \rightarrow \infty$  при  $M = M_{X\Sigma}$

Для данной зависимости характерно то, что по мере увеличения нагрузочного режима КПД вначале существенно возрастает, но, достигнув некоего граничного значения (на графике точка  $A_{ГР}$ ), его величина стабилизируется. Следовательно, за пределами граничного КПД значения допустимо использовать упрощенную (традиционную) методику расчета. Определение величины граничного нагрузочного режима подробно будет рассмотрено ниже.

Предложенная Левитом математическая модель КПД требует четкого обоснования с позиции физических законов взаимодействия сил в парах трения. Иначе возникает сомнение: является ли эта функция гиперболой, а может быть имеет экспоненциальную или какую-либо иную функциональную зависимость.

Представим столь необходимое доказательство.

Абсолютно очевидно, что взаимодействие между касательной (фрикционной) и нормальной силой в кинематической паре скольжения для передачи вращательного движения также подчиняется закону Амонтона-Кулона, который изначально был установлен для пар трения на плоскости. На рис. 2 представлено это взаимодействие сил в паре трения скольжения для передачи вращательного движения по аналогии с взаимодействием этих сил на плоскости. Показано, что при выполнении вращательного движения возникающие в паре фрикционные силы уравниваются окружным усилием  $F_C$ :

$$F_C = f_{TP} \cdot F_H + F_{CЦ} . \quad (8)$$

где  $F_C = -F_{\Phi P}$  - окружное усилие в кинематической паре, затрачиваемое на преодоление суммарных фрикционных сил;  $F_H$  - нормальное усилие, действующее в кинематической паре (заметим, что усилие, передаваемое от одного элемента кинематической пары к другому, в данном случае всегда является нормальным по отношению к поверхности контактируемых тел независимо от его (усилия) направленности в вертикальной плоскости);  $F_{TP}$  - сила трения, часть фрикционных сил, определяемая пропорционально величине нормальной нагрузки на кинематическую пару;  $F_{CЦ}$  - сила сцепления, часть фрикционных сил, определяемая величиной сил молекулярного сцепления в кинематической паре.

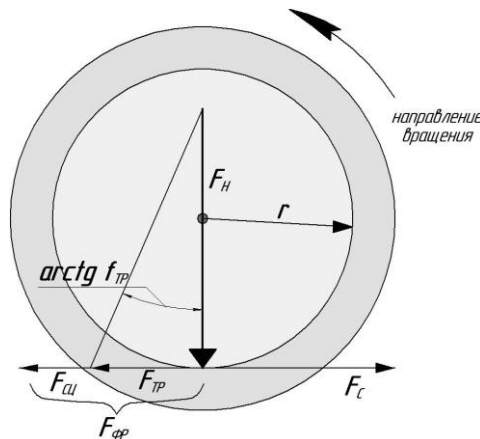


Рис. 2. Взаимодействие сил в паре трения для передачи вращательного движения

Следовательно, в данном случае мы получаем все основания перенести модель взаимодействия фрикционных сил на плоскости к условиям вращательного движения. Однако, в качестве нагрузочного показателя при передаче вращательного движения, как известно, используют крутящий момент. Для этой цели умножим правую и левую части уравнения (8) на плечо  $r$ , на котором возникают фрикционные силы, и в результате получим уравнение моментов:

$$F_C \cdot r = (f_{TP} \cdot F_H + F_{СЦ}) \cdot r = f_{TP} \cdot F_H \cdot r + F_{СЦ} \cdot r, \quad H \cdot m \quad (9)$$

Перепишем уравнение (9) в более удобной форме

$$M_C = f_{TP} \cdot M_{ПОЛ} + M_{СЦ}, \quad H \cdot m, \quad (10)$$

где  $M_C$  - момент сопротивления кинематической пары прокручиванию,  $H \cdot m$ ;  $M_{ПОЛ} = F_H \cdot r$  - полезный (нагрузочный) крутящий момент, передаваемый кинематической парой,  $H \cdot m$ ;  $M_{СЦ}$  - момент, обусловленный силами молекулярного сцепления, т.е. момент, который возникает при прокручивании кинематической пары даже при отсутствии полезного крутящего момента. Иными словами, этот показатель как раз и является моментом холостого хода кинематической пары,  $M_{СЦ} = M_X, \quad H \cdot m$ .

Итак, окончательно:

$$M_C = f_{TP} \cdot M_{ПОЛ} + M_X \quad (11)$$

Таким образом, получаем зависимость механических потерь в паре трения скольжения для передачи вращательного движения в функции от полезной нагрузки (рис. 3). Как видим, эта зависимость по форме взаимодействия между нагрузкой и фрикционными потерями аналогична закону Амонтона-Кулона.

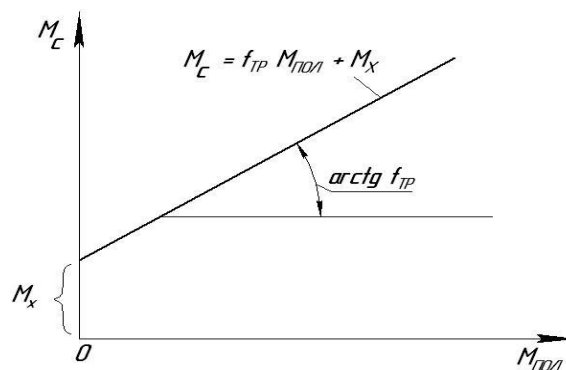


Рис. 3. Зависимость момента сопротивления пары трения для передачи вращательного движения от передаваемого полезного момента

Формула (11) имеет весьма ограниченную область использования, так как коэффициент трения характеризует энергетическое взаимодействие только в паре контактируемых тел. Для определения же потерь в элементах КЦ и, тем более, в КЦ в целом, как правило, применяют такой универсальный показатель как КПД ( $\eta$ ), который определяют отношением энергетического показателя на выходе из элемента КЦ к аналогичному энергетическому показателю на его входе. В некоторых случаях бывает удобно использовать также величину относительных механических потерь в передаче:

$$k = 1 - \eta \quad (12)$$

Между коэффициентом трения и КПД, безусловно, существует взаимосвязь.

Примем условие  $M_{ПОЛ} = M - M_C$ , где  $M$  - полный момент, передаваемый кинематической парой. Тогда, используя уравнение (11), запишем:

$$M_C = f_{TP} \cdot (M - M_C) + M_X = f_{TP}M - f_{TP}M_C + M_X,$$

$$M_C(1 + f_{TP}) = f_{TP}M + M_X.$$

В результате получаем:

$$M_C = \frac{f_{TP}}{1 + f_{TP}} \cdot M + \frac{M_X}{1 + f_{TP}}. \quad (13)$$

Упростим форму записи выражения (13)

$$M_C = k \cdot M + M_0, \quad (14)$$

здесь  $k$  - величина относительных механических потерь в передаче (см. (12));  $M_0$  - условное начальное значение момента сопротивления – ордината точки пересечения аппроксимирующей зависимости с осью ординат.

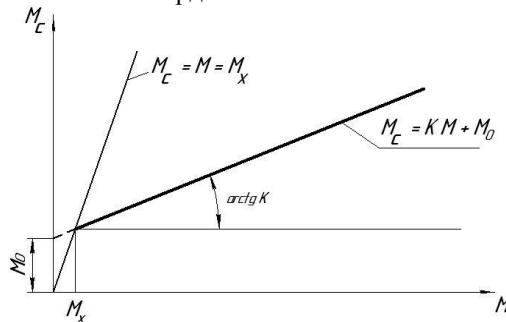


Рис. 4. Зависимость момента сопротивления пары трения для передачи вращательного движения от полного момента на приводном валу

Обратимся к графическому представлению функции  $M_C = f(M)$  (рис.4), где кроме указанной зависимости проведена прямая  $M_C = M$ , которая определяет соотношение масштабов, выбранных по осям координат (обычно принимают более крупный масштаб по оси ординат). Равенство  $M_C = M$  означает отсутствие при передаче вращения полезной нагрузки, т.е. передача работает в режиме холостого хода, а значит правомерно записать условие:

$$M_C = M = M_X. \quad (15)$$

На графике видим, что  $M_0 \neq M_X$ . Соотношение между этими величинами будет показано ниже.

Теперь представим КПД рассматриваемого элемента КЦ с учетом установленных выше зависимостей.

В соответствии с общим понятием КПД запишем:

$$\eta = \frac{N_{ПОЛ}}{N}. \quad (16)$$

Здесь  $N_{ПОЛ}$  - полезная (выходная) мощность элемента КЦ.

Преобразуем (16):

$$\eta = \frac{N - N_C}{N} = \frac{(M - M_C)\omega}{M \cdot \omega} = 1 - M_C / M.$$

Запишем последнее выражение с учетом (14):

$$\eta = 1 - \frac{kM + M_0}{M} = (1 - k) - M_0 / M = R - M_0 / M, \quad (17)$$

где  $R$  - некоторая константа, значение которой всегда меньше единицы. Определим максимальное значение КПД:

$$\lim \eta = R - M_0 / M = R \quad (18)$$

при  $M \rightarrow \infty$

То есть величина  $R$  и есть максимальное (предельное) значение КПД рассматриваемого элемента КЦ. Именно предельные значения КПД отдельных кинематических пар предлагают использовать классические курсы в качестве констант для формулы (3).

Поскольку  $R = 1 - k$ , следовательно, предельное значение КПД элемента КЦ легко может быть установлено путем аппроксимации массива экспериментальных значений зависимости  $M_C = f(M)$  функцией (14).

Теперь представим выражение КПД кинематической пары (или элемента КЦ) в более удобном виде для применения в инженерных расчетах.

КПД при условии  $M = M_X$  равен нулю:  $\eta = R - M_0 / M_X = 0$ . Откуда следует  $M_0 = M_X \cdot R$ .

Тогда, используя (17), получаем для элемента КЦ:

$$\eta = R - \frac{M_X R}{M} = R(1 - M_X / M) \quad (19)$$

По аналогии функциональная зависимость КПД для КЦ в целом будет представлена в виде:

$$\eta = \eta_\Sigma (1 - M_{X\Sigma} / M)$$

Последняя зависимость полностью совпадает с предложенным выражением (7). Таким образом, соответствие гиперболической модели КПД механической передачи законам физики считаем доказанным.

Теперь вернемся к вопросу о граничном значении КПД (рис.1). Ранее в работах [8,9,10 и др.] автором было предложено определять положение точки  $A_{ГР}$  на основе стабилизации производной (скорости изменения) функциональной зависимости  $\eta = f(M)$ . В данной статье впервые рассмотрен метод, который значительно упрощает энергетический анализ механической передачи, фактически не снижая качество результата, что способствует внедрению данного метода в инженерную практику.

Примем условие, что достоверность вычислений предельного значения КПД по формуле (3) составляет 90% (что, кстати, в большинстве случаев соответствует действительности). Таким образом, получаем величину граничного значения КПД:  $\eta_{ГР} = 0,9\eta_\Sigma$ . Далее находим значение граничного момента, при котором КПД передачи становится стабильным (см. рис. 1):

$$\begin{aligned} 0,9\eta_\Sigma &= \eta_\Sigma (1 - M_{X\Sigma} / M_{ГР}) && \implies 0,9 = 1 - M_{X\Sigma} / M_{ГР} \\ \implies 0,1 &= M_{X\Sigma} / M_{ГР} \end{aligned}$$

В результате получаем весьма примечательное соотношение:

$$M_{ГР} = 10M_{X\Sigma} \quad (20)$$

На основе зависимости (20) энергетическая оптимизация механической передачи решается очень просто. Назовем этот методический подход: «Правилом десяти моментов холостого хода».

Суть «Правила» заключается в том, что сначала экспериментально (путем прокручивания) находят величину холостого хода передачи. Затем за счет увеличения полезной нагрузки на механизм создают на приводном валу крутящий момент, десятикратно превышающий величину момента холостого хода. Соответственно, с учетом заданного скоростного режима определяют и минимально необходимую мощность приводного двигателя:

$$N_{ДВ} = M_{ГР} \cdot \omega, \quad Вт$$

Однако следует указать, что не всегда представляется возможным реализовать указанное Правило (20). Приведем примеры таких неблагоприятных ситуаций.

Отсутствие возможности увеличения нагрузки на рабочем органе из технологических условий. Например, на металлорежущих станках изменение режима обработки детали ухудшает качество продукции.

Механизм имеет тихоходный рабочий орган, который приводится в действие через трансмиссию, имеющую большое передаточное отношение. Например, механический подъемник или домкрат (и т.п.). В данном случае существенное повышение нагрузки на рабочем органе приводит к незначительному изменению крутящего момента на приводном валу. К тому же такие передачи обладают моментом холостого хода по величине сопоставимой с нагрузочным моментом. Ввиду указанных обстоятельств, граничный нагрузочный режим, как правило, оказывается недостижимым.

Ограничение возможности увеличения нагрузки на привод по прочностным показателям его конструктивных элементов.

Во всех указанных ситуациях работа механизма будет происходить в «дограничных» режимах, а, следовательно, использование при расчете гиперболической функции (7) становится обязательным.

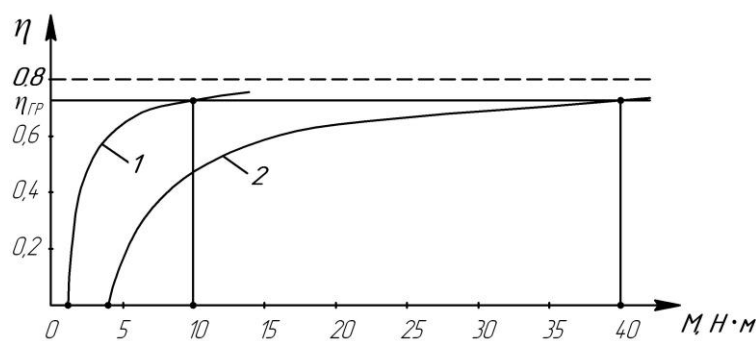


Рис. 5. Влияние момента холостого хода на энергетическую эффективность механической передачи:

1 - зависимость  $\eta = 0,8(1 - 0,1/M)$ , 2 - зависимость  $\eta = 0,8(1 - 0,4/M)$

Необходимо обратить особое внимание на высокую чувствительность функциональной зависимости КПД к изменению величины момента холостого хода.

На графике представлены зависимости изменения КПД от момента на приводном валу двух трансмиссий, имеющих одинаковое значение предельного КПД, но потери на холостой ход у первой трансмиссии в четыре раза меньше, чем у второй.

Как видим, вторая трансмиссия имеет весьма значительный диапазон нерациональных («дограничных») нагрузочных режимов и стабилизация КПД данной трансмиссии возникает при существенно большем крутящем моменте. Очевидно, что эксплуатационный КПД машины с таким передаточным механизмом будет намного ниже.

Таким образом, приходим к выводу, что любые мероприятия по уменьшению величины момента холостого хода являются весьма эффективным методом снижения фрикционных потерь в механической передаче.

Рекомендуем читателю ознакомиться с работой [11], где приведен пример энергетического расчета механизма, работающего в дограничном нагрузочном режиме

#### Список литературы

1. Артоболевский И.И. Теория машин и механизмов. - М.: Наука, 1988. - 639 с
2. Решетов Д.Н. Детали машин. - М.: Машиностроение, 1989. - 496 с.
3. Amotos V. De resistance caus ee dans mashines. Motores de l'Аkademie Royal. 1699. P. 203-222.
4. Colomb С. А. Theorie des mashines simples. Memoires de mathematique de physigue l'Аkademie des seiences. 1785. Т. 10. P. 161-331.
5. Костецкий Б.И. Трение, смазка и износ в машинах. - Киев: Техника, 1970. - 396 с.
6. Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С. Основы расчетов на трение и износ. - М.: Машиностроение, 1977. - 526с.
7. Левит Г.А. Расчет потерь на трение в приводах станков// Станки и инструмент. - 1959.- №9. - С. 3-10.
8. Александров, И.К. Энергосбережение в машинных агрегатах (основы энергетического анализа,

- пути снижения энергоёмкости машин и механизмов)/ И.К. Александров. - Вологда: Сев.-Двинское отд. инженерной академии РФ, 1993. - 192с.
9. Александров, И.К. К определению потерь в механических передачах/ И.К. Александров// Вестник машиностроения. - 1998.- №6. – С. 12-14.
  10. Александров И.К. Определение потерь в механических трансмиссиях с учетом нагрузочных режимов //Техника в сельском хозяйстве. 1999. №1. С.20-24.
  11. Александров, И.К. Энергетический расчет механического подъемника на основе гиперболической модели КПД / И.К. Александров// Вестник машиностроения. - 2013.- №5. – С. 28-31.

### Тренды ионосферных параметров над Новосибирском в концепции охлаждения и оседания средней и верхней атмосферы.

Белинская А.Ю., Грехов О.М.

Алтае-Саянский филиал Геофизической службы СО РАН, Россия, г. Новосибирск  
[anbell@ngs.ru](mailto:anbell@ngs.ru)

В научном сообществе от года к году растет интерес к проблеме долговременных трендов параметров верхней атмосферы. Увеличение количества парниковых газов вызывает общие изменения во всей толще атмосферы от тропосферы до термосферы, что находит свое отражение в трендах параметров ионосферы. В последние десятилетия сформулирована концепция охлаждения и оседания средней и верхней атмосферы [1].

Исследовать долговременные тренды параметров нейтрального газа верхней атмосферы достаточно сложно, т.к. данные по ним получены со спутников, поэтому ряды относительно короткие (несколько лет) и их практически невозможно сравнивать из-за различия орбит, аппаратуры и прочих факторов. Данные вертикального зондирования на ионосферных станциях дают обширный материал для исследования трендов ионосферных параметров и получения на их основе представлений о трендах параметров термосферы (см., например, [2-5]).

На Геофизической обсерватории «Ключи» (54,84° с.ш., 83,23° в.д.), расположенной в 10 км от Новосибирского научного центра, ионограммы для каждого часа и непрерывные ряды основных параметров ионосферы [6]. Для исследования морфологических особенностей поведения ионосферы над Новосибирском методом текущих медиан в качестве параметра, характеризующего состояние ионосферы, была выбрана критическая частота слоя F2 ( $f_oF2$ ).

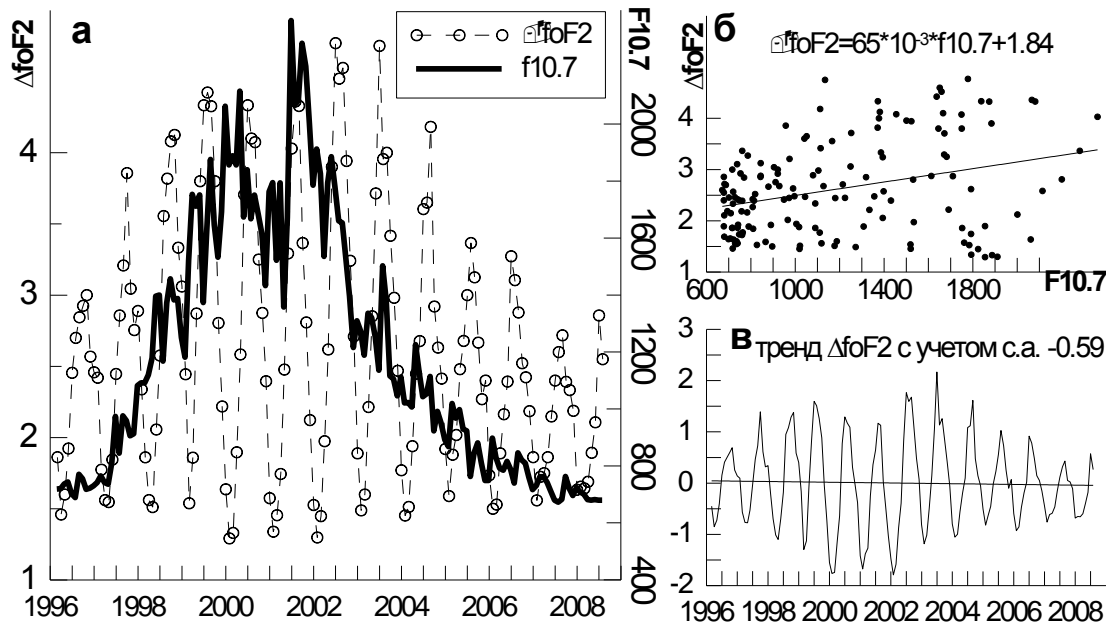


Рис.1. Зависимость  $\Delta foF2$  от уровня солнечной активности (с.а.). а) временной ход  $\Delta foF2$  и индекса с.а.  $f_{10.7}$ , б) зависимость  $\Delta foF2$  от  $f_{10.7}$ , в) временной ход отклонений  $\Delta foF2$  от аппроксимирующей прямой зависимости  $\Delta foF2$  от  $f_{10.7}$  с трендом.

Нами рассмотрен период с мая 1996 по декабрь 2008 гг., т.е. период 23-го солнечного цикла [7]. 23-й цикл солнечной активности начался в мае 1996 года и завершился в январе 2009 года. Он продолжался 12,6 года. Максимум отмечен в марте 2000 и вторичный максимум - в ноябре 2001 года, минимум – в декабре 2008 г.. В качестве индекса солнечной активности (с.а.) используется величина потока радиоизлучения на волне 10,7 см ( $f_{10.7}$ ).

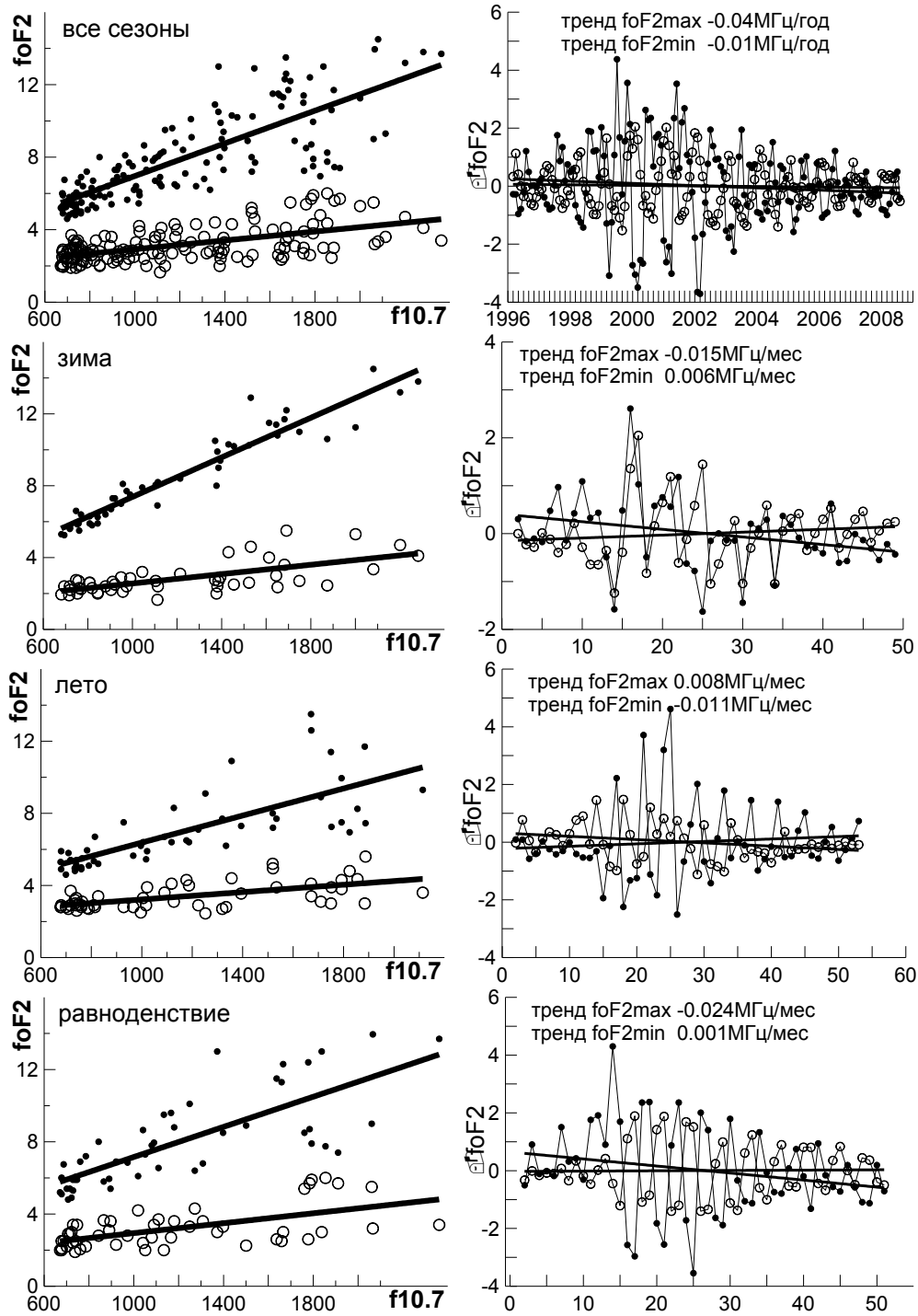


Рис.2. Зависимость максимальных и минимальных суточных медианных значений  $foF2$  от  $f_{10.7}$  и временной ход их отклонений от аппроксимирующей прямой зависимости  $foF2$  от  $f_{10.7}$  с вычисленным трендом для всего периода и по сезонам.



Для исключения влияния геомагнитной активности в вариациях критических частот слоя  $F2$  рассчитывались месячные медианы для всех часовых измерений. Используя эти медианы, были получены ряды максимальных и минимальных значений  $foF2$  для каждого дня месяца для рассматриваемого периода.

Нами выявлена зависимость безразмерной величины отношения максимального и минимального значений суточного медианного хода критической частоты слоя  $F2$  ( $\Delta foF2 = foF2_{max}/foF2_{min}$ ) от уровня солнечной активности в 23 солнечном цикле. Мы рассматривали зависимость от солнечной активности отношений величины  $foF2$  для двух моментов времени по двум причинам. Во-первых, известно, что некоторые факторы, которые могут влиять на абсолютные величины (систематическая ошибка в измерении и обработке, наличие какого-то внешнего возмущения), могут значительно уменьшиться при анализе относительных величин. Во-вторых, в разные моменты местного времени величина  $foF2$  в контролируется различными физическим процессами (ионизация солнечным ультрафиолетовым излучением, вертикальный дрейф плазмы, потоки из плазмосферы и т.д.). На рис.1 приведены вариации  $\Delta foF2$  на фоне индекса солнечной активности  $f10.7$  и полученный тренд по этим данным составил -0,59 в месяц.

Для оценки тренда максимальных и минимальных значений  $foF2$  суточного хода была проведена аналогичная процедура с разделением по сезонам (рис.2). Выяснено, что за 1996-2008 гг. в зимний период скорость возрастания максимальных значений составила 0,006 МГц/мес, а для минимальных - уменьшение составило 0,015 МГц/мес; летом: 0,0084 МГц/мес и уменьшения 0,011 МГц/мес, соответственно; для периода равноденствия уменьшения 0,024 МГц/мес и скорость возрастания 0,0011 МГц/мес, соответственно. Причем надо заметить, что максимальные и минимальные значения в разные периоды ведут себя по-разному. Так что при анализе трендов ионосферных рядов необходимо учитывать не только сезон, но местное время наблюдений, избегая среднесуточных значений.

Проведенный анализ трендов  $foF2$ , для разных моментов времени с учетом уровня солнечной активности показал, что эта зависимость противоположна для летнего и зимнего сезонов. Ионосферные наблюдения указывают на более сильные тренды параметров области  $F$ , чем предсказывается моделями. Таким образом, концепция охлаждения и оседания средней и верхней атмосферы, сформулированная в 2008 г. группой западных ученых под руководством J. Lastovicka (Чехия), находит все новые подтверждения. В то же время, этот процесс идет в термосфере гораздо быстрее, чем предсказывается даже самыми совершенными современными моделями, что заставляет пересматривать сами механизмы охлаждения, которые считались хорошо известными.

*Благодарность.* Авторы благодарят операторов ионозонда обсерватории "Ключи" за своевременную и точную обработку ионограмм.

#### Список литературы

1. Lastovicka J., Akmaev R.A., Beig G. et al. Emerging pattern of global change in the upper atmosphere and ionosphere. // Ann. Geophysical. - 2008. - V.26. - №5. - P.1255-1268.
2. Данилов А.Д., Ванина-Дарт Л.Б. Параметры ионосферного слоя  $F2$  как источник информации о трендах динамики термосферы // Геомагнетизм и аэронавигация. - 2010. - Т.50. - №2. - С.1-14.
3. Danilov A.D. Critical frequencies  $foF2$  as an indicator of trends in thermospheric dynamics // J. Atmos. Solar-Terr. Phys. - 2009. -V.71. - №13. - P.1430-1440.
4. Elias A.G. Possible Sources of Long-Term Variations in the Mid-Latitude Ionosphere // The Open Atmos. Sci. J. - 2011. - №5. - P.9-15.
5. J. Bremer Long-term trends in the ionospheric  $E$  and  $F1$  regions // Ann. Geophys. - 2008. - 26. - P.1189-1197.
6. Белинская А.Ю., Колесник С.А., Хомутов С.Ю. Создание банка данных вертикального зондирования ионосферы на Геофизической обсерватории "Ключи", позволяющие решать задачи программы "Космическая погода" // Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике, VI Сессия молодых ученых «Волновые процессы в проблеме космической погоды», Программа и тезисы докладов. Иркутск, 15-20 сентября 2003 г. Иркутск. - 2003. - С. 51.
7. <http://www.swpc.noaa.gov/SolarCycle/>

**К вопросу о параметрах электроаппаратуры судовой телефонной связи****Бутенко Ю.В., Федюк Р.С., Даниленко В.В., Миронов К.К.***Дальневосточный федеральный университет, Россия, г. Владивосток*[roman442012@gmail.com](mailto:roman442012@gmail.com)

Телефонная связь осуществляется при наличии телефонного тракта, который включает в себя: микрофон, телефон, линии связи, коммутационные устройства (телефонные станции), согласующие устройства.

Ухо человека воспринимает звуковые сигналы в диапазоне частот от 16 Гц до 20 кГц. Однако эксперименты показывают, что с достаточным качеством человек воспринимает голос, если его спектр ограничен частотой  $300 \text{ Гц} \div 3,4 \text{ кГц}$ . Это типовое значение принято в виде стандарта Международного консультационного комитета по телефонии и телеграфии (МККТТ). В ряде аппаратуры связи стоят специальные частотные фильтры, жестко регламентирующие этот частотный спектр [1].

Ухо человека воспринимает звуковые сигналы в диапазоне амплитуд  $10^{-5} \div 10^2 \text{ Па}$ , что составляет 70дБ. Этот диапазон, в котором расположены амплитуды звукового сигнала, называют динамическим диапазоном.

В голосе человека присутствуют амплитудные составляющие, амплитуда которых превышает амплитуду среднего уровня сигнала в  $10 \div 20$  раз по мощности.

Эксперимент показывает, что эти пики голосового сигнала могут быть при помощи ограничителей амплитуд обрезаны, отфильтрованы, при этом качество голосовых сигналов не изменяется. Этот метод используется во всех телефонных системах, использующих уплотнение телефонного сигнала (передача по одному проводу нескольких телефонных разговоров), а также во всех радиотелефонных каналах.

Ощущение звука человеком зависит от его интенсивности  $J \text{ [Вт/м}^2\text{]}$ , которая определяется как количество звуковой энергии в единицу времени, проходящей через единичную площадку перпендикулярную вектору скорости звуковой волны. Восприятие звука человеком подчиняется закону Вебера-Фехнера. Закон Вебера-Фехнера - эмпирический психофизиологический закон, заключающийся в том, что интенсивность ощущения пропорциональна логарифму интенсивности раздражителя. В ряде экспериментов, начиная с 1834 года, Э. Вебер показал, что новый раздражитель, чтобы отличаться по ощущениям от предыдущего, должен отличаться от исходного на величину, пропорциональную исходному раздражителю. Так, чтобы два предмета воспринимались как различные по весу, их вес должен различаться на  $1/30$ , а не на  $x$  грамм. Для различения двух источников света по яркости необходимо, чтобы их яркость отличалась на  $1/100$ , а не на  $x$  люмен и т. д.

На основе этих наблюдений Г. Фехнер в 1860 году сформулировал «основной психофизический закон», по которому сила ощущения  $P$  пропорциональна логарифму интенсивности раздражителя  $S$ :

$$p = k \ln \frac{S}{S_0}$$

где  $S$  — значение интенсивности раздражителя.  $S_0$  — нижнее граничное значение интенсивности раздражителя: если  $S < S_0$ , раздражитель совсем не ощущается.  $k$  - константа, зависящая от субъекта ощущения.

Так, люстра, в которой 8 лампочек, кажется нам настолько же ярче люстры из 4-х лампочек, насколько люстра из 4-х лампочек ярче люстры из 2-х лампочек. То есть количество лампочек должно увеличиваться в одинаковое число раз, чтобы нам казалось, что прирост яркости постоянен. И наоборот, если абсолютный прирост яркости (разница в яркости «после» и «до») постоянен, то нам будет казаться, что абсолютный прирост уменьшается по мере роста самого значения яркости. Например, если добавить одну лампочку к люстре из двух лампочек, то кажущийся прирост в яркости будет значительным. Если же добавить одну лампочку к люстре из 12 лампочек, то мы практически не заметим прироста яркости.

Можно сказать и так: отношение минимального приращения силы раздражителя, впервые вызывающего новые ощущения, к исходной величине раздражителя есть величина постоянная [2].

Закон Вебера — Фехнера можно объяснить тем, что константы скорости химических реакций, проходящих при рецептировании, нелинейно зависят от концентрации химических посредников физических раздражителей или собственно химических раздражителей. В XX веке

Стивенсом была доказана ограниченность закона Вебера-Фехнера, справедливого лишь для средних значений ощущения некоторых модальностей. В целом же зависимость носит характер общей степенной функции с различными показателями степени для каждого рода условий.

Кроме того человек обладает свойством маскирования звука, то есть при одновременном воздействии громкого и тихого звуков, громкий давит тихий.

При аттестации телефонных каналов и оценки их качества используются следующие методы [3]:

Метод мнений, то есть выбираются эксперты, которые выставляют оценку по 5-ти бальной шкале, 5 баллов – слышно всё хорошо, 1 балл – разговор возможен, но с большим напряжением слуха.

Метод артикуляции, в микрофон произносятся не имеющие смысла слоги, которые на другом конце телефонной линии прослушиваются и записываются. Если правильность более 70% - нормально.

Метод экспериментального затухания, основан на сравнении на слух испытуемого и эталонного тракта. При этом в эталонный тракт вводится затухание путём подключения «удлинителя». Типовые значения при этом: затухание по громкости менее 40 дБ; по разборчивости менее 49 дБ.

Для линии связи допустимое затухание сигнала по требованиям МККТТ составляет <28,7 дБ. Измерение затухания производят при помощи звукового генератора, имеющего симметричный, относительно земли выход или трансформатор.

Кроме того, если имеется несколько телефонных линий, то производится измерение переходного затухания между этими сигналами, которое должно быть >69,5 дБ.

#### Список литературы

1. Самодлов Т.Т. Электрооборудование и радиосвязь речных судов. – М.: Транспорт, 1988. – 303 с.
2. Миронов В.В. Электрооборудование судов: конспект лекций. –Херсон: Херсонский морской институт, 752 с
3. Фесенко В.И. Электрооборудование промысловых судов. - Л.: Судостроение, 1983, 334 с.

621.928.9

#### Анализ работы газоочистки и определение дисперсного состава уноса в зависимости от режима работы печи в производстве керамзита

*Е.Г. Зыков, В.А. Полюшко\*, А.С. Разва\*\*, М.В. Василевский\*\**

*ООО «Томсказоочистка»*

*\*Томский государственный университет*

*\*\* Томский политехнический университет*

*E-mail: vasmix40@mail.ru*

Представлены результаты обследования аспираций вращающихся печей дегидратации глины, и печей производства керамзита. Отмечено 4 режима работы, которые определяют аэродинамическую обстановку и характер сепарационных процессов. Проведен анализ причин неудовлетворительной работы пылеулавливающей аппаратуры.

При обследовании линий аспираций вращающихся печей ООО «ЗКПД ТДСК» (г.Томск), проводился отбор проб уноса печи дегидратации глины, вращающейся печи для производства керамзита, определялся фракционный состав уноса; проводились работы по повышению эффективности пылеулавливания существующих систем, представленных двумя параллельными линиями последовательно расположенных пылеуловителей: групповой циклон ЦН-15 и батарейный циклон.

На ООО «ЗКПД ТДСК» установлены вращающаяся печь дегидратации глины (D=2,8 м, длина 14 м) и вращающаяся печь для производства керамзита (D=2,5 м, длина 40 м), аэродинамически связанные друг с другом. В качестве горячего агента для нагрева гранул глины и получения керамзита используются дымовые газы, образующиеся при сжигании природного газа. Расход природного газа составляет 8 млн. м<sup>3</sup>/год, расход глины составляет 98550 т/год (11,3 т/ч), влагосодержание глины - 20-23% масс. производительность по керамзиту составляет 80 000 м<sup>3</sup>/год.

Аспирация печей обеспечивается тягодутьевыми машинами. В качестве тягодутьевых машин используются дымосос Д-15,5 750 об/мин (2 шт.).

Системы аспираций представляют собой две параллельные линии последовательно расположенных пылеуловителей: групповой циклон ЦН-15,  $D=1000$  мм (8 шт.) и батарейный циклон.

Наибольшая запыленность аспирационного воздуха наблюдается при проведении формовки гранул керамзита, поэтому все работы по отбору проб проводились во время проведения данной операции.

Отбор проб уноса пыли осуществлялся из горячих дымовых газов работающей печи, очистка которых осуществлялась в последовательно расположенных пылеуловителях: групповой циклон ЦН-15 и батарейный циклон. Схема отбора проб пыли показана на рис. 1.

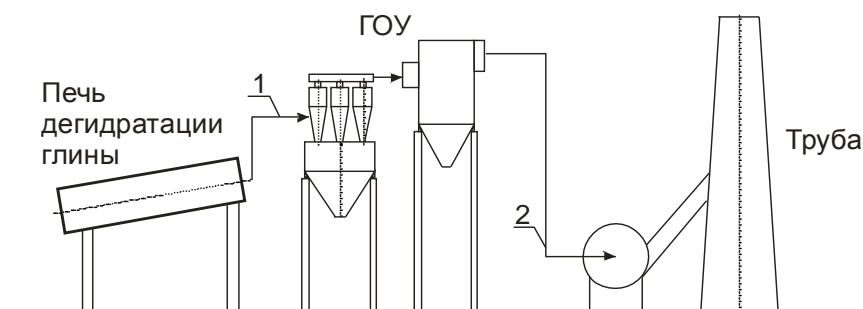


Рис. 1. Схема отбора проб пыли (1, 2 – точки отбора проб пыли входа и выхода из существующих ГОУ)

Для определения фракционного состава золы-уноса был проведен отбор проб запыленных газов способом внешней фильтрации, позволяющим определять дисперсный состав пыли: запыленные газы отбираются через штуцер пробоотборника диаметром 20 мм, с размерами входного отверстия 20x10 мм, поступают в пробоотборный циклонный аппарат (ПЦА) типа СК-ЦН-34 диаметром 90 мм, где пыль улавливается и накапливается в пылеприемном бункере [1]. Характеристика ПЦА:  $\delta_{50} = 0,75$  мкм,  $\lg \sigma_{\eta} = 0,308$ , где  $\delta_{50}$  - размер частиц пыли, улавливаемой на 50%, мкм;  $\lg \sigma_{\eta}$  - острота улавливания пыли. Неподлежащие улавливанию центробежными силами частицы поступают в рукавный фильтр. Давление/разрежение в газоходах замерялось трубкой Пито-Прандтля, величина определялась по цифровому диф. манометру Testo-512, температура газов определялась с помощью термометра электронного ТМ 902С (номер DF 5292531), масса уловленных частиц, рукавных фильтров измерялась с помощью весов электронных AND HL-400 (номер H509002074). Отбор проб производился через существующие технологические лючки на входе и выходе из пылеуловителей линии аспирации. Величину эффективности пылеулавливания определяли методом баланса масс по формуле:

$$\eta = \frac{M_{ЦА}}{M_{ЦА} + M_{\Phi}} \cdot 100,$$

где  $M_{ЦА}$  – масса пыли, уловленная ПЦА, г;  $M_{\Phi}$  - масса пыли, уловленная рукавным фильтром, г. Определение фракционной концентрации частиц на входе в ГОУ и на выходе проводилось в соответствии с методом, представленным в [1].

Режимы работы определялись степенью задействования дымососов, частотой тока, числом оборотов барабана, степенью сырватости формовки и процентным соотношением добавленной черной пыли в формовку. Режимы влияют на изменения дисперсного состава пыли, концентрации пыли в газе, скоростные характеристики потоков. В таблице 1 приведены результаты оценки эффективности работы установки.

Определение фракционного состава частиц проводилось методом лазерной дифракции в водном растворе с использованием анализатора размера частиц (АРЧ) «Mastersizer 2000». В качестве размера частицы применялся объемный диаметр – это диаметр сферы, равный объему частицы. Выборочные результаты измерений фракционного состава уловленной пыли приведены в таблице 2. В столбце 2 таблицы 2 показана весовая доля неулавливаемой в инерционных аппаратах пыли, в процентах от суммарного веса всей остальной пыли.

Таблица 1. Сводная таблица полученных результатов эффективности

№ опыта	Расход газа, м <sup>3</sup> /час	Массовая концентрация, г/м <sup>3</sup>	Эффективность ПЩА, %	Эффективность ГОУ, %	Комментарии
<b>Режим №1</b>					
1	38 965	4,16	97,76		Правая нитка, вход в ГОУ
2	36 404	2,48	97,53	100(4,16-2,48)/4,1=40	Правая нитка, выход из ГОУ
3	39 767	3,0	95,8		Левая нитка, вход в ГОУ
4	30 171	0,57	89,74	100(3-0,57)/3=81	Левая нитка, выход из ГОУ
<b>Режим №2</b>					
5	38 564	1,95	98,04		Правая нитка, вход в ГОУ
6	41 823	2,87	98,59	----	Правая нитка, выход из ГОУ
7	29 726	3,35	98,65		Левая нитка, вход в ГОУ
8	31 025	0,5	87,64	100(3,35-0,5)/3,35=85	Левая нитка, выход из ГОУ
<b>Режим №3</b>					
9	44 233	1,64	98,31		Левая нитка, вход в ГОУ, формовка
10	34 849	2,48	98,36		Левая нитка, вход в ГОУ, формовки нет
11	34 436	2,83	98,15		Правая нитка, вход в ГОУ
12	40 070	0,76	90,58	100(2,83-0,76)/2,8=73	Правая нитка, выход из ГОУ
<b>Режим №4</b>					
13	37 701	6,028	97,13		Правая нитка, вход в ГОУ
14	31 995	0,86	90,68	100(6,028-0,86)/6,028 =85,7	Правая нитка, выход из ГОУ
15	27 129	3,082	95,8		Левая нитка, вход в ГОУ
16	32 009	0,57	88,46	100(3,082-0,57)/3,082 =81,5	Левая нитка, выход из ГОУ

Таблица 2. Характеристика фракционного состава пыли

Расчетные параметры	Унос Менее 0,5	Размер частиц, мкм						Комментарии
		0,5-10	10-20	20-30	30-60	60-90	Более 90	
1	2	3	4	5	6	7	8	
<b>Режим №1</b>								
Фракционный состав уловленной ПЩА пыли, уносимой дымовыми газами из печи, $\Phi_{iBX}$ , %, до ГОУ (опыт №3)	4,2	53	24	11	10	1	1	Левая нитка, вход в ГОУ

Фракционный состав уловленной ПЩА пыли, уносимой дымовыми газами из печи, $\Phi_{i\text{ВЫЛ}}$ , %, после ГОУ (опыт №4)	10,26	75	20	3	0,66	0,66	0,66	Левая нитка, выход из ГОУ
<b>Режим №2</b>								
Фракционный состав уловленной ПЩА пыли, уносимой дымовыми газами из печи, $\Phi_{i\text{ВХ}}$ , %, до ГОУ (опыт №7)	1,35	56	23	11	8	1	1	Левая нитка, вход в ГОУ
Фракционный состав уловленной ПЩА пыли, уносимой дымовыми газами из печи, $\Phi_{i\text{ВЫЛ}}$ , %, после ГОУ (опыт №8)	12,36	75	20	3	0,66	0,66	0,66	Левая нитка, выход из ГОУ
<b>Режим №3</b>								
Фракционный состав уловленной ПЩА пыли, уносимой дымовыми газами из печи, $\Phi_{i\text{ВХ}}$ , %, до ГОУ (опыт №9)	1,69	44	30	14	10	1	1	Левая нитка, вход в ГОУ, формовка
Фракционный состав уловленной ПЩА пыли, уносимой дымовыми газами из печи, $\Phi_{i\text{ВЫЛ}}$ , %, после ГОУ (опыт №10)	1,64	40	28	16	14	1	1	Левая нитка, вход в ГОУ, формовки нет
<b>Режим №4</b>								
Фракционный состав уловленной ПЩА пыли, уносимой дымовыми газами из печи, $\Phi_{i\text{ВХ}}$ , %, до ГОУ (опыт №15)	4,2	47	25	13	13	1	1	Левая нитка, вход в ГОУ
Фракционный состав уловленной ПЩА пыли, уносимой дымовыми газами из печи, $\Phi_{i\text{ВЫЛ}}$ , %, после ГОУ (опыт №16)	11,54	76	19	3	0,66	0,66	0,66	Левая нитка, выход из ГОУ

В результате выяснено, что существенными факторами являются коагуляционные процессы. Разработано техническое решение по усовершенствованию систем обеспыливания газов  
*Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект №11-08-00059).*

#### Список литературы

1. Василевский М.В., Зыков Е.Г., Полюшко В.А., Романдин В.И., Разва А.С.. Расчет дисперсного состава пыли в потоке газа по эффективности пробоотборного циклона //Материалы восемнадцатой Всеросс. науч.-техн. конференции "Энергетика: эффективность, надежность, безопасность." – Томск: Изд-во ТПУ, – 2012. С. 170–173.

621.928.9

#### Определение напряжения трения поршня дисперсного материала разного грансостава в трубопроводе

*М.В. Василевский, В.И. Романдин\*, А.С. Разва*

*Томский политехнический университет \*Томский государственный университет*

*E-mail: [vasmix40@mail.ru](mailto:vasmix40@mail.ru)*

Проведены оценки напряжений трения поршня дисперсного материала в трубопроводе при механическом воздействии плунжера. Материал уплотняется с образованием свода и сдвигается как целое. Определены диапазоны коэффициентов бокового давления и кулоновского трения. Полученные значения бокового давления выше, чем дает расчет по известным формулам. Значения коэффициентов зависят от длины поршня, усилий на плунжере.

Необходимость перемещения материалов на значительные расстояния по трассам сложной пространственной геометрии, транспортирование с высокой производительностью при малой скорости движения дисперсной среды привело к разработке систем с импульсным перемещением материала в виде поршней [1]. Пневмотранспорт сыпучих материалов с концентрацией, близкой к насыпной, является наиболее экономичным по сравнению с другими режимами транспортирования. При больших весовых концентрациях наиболее полно используется энергия несущей среды, нет необходимости в обеспечении скорости взвешивания частиц в начале трубопровода, уменьшается скорость материала на выходе из магистрали, улучшается возможность пылеотделения. Однако дальность транспорта сплошным потоком при любом перепаде ограничивается 20 м [2]. С увеличением дальности поток становится неустойчивым: наблюдается хаотичное образование поршней сыпучего материала с последующей неравномерностью их движения относительно друг друга, их объединением, разрушением, а некоторых случаях закупоркой трубопровода. В [3] проведен анализ механизмов образования разрывов, неустойчивости в структурах перемещаемых слоев материала. Для реализации транспорта повышенной дальности необходимо выполнение ряда трудно выполнимых мероприятий, одним из которых является использование ступенчатого расширяющегося трубопровода и уменьшение скорости движения по повороту. Делается вывод, что наиболее действенным при транспортировании на значительные расстояния является использование импульсного поршневого пневмотранспорта, в котором за счет использования малого перепада давления на порции сыпучей среды распределение давления близко к линейному и растягивающие усилия незначительны [3–6].

Основным препятствием движению поршней под воздействием газового потока является сила сопротивления трения материала о стенку трубопровода. Для оценки этой силы водится гидродинамический коэффициент трения материала о стенку, зависящий от крупности частиц, плотности частиц, насыпной массы, шероховатости стенки трубы, отношения длины поршня к диаметру трубы, концентрации частиц в потоке [1, 2, 6]. Этот коэффициент определяется экспериментально на основании модельных запусков и измерений параметров потоков в экспериментальных установках и промышленных системах. В работах [4–5] определялись коэффициенты кулоновского трения различных материалов о стенку трубы в момент срабатывания поршня. Выяснено, что при возникновении перепада давления происходит уплотнение слоя тонкодисперсного материала, в материале возникают необратимые деформации в тыльной части поршня. На сдвиговые характеристики, кроме скорости нарастания давления, влияют отношение длины поршня к диаметру трубопровода, уплотнение материала (плотность укладки). Кроме того, существенное влияние оказывает давление материала на стенку за счет силы тяжести, зависящей от диаметра трубы. В [7] показано, что при перемещении поршня под воздействием на частицы фильтрующегося через поршень потока напряжения трения на стенке намного меньше, чем при перемещении поршня механическим плунжером.

С помощью устройства на рис. 1 были проведены исследования напряжения трения сыпучего о стенку при перемещении поршня плунжером. Целью исследования являлось оценка коэффициента трения при горизонтальном и вертикальном расположении трубопровода. Для предотвращения защемления частиц между телом плунжера и стенкой трубы была установлена эластичная вставка, которая создавала начальное сопротивление сдвигу.

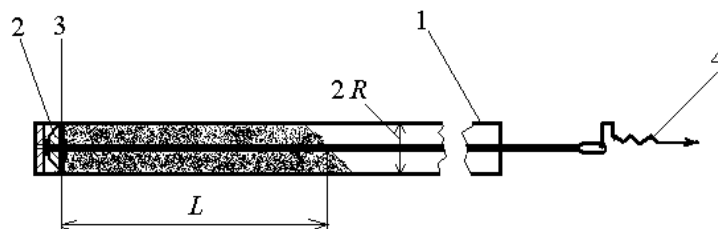


Рис. 1 Устройство для определения напряжения трения на стенке поршня сыпучего:

1–трубка  $2R=21$ мм; 2–тело плунжера; 3–эластичная вставка; 4–динамометр.

Использовались обеспыленные хорошо сыпучие материалы: порошок нержавеющей стали полученный диспергацией расплава, окатанный песок, песок обычный (речной), гранулированный полипропилен, крупа перловая шлифованная. Характеристики материалов приведены в таблице 1.

Таблица 1. Характеристики материалов

Наименование	Параметры			Примеч.
	Угол ест. откоса $\alpha^\circ$	Нас. плотность $\rho_n$ г/см <sup>3</sup>	Размер мм	
1. Нерж. сталь	22	4,71	0,1–1	сфероидные
2. Песок окатанный	33	1,78	0,1–1	сфероидные
3. Песок обычный	34	1,57	0,1–1	угловатые
4. Гранулы полипроп.	27	0,55	3–4	Цилиндры $\Phi 4, H 3$
5. Крупа перловая	32	0,82	3–6	Эллипсоиды

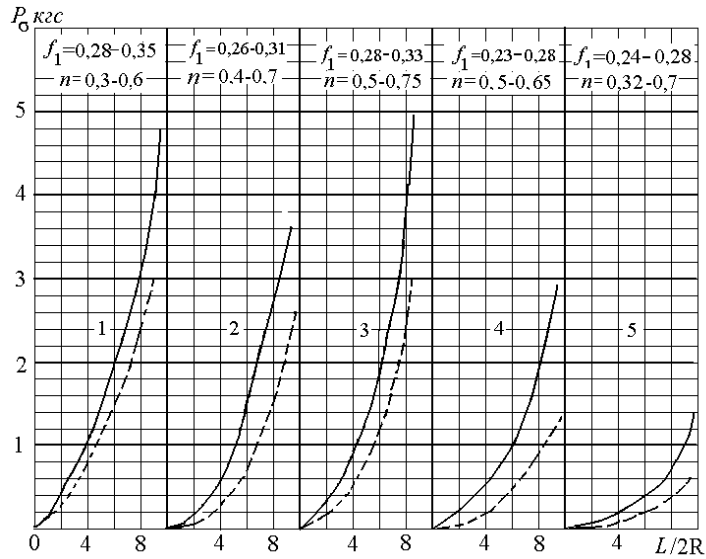


Рис. 2. Зависимость усилия плунжера за вычетом сопротивления эластичной вставки от относительной длины поршня дисперсного материала для вертикального (сплошные кривые) и горизонтального трубопровода (пунктирная кривая). Номера кривых соответствуют номерам материалов в таблице 1.

На рис. 2 приведены значения усилий на динамометре в зависимости от относительной длины поршня при вертикальном и горизонтальном расположении трубопровода.  $P_\sigma = P_d - P_\varepsilon$ , где  $P_d$  — сила сопротивления, фиксируемая в опыте динамометром,  $P_\varepsilon$  — сила сопротивления эластичной вставки с материалом высотой 1 см ( $L/2R=0,05$ ) в вертикальном трубопроводе. Воспроизводимость результатов составляла 78%.

В обобщенном законе трения [8] учитываются как внешняя нагрузка, так и адгезионное взаимодействие. Под действием нагрузки происходит сплющивание частиц и рост адгезионного взаимодействия. Для крупных частиц адгезионное взаимодействие проявляется в меньшей степени, чем для мелких. Однако с ростом давления между контактирующими телами возможно сводообразование (трубообразование), что определяет особенность напряжений трения и коэффициента трения [9, 10].

На рис.3 представлена схема сил, действующих на элемент слоя сыпучего в горизонтальном трубопроводе.

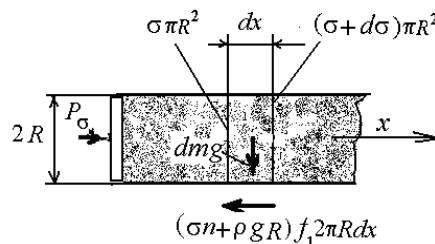


Рис. 3. Схема сил на элементе слоя при воздействии плунжера.



Уравнение равновесия элемента под воздействие сил имеет вид

$$-d\sigma - (\sigma n + \rho g R) \frac{2f_1}{R} dx = 0, \quad (1)$$

где  $\sigma$  – среднее по сечению осевое напряжение,  $\rho$  – плотность слоя в элементе,  $n$  – коэффициент бокового давления,  $R$  – радиус трубопровода,  $f_1$  – коэффициент внешнего трения. Интегрируя уравнение (1) в пределах  $\sigma=0$  и  $x=L$ , в предположении постоянства  $f_1$  и  $n$ , получим следующие выражение распределения осевых напряжений в горизонтальном трубопроводе

$$\sigma_r = \frac{\rho g R}{n} \left[ \exp \frac{2f_1 n (L-x)}{R} - 1 \right]. \quad (2)$$

Для вертикального трубопровода решение для распределения осевых напряжений известно [11]

$$\sigma_b = \frac{\rho g R}{2nf_1} \left[ \exp \frac{2f_1 n (L-x)}{R} - 1 \right] \quad (3)$$

При  $f_1 \rightarrow 0$   $\sigma_r \rightarrow 0$ ,  $\sigma_b \rightarrow \rho g (L-x)$ . Вводя средние значения напряжений по длине поршня

$$\bar{\sigma}_r = \frac{1}{L} \int_0^L \sigma_r dx, \text{ получим } \bar{\sigma}_r = \frac{\rho g R}{n} \left\{ \left[ \frac{R}{2f_1 n L} \exp \left( \frac{2f_1 n L}{R} \right) - 1 \right] - 1 \right\},$$

$$\bar{\sigma}_b = \frac{\rho g R}{2f_1 n} \left\{ \left[ \frac{R}{2f_1 n L} \exp \left( \frac{2f_1 n L}{R} \right) - 1 \right] - 1 \right\}. \quad (4)$$

Средние значений напряжений трения определяются по соотношениям

$$\bar{\tau}_r = nf_1 \frac{R}{2L} \bar{\sigma}_r, \bar{\tau}_b = nf_1 \frac{R}{2L} \bar{\sigma}_b$$

Учитывая соотношения (4), получим

$$\bar{\tau}_r / \bar{\tau}_b = 2f_1 = P_{\sigma r} / P_{\sigma b}. \quad (5)$$

Соотношение (5) позволяет, используя кривые рис.2, провести оценку коэффициента трения, а соотношения (2)–(4) – оценку значений коэффициента  $n$ .

Значения величины  $nf_1$  найдется из выражения (3) при  $x \rightarrow 0$ , значения величин  $n$ ,  $f_1$  приведены на рис. 2. Приведенные значения величин  $n$  превышает расчетные [11] значения в 1,5–2 раза.

*Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект №11–08–00059).*

#### Список литературы

1. Шваб В.А. Аэромеханические методы в технологии производства порошковой продукции. – Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1984. – 161 с.
2. Вельшоф Г. Пневматический транспорт при высокой концентрации частиц перемещаемого материала. Пер. с нем. – М.: Колос.–1964, 160 с.
3. Севастьянов А.Т. Появление и пути ликвидации поршнеобразования при пневмотранспорте плотным слоем. // Вопросы прикладной аэрогидромеханики и тепломассообмена – Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1983, с. 69–74.
4. Воронин В. Н. Исследование стабильности дисперсных потоков поршневой структуры применительно к работе пневмотранспортных установок: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук / В. Н. Воронин; Томский государственный университет. –Томск : Изд-во ТГУ, 1996. –19 с.
5. Воронин В.Н., Егоров В.М., Экспериментальное исследование особенностей трения тонкодисперсных сыпучих материалов // Вопросы аэрогидромеханики и тепломассообмена. – Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1983. С. 85–91.
6. Klinzing G.E., Risk F., Marcus R., Leung L.S. Pneumatic Conveying of Solid– Springer, 2010.
7. Василевский М.В., Романдин В.И., Зыков Е.Г. Оценки состояния дисперсной среды с несвязными частицами в установке поршневого пневмотранспорта //Материалы восемнадцатой Всеросс. науч.-техн. конференции "Энергетика: эффективность, надежность, безопасность." – Томск: Изд-во ТПУ, – 2012. С. 154–158.

8. Зимон А.Д. Адгезия пыли и порошков. – М.: Химия, 1976. – 432 с.
9. Дженике Э.В. Складирование и выпуск сыпучих материалов. Пер. с англ./ под ред. М.И. Агашкова – М.: «Мир», – 1968, 162 с.
10. Островский, Г. М. Пневматический транспорт сыпучих материалов в химической промышленности / Г. М. Островский. –Л. : Химия, 1984. 104 с.
11. Зенков Р.Л. Механика насыпных грузов. –М.: Машиностроение, 1964. – 251 с.

#### Региональная группировка температурных данных, полученных на метеостанциях Евразии

*Волков Ю.В.\*, Тартаковский В.А.\*\**

*\*Томский политехнический университет, г. Томск*

*\*\* Институт мониторинга климатических и экологических систем, г. Томск*

[yvvolkov@tpu.ru](mailto:yvvolkov@tpu.ru), [trtk@list.ru](mailto:trtk@list.ru)

Основным источником энергии, обуславливающим природно-климатические процессы на Земле, является Солнце. Энергия поступает в виде солнечной радиации несущей свет и тепло, в разных диапазонах длин волн. Прямое и рассеянное излучение поглощается поверхностью Земли, которая нагревается и сама становится источником тепла. С учетом географической широты, самое большое количество тепла получают нижние слои атмосферы, непосредственно прилегающие к земной поверхности; они и нагреваются до наиболее высоких температур. Таким образом, земная радиация определяет температурный режим и соответствующие ему циркуляции в атмосфере. Температура является первичным фактором формирования погоды и климата.

В данной работе проведено исследование рядов среднемесячной температуры, полученных за 55 лет на 333 метеостанциях, расположенных на территории Евразии. Цель исследования состоит в определении региональных особенностей изменений температуры.

Среднемесячные изменения температуры за исследуемый период, формируют колебательный процесс с квазипериодом в один год. Для характеристики погоды представляют интерес температурные изменения, отклоняющиеся от годового цикла. Однако их непротиворечивое выделение затруднено.

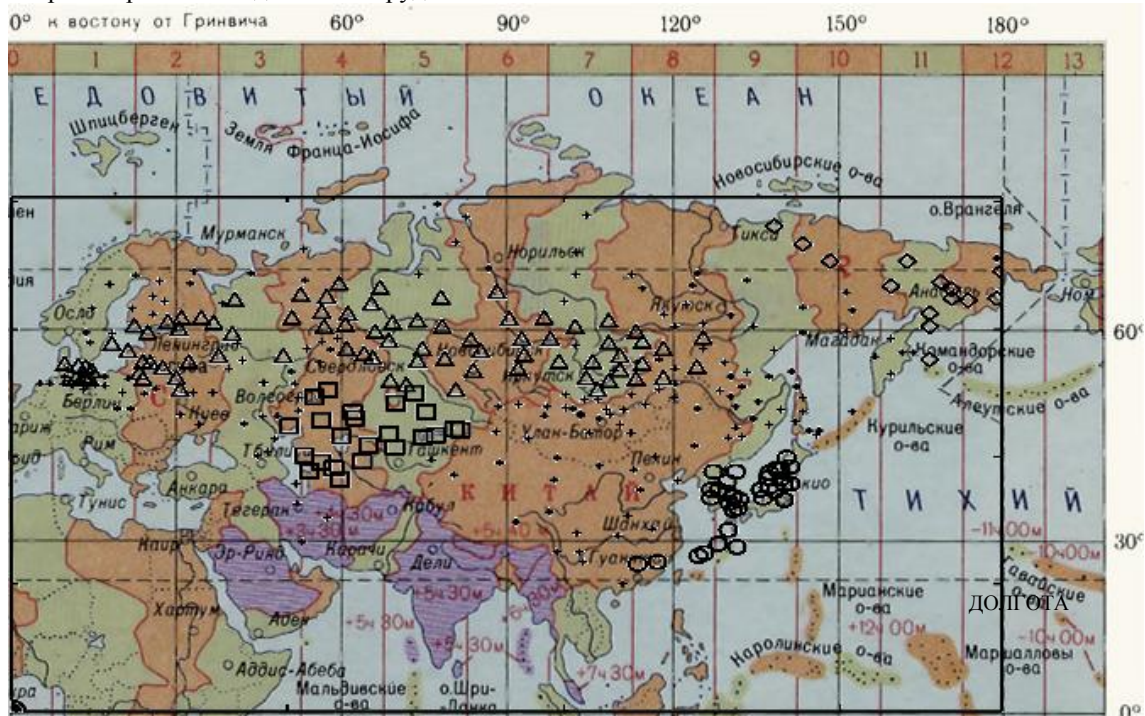


Рисунок 1. Карта расположения групп станций:

«геометрические фигуры» - группы станций, имеющих высокую взаимную корреляцию, «крест» - станций не вошедшие в группы.

Как оказалось, частотный спектр температурного колебательного процесса является узкополосным и для большинства метеостанций имеет одну моду, что позволило использовать условия причинности и ввести фазу колебания, применяя теорию аналитического сигнала [1-3]. Годовая составляющая фазы представляет собой линейную функцию, она удалялась из фазы методом наименьших квадратов на интервале 55 лет. Оставшиеся флуктуации фазы позволяют непротиворечиво исследовать их согласованное поведение или синхронность, применяя в виде меры этой характеристики коэффициент корреляции по Пирсону.

Был разработан новый алгоритм, по которому вначале вычислялся попарный коэффициент корреляции для всех сочетаний температурных рядов. Для каждого ряда формировалась группа из тех температурных рядов, которые имели с формирующим группу рядом коэффициенты корреляции выше заданного уровня. Затем для каждой группы рядов вычислялась среднеарифметическая оценка типовой фазы первого уровня. Эти процедуры включались в итерационный процесс, в котором входными данными были типовые фазы предыдущего уровня, а выходными – типовые фазы следующего уровня для каждого температурного ряда и, соответственно, для каждой метеостанции.

Обнаружено, что обозначенный итерационный процесс был сходящимся для используемых температурных рядов. В результате сформировались несколько групп станций, и для каждой группы была вычислена типовая фаза – модель фазовых флуктуаций для данной группы. При этом ряды в каждой группе имели высокую корреляцию с типовой фазой своей группы и небольшую с типовыми фазами других групп.

Оказалось, что выделенные группы располагаются достаточно компактно по территории, что можно объяснить наличием определенных климатических зон. Характерно, что погодные изменения в среднемесячном варианте синхронны внутри этих зон.

#### Список литературы

1. Вакман Д.Е., Вайнштейн Л.А. Амплитуда, фазы частота - основные понятия теории колебаний // Успехи физических наук. 1977. 123. Вып.4. С.657.
2. Vakman D. On the analytic signal, the Teager-Kaiser energy algorithm, and other methods for defining amplitude and frequency // IEEE Trans. Signal processing. 1996. 44. № 4. P.791.
3. Cohen L. Loughlin P. Vakman D. On an ambiguity in the definition of the amplitude and phase of a signal // Signal Processing. 1999. 79. P.301.

#### Интенсификация процессов биологического окисления углеводородов, загрязняющих почвы западно-сибирского региона

**Бочкарева Ю.В., Галанова С.О.**

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск  
[zlidn@yandex.ru](mailto:zlidn@yandex.ru)*

В статье представлены результаты исследования возможности ускорения процессов биодegradации нефтепродуктов в почвах Западно-Сибирского региона путем внесения подкормок, стимулирующих естественную микрофлору, увеличивающих численность и активность бактерий-деструкторов нефти. При моделировании экспериментов фактический уровень нефтяного загрязнения почвы составил 8,42 % и 5,7 % (определение исходного загрязнения осуществлялось в опытной емкости на аппарате Сокслета). Эксперименты проводились в соответствии с официальными российскими методиками для определения суммарного содержания нефтепродуктов в почве, донных осадках и бытовых отходах [1, 2, 3].

Первый эксперимент проводился с контрольной (чистая почва) и опытной (загрязненная нефтью на 10 %) емкостью в течение 60 суток. Осуществлялся ИК-спектрометрический анализ исходного загрязнения в опытной емкости в начале эксперимента (расчет спектральных коэффициентов), хроматографический анализ, посев проб почвы на МПА (мясо-пептонный агар) в чашки Петри на протяжении всего эксперимента, определение динамики численности микроорганизмов в чистой и загрязненной почве на протяжении всего эксперимента, определение изменения каталазной, дегидрогеназной активности в чистой и загрязненной почве, определение загрязнения на аппарате Сокслета после 60 суток биодegradации в опытной емкости. Затем проводился ИК-спектрометрический анализ, хроматографический анализ после биодеструкции в опытной емкости.

Второй эксперимент длился в течение 30 суток (три емкости: контрольная (чистая почва), опытная первая (загрязненная нефтью на 5 % без внесения подкормки), опытная вторая (загрязненная нефтью на 5 % с подкормкой)). Осуществлялось определение исходного загрязнения в опытных емкостях на аппарате Сокслета, ИК-спектрометрический, хроматографический анализ исходного загрязнения в опытных емкостях в начале эксперимента, посев проб почвы на МПА, КАА (крахмало-аммиачный агар), среду Чапека в чашки Петри на протяжении всего эксперимента, внесение стимулирующего питательного раствора на 4 сутки эксперимента во вторую опытную емкость, определение динамики численностимикроорганизмов в чистой и загрязненной почве (без внесения подкормки и с внесением подкормки) на протяжении всего эксперимента, определение изменения каталазной, дегидрогеназной активности в чистой и загрязненной почве на протяжении всего эксперимента, определение загрязнения на аппарате Сокслета после 30 суток биодеструкции в первой и второй опытной емкости, ИК-спектрометрический, хроматографический анализ после биодеструкции в первой и второй опытной емкости.

Для поддержания роста и развития микроорганизмов при проведении второго эксперимента на 4-е сутки эксперимента только во вторые опытные образцы внесли 10 мл стимулирующей минеральной подкормки: 5 % раствор композиции ПАВ, содержащей азотистые компоненты в концентрации 4,3 %, фосфаты ( $K_2HPO_4$ ) – 0,2 %, соли магния ( $MgSO_4$ ) – 0,1 % и 1 мл/л раствора микроэлементов по Хогланду[4].

Таблица 1. Динамика численности микроорганизмов в почве, загрязненной нефтью на 8,42 %

Сутки	Численность микроорганизмов, тыс.клет/г	
	чистая почва (контроль)	загрязненная почва (опыт)
1	2,1	2,3
7	16,3	23,7
9	20,4	64,0
11	440	408
14	2000	5120
17	4000	7000
25	2700	3900
45	81	121
52	4,5	6,6
59	0,9	2,7

В процессе биодеструкции исследовали динамику численности микроорганизмов в образцах почвы. При загрязнении почвы 8,42 % максимальное увеличение численности в опытных емкостях с нефтезагрязненной почвой от 0,023 до 7 млнклет/г отмечено на 11-е сутки культивирования. В контрольной емкости с чистой почвой максимальная численность микроорганизмов не превышала 4 млнклет/г. Увеличение численности нефтезагрязненной почвы объясняется ростом углеводородокисляющей группы микроорганизмов, утилизирующей нефть в качестве источника энергии и питания.

При загрязнении почвы в концентрации 5,7 % максимальная численность микроорганизмов с внесением подкормки на 15-е сутки культивирования составила – 54400 млнклет/г, в опытной емкости без подкормки – 2500 млн клет/г, в контрольной емкости с чистой почвой – 1600 млн клет/г. При загрязнении почвы в концентрации до 5,7 % нефть не угнетает жизнедеятельность микрофлоры, численность которой увеличивается за счет углеводородокисляющих микроорганизмов.

Ферментативная каталазная и дегидрогеназная активность при увеличении численности микроорганизмов возрастает, что положительно влияет на глубину процессов биодеструкции[5, 6]. При увеличении каталазной активности в 3 раза, а дегидрогеназной в 2,5 раза уровень загрязнения почвы нефтью снижается на 55 % в первом эксперименте. Во втором эксперименте он снижается на 44,4 % при увеличении каталазной и дегидрогеназной активности в 8 раз.

Изменения, полученные в результате ИК-спектрометрического и хроматографического анализов, свидетельствуют об ускорении деструктивных процессов при накоплении численности микроорганизмов и увеличении их ферментативной активности.

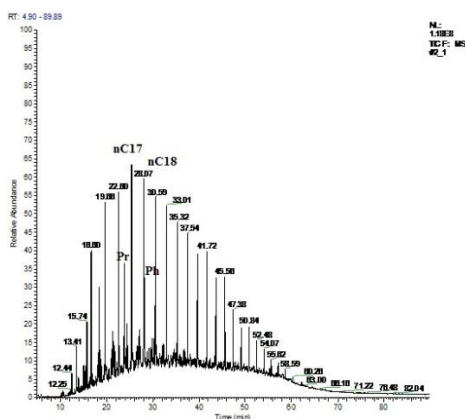


Рис. 1. Хроматограмма нефти, загрязняющей почву в концентрации 5,7% после 30 суток биодegradации почвенной микрофлорой без внесения подкормки.

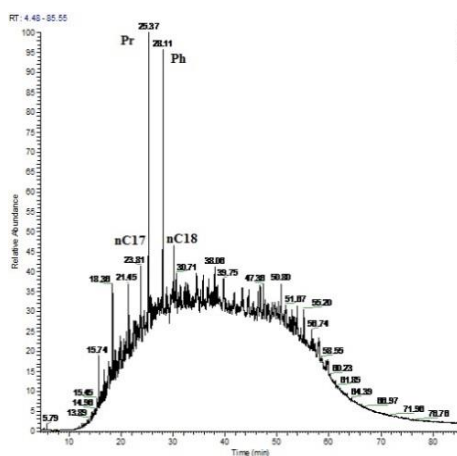


Рис. 2. Хроматограмма нефти, загрязняющей почву в концентрации 5,7% после 30 суток биодegradации стимулированной почвенной микрофлорой.

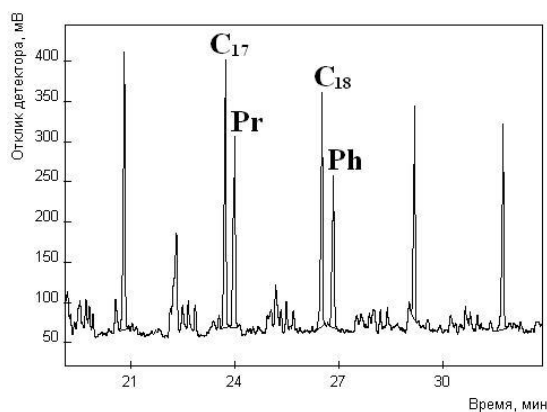


Рис. 3. Фрагмент хроматограммы нефти, загрязняющей почву в концентрации 8,42% после 30 суток биодegradации почвенной микрофлорой.

Таким образом, в условиях эксперимента внесение стимулирующих подкормок приводит к существенному росту бактериальной почвенной микрофлоры и увеличению ее ферментативной углеводородокисляющей активности по сравнению с контрольными образцами почвы без внесения подкормок. Кроме того, величины спектральных коэффициентов, рассчитанные по данным ИК-спектрометрического анализа биодegradированной нефти, показывают, что увеличение времени биодеструкции до 60 суток положительно влияет на протекание процессов окисления углеводородов нефти в почве.

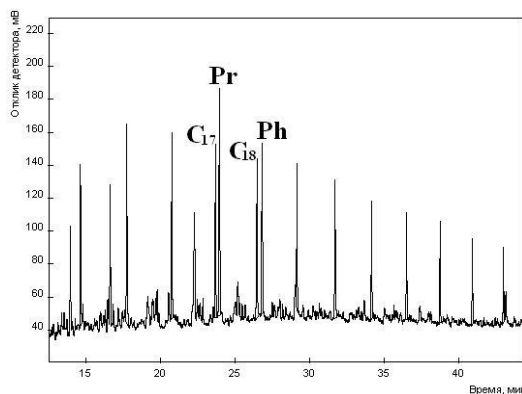


Рис. 3.5. Фрагмент хроматограммы нефти, загрязняющей почву в концентрации 8,42% после 60 суток биодegradации почвенной микрофлорой.

При загрязнении почвы нефтью в объеме 5-10 % для интенсификации процесса биологического окисления углеводородов в почве рекомендуется на 4-е сутки с момента загрязнения вносить стимулирующую минеральную подкормку следующего состава: 5 % раствор композиции ПАВ, содержащей азотистые компоненты в концентрации 4,3 %, фосфаты ( $K_2HPO_4$ ) – 0,2 %, соли магния ( $MgSO_4$ ) – 0,1 % и 1 мл/л раствора микроэлементов по Хогланду.

#### Список литературы

1. Другов Ю.С. Газохроматографическая идентификация загрязнений воздуха, воды, почвы и биосред: Практическое руководство. / Ю.С. Другов, И.Г. Зеневич, А.А.Родин. – 2-е изд., перераб. И допол. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2005. – 752 с.
2. Другов Ю.С., Родин А.А., Кашмет В.В. Пробоподготовка в экологическом анализе. – Издание второе дополненное и исправленное. М.: Изд-во Лаб-Пресс, 2005. – 756 с.
3. Другов Ю.С., Родин А.А. Мониторинг органических загрязнений природной среды. – СПб.: Наука, 2004. – 808 с.
4. Романенко В.И., Кузнецов С.И. Экология микроорганизмов пресных водоемов. Лабораторное руководство. – Л.: Наука, 1974. – 194 с.
5. Звягинцев Д.Г. Методы почвенной микробиологии и биохимии / Д.Г. Звягинцев. М.: Изд-во МГУ, 1991. – 231с.
6. Щербак Т.А. Ферментативная активность почв и трансформация органического вещества (в естественных и искусственных фитоценозах). – Мн.: Наука и техника, 1983. – 222 с.

#### Защита нефтепроводов на подводных переходах

*Герасимов А.И.*

*Институт проблем нефти и газа СО РАН, Россия, г. Якутск*

[gerasimov2509@rambler.ru](mailto:gerasimov2509@rambler.ru)

Наибольшую потенциальную опасность в результате аварийных разливов нефти представляют нефтепроводы, пролегающие по дну рек из-за распространения нефтяного пятна течением рек, вдоль которых расположено большинство населенных пунктов. Например, нефтепровод Восточная Сибирь – Тихий океан (ВСТО-1) проходит свыше 100 водных пересечений по территории республики Саха (Якутия), среди которых 19 рек имеют важное жизнеобеспечивающее значение для жителей республики [1]. На сегодняшний день основным средством локализации нефтяного разлива на водных акваториях являются боновые заграждения, направленные на ликвидацию и локализацию нефтяного пятна. В то же время под воздействием ветра и течения образуется нефтяная эмульсия, проникающая в толщу воды до глубины 5 – 15 м [2], которая будет образовываться даже под локализованным нефтяным пятном постоянно, и, уносимая течением реки, будет загрязнять уже не только поверхность, а огромный объем воды большинства рек России до дна на значительное расстояние. В связи с этим Институтом проблем нефти и газа СО РАН для борьбы с аварийным разливом нефти на подводных нефтепроводах разработан ряд способов [3 – 6], направленный на превентивную защиту водных ресурсов. Однако, все эти способы, предотвращающие проникновение аварийной нефти в воду, могут быть легко повреждены во время весеннего ледохода, вплоть до повреждения самих нефтепроводов,

пролегающих по дну рек. Весною 2013 г для предотвращения повреждения магистрального нефтепровода ВСТО-1 на подводном переходе через реку Лена, с целью быстрого разрушения ледяного покрова, распилили 2/3 толщины льда [7]. При попадании талых вод в места распилов при ночных отрицательных температурах воздуха распиленный лед снова становится монолитным, сведя на нет работу, направленную на разрушение целостности ледяного покрова. Для ослабления прочности ледяного покрова наиболее эффективным, на наш взгляд, является радиационный метод, основанный на усилении поглощающей способности льда при нанесении на поверхность льда зачерняющих материалов. Солнечная энергия растапливает лед в межкристаллических прослойках, превращая монолитный лед в «рыхлый» рассыпчатый лед, внутри которого талые воды не проникают. Для ускорения превращения монолитного льда в ослабленный «рыхлый» лед предлагается использовать ледяные фигуры, собирающие солнечные лучи и расположенные на поверхности очищенного от снега ледяного покрова. Такие фигуры в виде линз, усеченных конусов, полуцилиндров можно создать на месте, замораживая воду в соответствующих формах. Было бы проще всего сделать такие фигуры на поверхности самого льда в виде лунок или выемок, заполненных прозрачным раствором экологически не вредных солей другим чем лед коэффициентом преломления [8]. За счет усиления солнечной радиации путем фокусирования солнечных лучей с помощью ледяных объёмных линз можно ускорить разрушение льда без распиловки и использования искусственных источников энергии на местах пролегания нефтепроводов по дну рек для предотвращения повреждения подводных коммуникаций. За зиму реки мелеют, в связи с этим во время весеннего ледохода возникает угроза разрушения нефтепроводов, пролегающих по дну рек. В таких случаях создают искусственный затор для поднятия уровня воды на местах пролегания нефтепроводов для беспрепятственного прохождения ледохода. На небольших реках такой искусственный затор льда во время вскрытия можно создать натяжением уложенного заранее по дну реки троса [9]. Одним из эффективных методов управления скоростью паводковой воды, и следовательно уровнем воды на реке, является создание искусственных зажоров. Во время зажора масса мелкого льда, заполняя, практически всё сечение реки, значительно затормаживает скорость течения, вызывая тем самым подъём уровня воды на реке. Однако, образование зажоров, как правило, происходит во время ледостава, тогда как во время весеннего паводка основная масса льда достаточно крупная для образования зажора, т.к. такие куски льда не смогут подныривать под лед и образовать ледяную «кашу». Нами предлагается для образования достаточной массы мелкого льда использовать вышеприведенный способ усиления солнечной радиации. Одновременное разрушение достаточной площади «разрыхленного» ледяного покрова усиленной солнечной радиацией создаст массу мелких льдин, которые увлекаясь течением и встречая сплошное ледяное поле вниз по течению, забьются под ледяное поле, образуя ледяную «кашу» и сужая сечение реки, и тем самым вызывая поднятие уровня реки [10]. При отсутствии естественных условий образования зажора на реке можно использовать трос с закрепленной на нем прочной сетью частично перекрывающей русло реки, с грузилами, заранее до ледостава уложенный по дну реки, один конец которого закреплен неподвижно на берегу, а другой конец соединен с лебедкой, расположенной на противоположном берегу [11]. Такие зазоры можно создать по всей реке или впадающим рекам эффективно регулируя скорость паводковых вод сибирских рек, ведя мониторинг из космоса, защитить население и объекты экономики.

Таким образом, в Институте проблем нефти и газа СО РАН разработан целый комплекс защиты нефтепроводов на подводных переходах: от превентивной защиты при аварийных разливах нефти до управления уровнем паводковой воды для сохранения подводных коммуникаций энергетики от повреждения во время весеннего ледохода.

#### Список литературы

1. План по предупреждению и ликвидации аварийных разливов нефти на подводных переходах магистральных нефтепроводов ООО «Востокнефтепровод», 2007.
2. Консейсао А.А. Разработка новых сорбентов и адгезионных нефтесборщиков для сбора аварийных разливов углеводородов: дис. ...д-ра. техн. наук. – Уфа, 2008. – С. 105 – 106.
3. Способ защиты водоемов при аварийных разливах нефти: пат. 2435903 Рос. Федерация. № 2010123277; заявл. 07.06.2010; опубл. 10.12.2011, Бюл. № 34.
4. Способ сбора разлитой нефти в зоне траншейного подводного перехода магистрального нефтепровода: пат. 2439244 Рос. Федерация. № 2010127708; заявл. 05.05.2010; опубл. 10.01.2012, Бюл. № 1.
5. Устройство для сбора нефти под водой: пат. 2465400 Рос. Федерация. № 2011116848; заявл.

- 27.04.2011; опубл. 27.10.2012, Бюл. № 30.
6. Устройство для сбора нефти под водой: пат. 2771925 Рос. Федерация. № 2011123267; заявл. 08.06.2011; опубл. 10.01.2013, Бюл. № 1.
  7. <http://www.ysia.ru/print/5392>
  8. Способ разупрочнения ледяного покрова: № 2013129613; заявл. 27.06.2013.
  9. Устройство для создания искусственного затора на реках: № 2013136718; заявл. 06.08.2013.
  10. Способ регулирования уровня паводковой воды на реках: № 2013135024; заявл. 25.07.2013.
  11. Устройство для создания искусственного зазора на реках: № 2013136741; заявл. 06.08.2013.

**Определение ширины противопожарного разрыва в зависимости от скорости ветра и свойств лесного массива**

**Гербель Д.П., Фрянова К.О.**

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г.Томск  
[frosia5766@mail.ru](mailto:frosia5766@mail.ru)*

Леса — один из важнейших видов ресурсов на Земле. Лесные ресурсы относятся к возобновляемым ресурсам. Мировые лесные ресурсы характеризуются двумя главными показателями: запасами древесины на корню (350 млрд. м<sup>3</sup>) и размерами лесной площади (4,1 млрд. га или около 27% площади суши), которые благодаря постоянному приросту ежегодно увеличиваются на 5,5 млрд. м<sup>3</sup>.

Леса играют огромную роль в российской экономике не только как источники древесины, но и многих видов сырья. При хозяйственной оценке лесных ресурсов первостепенное значение имеет такая характеристика, как запасы древесины. В России самые большие запасы лесов в мире и площадь наших лесов составляет более 800 000 га. Лес занимает около 45% территории нашей страны и составляет около 24% запасов всей планеты [1].

Значимую роль леса играют в газовом балансе атмосферы и регулировании климата планеты. Общий баланс для лесов России, рассчитанный Б.Н.Моисеевым составил для углекислого газа 1789064.8 тыс. тонн, а для кислорода - 1299019.9 тыс. тонн. Ежегодно в лесах России депонируется 600 млн. тонн углерода. Эти гигантские объемы миграции газов существенно стабилизируют газовый состав и климат планеты [2].

Ежегодно в Российской Федерации в результате лесных пожаров гибнет около 1 млн. га леса. Наиболее опасным видом лесных пожаров являются верховые, на долю которых приходится до 70% выгоревшей площади. Верховой пожар распространяется по кронам деревьев, при этом чаще всего горит весь древостой. Возникновение и развитие верховых лесных пожаров происходит, в основном, от низовых лесных пожаров в древостоях с низко опущенными кронами, в разновозрастных хвойных лесах, в многоярусных и с обильным подростом насаждениях, а также в горных лесах. Скорость верховых лесных пожаров такова: устойчивого - 300–1500 м/ч, беглого - 4000–5000 м/ч [3]. Следует отметить, что до сих пор не выяснены до конца механизмы и условия возникновения различных видов лесных пожаров.

Тушение лесных пожаров требует больших затрат сил и средств, и, в подавляющем большинстве случаев, малоэффективно или невозможно. Экспериментальные методы изучения лесных пожаров являются дорогостоящими и не позволяют проводить полное физическое моделирование данного явления, представляют интерес теоретические методы исследования [4]. Поэтому изучение данного явления с помощью метода математического моделирования помогает разработать профилактические меры по предотвращению и определению возможности возникновения лесных пожаров, ведь математическая модель — это приближенное описание объекта моделирования, выраженное с помощью математического аппарата.

В представленной работе нами исследуется влияние скорости ветра, влагосодержания и запаса лесных горючих материалов (ЛГМ) на ширину противопожарного разрыва для верховых лесных пожаров. Исследование проводится методом математического моделирования физических процессов. Этот метод основывается на численном решении трехмерных уравнений Рейнольдса для турбулентного течения с учетом уравнений диффузии для химических компонентов и уравнений сохранения энергии для газовой и конденсированной фаз и уравнения состояния. Для получения дискретных аналогов используется метод контрольных объемов [5].



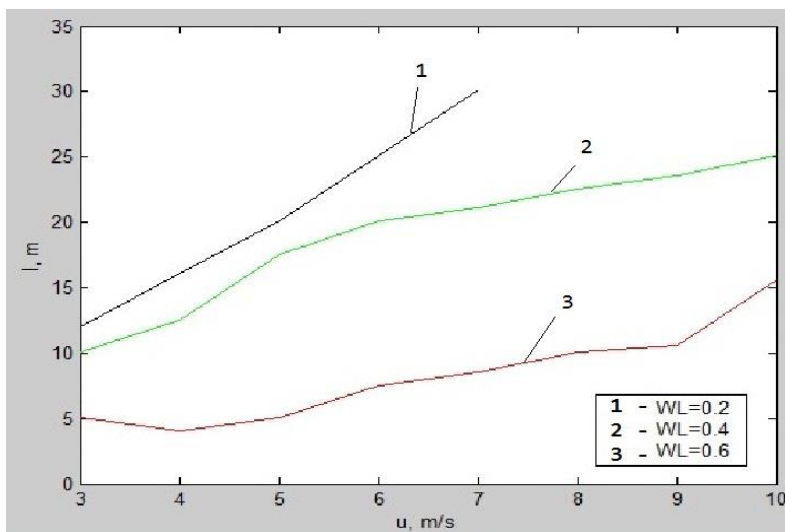


Рис.1. Зависимость минимальной ширины разрыва от скорости ветра и влагосодержания ЛГМ.

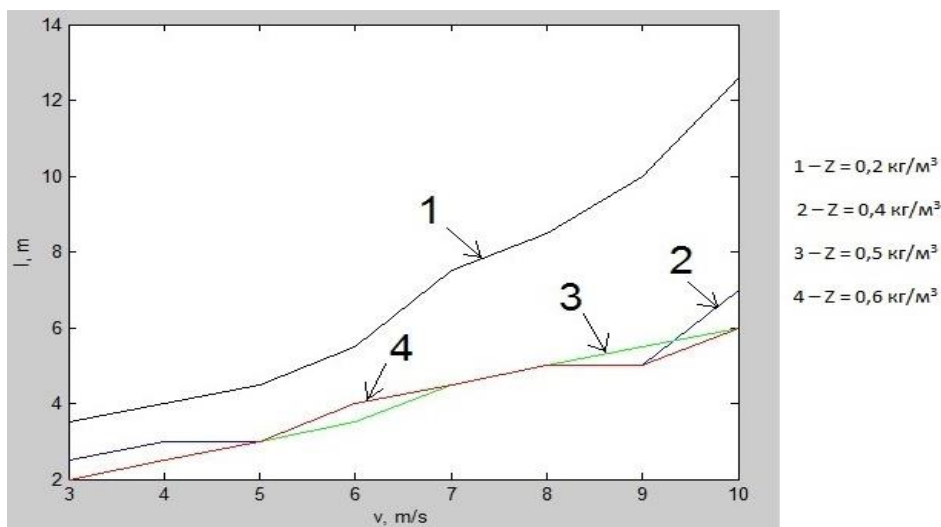


Рис. 2. Зависимость минимальной ширины разрыва от скорости ветра и запасов ЛГМ.

В результате численного интегрирования получены поля распределения линий равного уровня (изолиний) температуры, концентраций кислорода и летучих горючих продуктов пиролиза при распространении верховых лесных пожаров через противопожарные разрывы. На основе полученных данных нами изучена зависимость критических размеров противопожарных разрывов от основных характеристик лесных массивов и скорости ветра (Рис. 1-2). Анализируя Рис.1-2. можно сделать вывод, что с увеличением скорости ветра необходимо увеличивать разрыв, а так же чем больше влаги содержится в ЛГМ и чем больше его запас, тем меньшая ширина просеки требуется для предотвращения распространения пожара.

На Рис. 3-4 а) и б) представлены распределения основных функций для двух случаев преодоления и непреодоления разрывов.

Следовательно, с помощью данной математической модели можно получить критические условия распространения верхового лесного пожара при заданных размерах разрыва, иначе говоря, зависимость скорости распространения от скорости ветра, влагосодержания лесных горючих материалов (ЛГМ) и их запасов, что, в свою очередь, дает возможность применять такой метод расчетов для профилактики и разработки новых методик профилактики и борьбы с верховыми лесными пожарами.

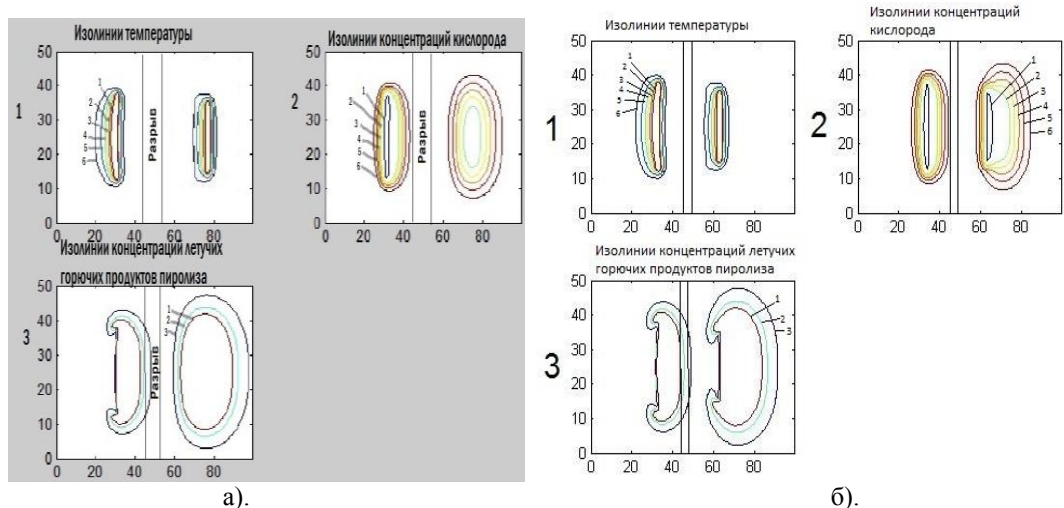


Рис. 3. Распределения линий равного уровня (изолиний) температуры, концентраций кислорода и летучих горючих продуктов пиролиза. (а) - зависимость от влагосодержания ЛГМ; б) - зависимость от запасов ЛГМ).

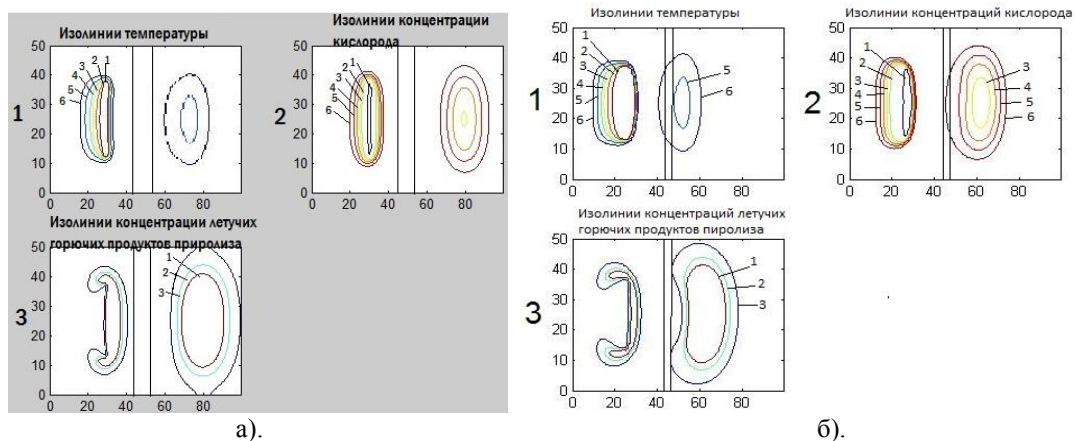


Рис.4 Распределения линий равного уровня (изолиний) температуры, концентраций кислорода и летучих горючих продуктов пиролиза. (а) - зависимость от влагосодержания ЛГМ; б) - зависимость от запасов ЛГМ).

При увеличении скорости распространения верхового лесного пожара происходит уменьшение влагосодержания лесных горючих материалов. И соответственно, если увеличивается скорость ветра (скорость движения воздушных масс), то скорость распространения верхового лесного пожара увеличивается. Кроме того, при увеличении скорости ветра необходимо увеличивать ширину разрыва, а меньшему запасу ЛГМ соответствует большая ширина разрыва.

#### Список литературы

1. Гришин А.М. Математические модели лесных пожаров и новые способы борьбы с ними. – Новосибирск: Наука, 1992, 408 с.
2. Гришин А.М., Грузин А.Д., Зверев В.Г. Математическая теория верховых лесных пожаров // Теплофизика лесных пожаров. - Новосибирск: ИТФ СО АН СССР. 1984. – С.38-75.
3. Щетинский Е.А. Тушение лесных пожаров: Пособие для лесных пожарных. Изд.3-е, перераб. и доп. – М.:ВНИИЛМ, 2002. 104 с.
4. Perminov V. Numerical Solution of Reynolds equations for Forest Fire Spread // Lecture Notes in Computer Science. - 2002. -V.2329. –P.823-832.
5. Патанкар С.В. Численные метода решения задач теплообмена и динамики жидкости. - М.: Энергоатомиздат, 1984. – 124с.,152 с.

**Численный анализ влияния инженерных сооружений на тепловые режимы подземных хранилищ сжиженного газа**

*Е.С. Глазырин, Н.С. Тетерина.*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск  
[evgen2103@sibmail.com](mailto:evgen2103@sibmail.com)*

В настоящее время, наблюдается неравномерный характер потребления газонефтепродуктов в Российской Федерации. Это связано с возможностью экспорта в другие страны, географической разобщенностью районов добычи, переработки и использования газонефтепродуктов, а также совпадением по времени максимального спроса на топливо и на электро - и теплоэнергию. Поэтому сезонные колебания потребления, возможные непредвиденные ситуации и перебои в газоснабжении и нефтеснабжении требуют создания значительных запасов. Поэтому рост добычи и использования газа привел к необходимости строительства хранилищ больших объемов вблизи промышленных районов для удовлетворения спроса на газ.

В настоящее время широкое распространение получают подземные хранилища сжиженного природного газа. Конструктивные схемы подземных ёмкостей для хранения газов и особенности их эксплуатации представлены в [1].

Рассматривается изотермический резервуар для хранения сжиженного природного газа, стенки которого выполнены из предварительно напряженного железобетона, изолированный насыпным перлитом, размещенный в зоне влияния инженерных сооружений.

Целью работы является моделирование теплопереноса в зоне размещения хранилища сжиженного газа с учетом влияния инженерного сооружения на тепловые режимы подземных хранилищ сжиженного газа.

Моделирование проведено с применением средств и функций пакета программ мультифизического моделирования COMSOL Multiphysics [2] с использованием модуля General Heat Transfer.

Исследования проводились для резервуара диаметром  $d=72\text{м}$ , высотой  $L=50\text{м}$ , изолированного теплоизоляционным материалом толщиной  $\delta_{\text{и}}=1\text{м}$ . Температура на внутренней поверхности резервуара соответствует температуре хранения жидкого метана  $T_{\text{сгр}}=113,150\text{К}$ . Температура окружающей среды принималась равной средней температуре воздуха за месяц сентябрь[3]:  $T_{\text{н}}=282,45^{\circ}\text{К}$  (г. Томск). Заглубление фундамента составляло  $h=2\text{м}$ . Согласно [4] коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций инженерного сооружения соответственно для стен и пола по грунту  $\alpha_{\text{вс}}=8,7\text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{C})$  и  $\alpha_{\text{вп}}=4,5\text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{C})$ . Коэффициент теплоотдачи от стены к окружающей среде принимался равным  $\alpha=23\text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ , от грунта к окружающей среде  $\alpha=15\text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ .

Таблица 1. Теплофизические свойства материалов

Материал	Тепловая изоляция	Грунт	Железобетон
$\lambda$ , Вт/(м · К)	$0,0518+0,000163x(T-273,15)$	$2,2-0,0015x(T-273,15)$	1,54
$c$ , Дж/(кг · К)	$869+2,88x(T-273,15)$	$965+3,2x(T-273,15)$	887
$\rho$ , кг/м	139	2000	2200

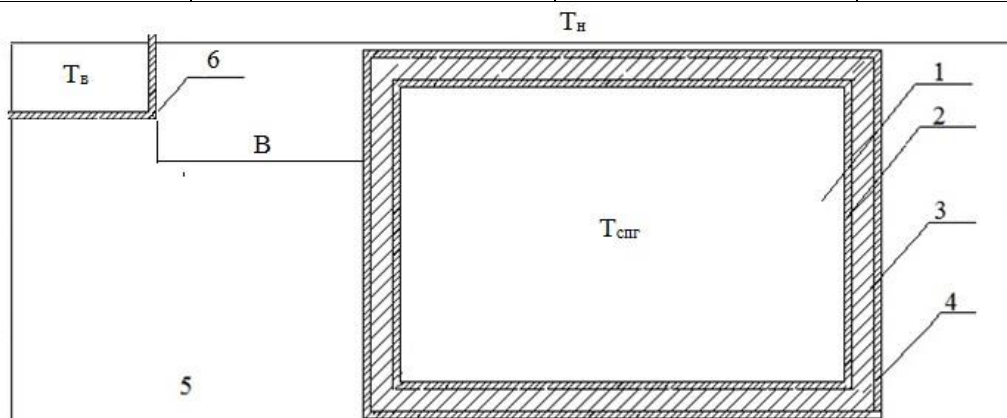


Рис. 1. Схема поперечного сечения зоны расположения подземного резервуара для хранения сжиженного газа.

В таблице 1 приведены значения [1,5] теплофизических характеристик тепловой изоляции, грунта, фундамента из железобетона использованные при проведении исследований тепловых режимов рассматриваемой системы, представленной на рисунке 1.

Обозначения на схеме: 1 – внутренняя область резервуара; 2 – внутренняя стенка резервуара; 3 – теплоизоляционный слой; 4 – наружная стена выполненная из предварительно напряженного железобетона; 5 – грунт; 6–инженерное сооружение;

$T_n$  – температура наружного воздуха;  $T_{снг}$  – температура сжиженного природного газа;  $T_v$  – температура внутри инженерного сооружения.

#### Результаты 3D моделирования.

Основные результаты 3D моделирования тепловых режимов хранилища сжиженного газа расположенного в зоне влияния инженерного сооружения приведены в таблицах 2-5. На рисунках 2-3 представлены температурные поля в зоне хранилища сжиженного газа расположенного в области влияния инженерного сооружения с внутренней температурой  $T_v=293,15^{\circ}\text{K}$ .

Таблица 2. Результаты моделирования тепловых режимов хранилища сжиженного газа.

$T_n, \text{K}$	$Q_d, \text{Вт}$	$Q_n, \text{Вт}$	$Q_c, \text{Вт}$	$Q_1, \text{Вт}$
Сентябрь, 282,45	15880,62	30814,46	51611,21	98306,29
Январь, 254,05	12950,78	24268,27	41699,3	78918,35
Среднегодовая, 272,65	14860,32	28491,98	48142,61	91494,91

Таблица 3. Результаты моделирования тепловых режимов хранилища сжиженного газа расположенного в зоне влияния инженерного сооружения, сентябрь  $T_n=282,45^{\circ}\text{K}$ .

$B, \text{м}$	$Q_d, \text{Вт}$	$Q_n, \text{Вт}$	$Q_c, \text{Вт}$	$Q_2, \text{Вт}$	$Q_2-Q_1, \text{Вт}$	$\delta = \frac{Q_2 - Q_1}{Q_1}, \%$
10	15903,38	30890,64	51773,8	98567,82	261,53	0,266036
50	15893,19	30799,43	51644,15	98336,77	30,48	0,031005
100	15891,91	30804,03	51615,3	98311,24	4,95	0,005035
150	15887,98	30804,91	51617,44	98310,33	4,04	0,00411

Таблица 4. Результаты моделирования тепловых режимов хранилища сжиженного газа расположенного в зоне влияния инженерного сооружения, Январь  $T_n=254,05^{\circ}\text{K}$ .

$B, \text{м}$	$Q_d, \text{Вт}$	$Q_n, \text{Вт}$	$Q_c, \text{Вт}$	$Q_2, \text{Вт}$	$Q_2-Q_1, \text{Вт}$	$\delta = \frac{Q_2 - Q_1}{Q_1}, \%$
10	13007,34	24214,47	42309,16	79530,97	612,62	0,776271
50	12991,2	24249,8	41805,34	79046,34	127,99	0,16218
100	12976,68	24258,58	41725,81	78961,07	42,72	0,054132
150	12967,84	24260,08	41716,55	78944,47	26,12	0,033097

Таблица 5. Результаты моделирования тепловых режимов хранилища сжиженного газа расположенного в зоне влияния инженерного сооружения, при среднегодовой температуре  $T_n=272,65^{\circ}\text{K}$ .

$B, \text{м}$	$Q_d, \text{Вт}$	$Q_n, \text{Вт}$	$Q_c, \text{Вт}$	$Q_2, \text{Вт}$	$Q_2-Q_1, \text{Вт}$	$\delta = \frac{Q_2 - Q_1}{Q_1}, \%$
10	14895,21	28523,2	48463,22	91881,63	386,72	0,422668
50	14882,76	28475,82	48201,52	91560,1	65,19	0,07125
100	14876,77	28481,85	48154,71	91513,33	18,42	0,020132
150	14871,1	28482,93	48152,76	91506,79	11,88	0,012984

Обозначения:  $T_n$  - расчетная температура наружного воздуха, K;  $B$  - расстояние от хранилища сжиженного газа до фундамента здания, м;  $Q_d$  - притоки тепла к хранилищу сжиженного газа через дно, Вт;  $Q_n$  - притоки тепла к хранилищу сжиженного газа через перекрытие, Вт;  $Q_c$  - притоки тепла к хранилищу сжиженного газа через стены, Вт;  $Q_1$  –притоки

тепла к хранилищу сжиженного газа при отсутствии близ расположенных инженерных сооружений, Вт;  $Q_2$  - притоки тепла к хранилищу сжиженного газа расположенному в зоне влияния инженерных сооружений, Вт;  $\delta$  – расхождение величин теплопритоков к резервуару при отсутствии и наличии в зоне его влияния инженерных сооружений, %.

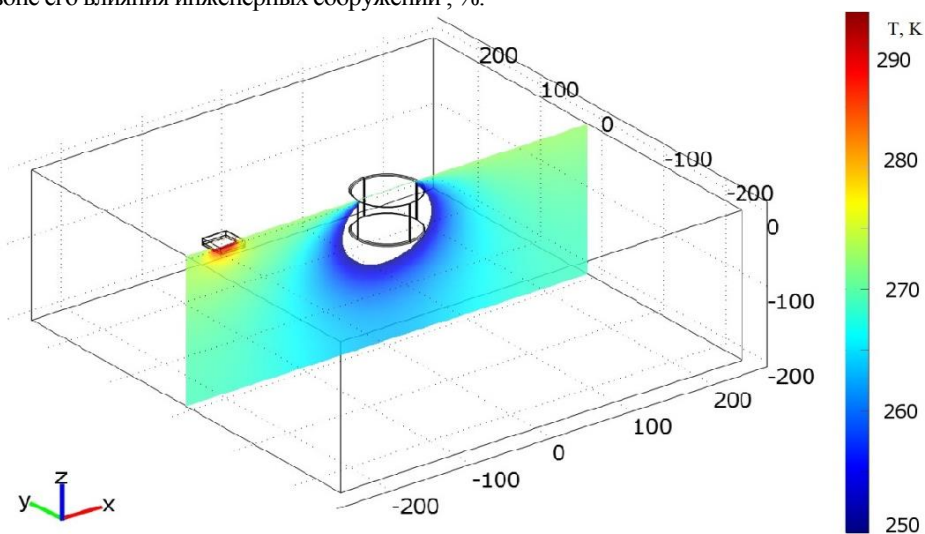


Рис. 2. Температурное поле в зоне расположения подземного резервуара для хранения сжиженного газа, находящегося на расстоянии 150м от инженерного сооружения.

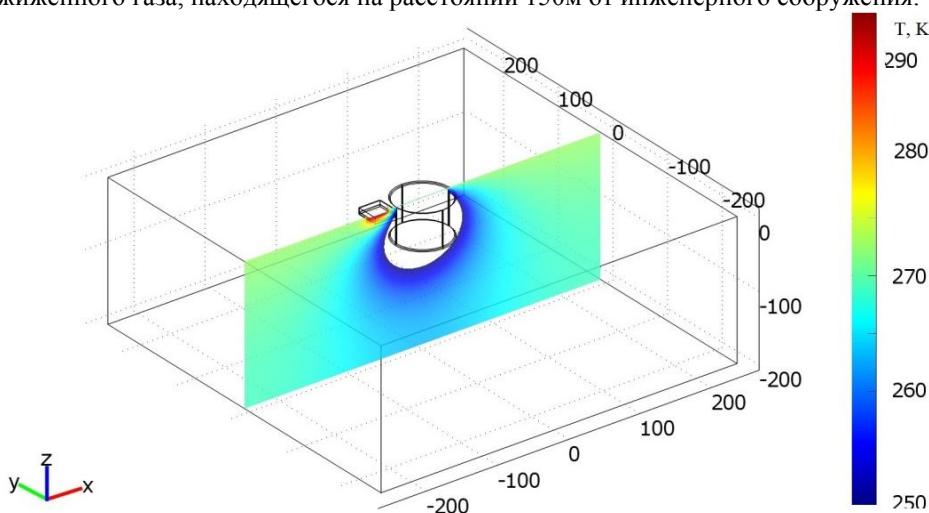


Рис. 3. Температурное поле в зоне расположения подземного резервуара для хранения сжиженного газа, находящегося на расстоянии 10м от инженерного сооружения.

Результаты исследований позволяют говорить об увеличении притоков тепла к хранилищу сжиженного природного газа при расположении в зоне его влияния инженерных сооружений.

Анализ изменения величин притоков тепла в зависимости от расстояния между хранилищем сжиженного природного газа и фундаментом здания (таблицы 2–5) позволяет сделать вывод о том, что уменьшение расстояния от 150 м. до 10 м. приводит к возрастанию теплопритоков на 0,42 % при среднегодовой температуре наружного воздуха  $T_n=272,65$  °K.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 12-08-00201-а и грантов Президента РФ № МК-1284.2011.8, № МК-1652.2013.8.

#### Список литературы

1. Яковлев Е. И., Видовский Л.А., Глоба В.М. Тепловые режимы хранилищ сжиженных газов. –Л.: Недра, 1992. –184с.
2. Бирюлин Г.В. Теплофизические расчеты в конечно-элементном пакете COMSOL/FEMLAB.

- СПб.: СПбГУИТМО, 2006. – 89 с.
3. СНиП 23-01-99. Строительная климатология. - М, 2000 г.
  4. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий. М. : Госстрой России, ФГУП ЦПП, 2004. – 46 с.
  5. Гува А.Я. Краткий теплофизический справочник. – Новосибирск: Сибвузиздат, 2002. – 300 с.

**Слаботочные корабельные телефонные станции**  
**Городецкий И.В., Федюк Р.С., Алферьев И.С., Комардин Д.В.**  
*Дальневосточный федеральный университет, Россия, г. Владивосток*  
*roman44@mail.ru*

Батарейная телефония применяется для связи помещений с шумами, не превышающими 110 дБ. Батарейная телефония с применением остеофонов и усилением обычно применяется для связи помещений, имеющих повышенный уровень шумов.

При батарейной телефонной связи используются телефонные аппараты с угольными микрофонами ТАК-2 для двухпроводной и ТАК-3 для трехпроводной связи. Принципиальная схема устройства и работы этих аппаратов одна и та же. Особенностью устройства ТАК-3 является лишь наличие звонка постоянного тока.

Батарейная телефонная связь по способу питания бывает двух систем: системы ЦБ, т. е. питания всей установки (независимо от места нахождения телефонных аппаратов) от одной центральной батареи и системы МБ, осуществляющей индивидуальное питание каждого телефонного аппарата от своей местной батареи.

На кораблях применяется батарейная телефония системы ЦБ. Основным недостатком батарейной связи – это угольный микрофон. Угольный микрофон широко применяется для телефонной передачи речи, так как имеет сравнительно низкую стоимость, простое устройство и обладает способностью усиливать колебания. Однако наряду с этими ценными свойствами угольный микрофон имеет недостатки; нестабильность характеристик во времени, значительные нелинейные и частотные искажения, вносимые микрофоном в тракт передачи, зависимость параметров микрофона от его положения и пространстве, спекание и гигроскопичность зерен угольного порошка [1].

Чтобы исправить проблему нужно заменить угольный микрофон на динамический.

Аппаратура батарейной телефонной станции (БТС) предназначена для обеспечения аналоговой телефонной связью различных помещений корабля как в штатном режиме, так и в аварийных ситуациях, обусловленных выходом из строя основных систем внутрикорабельной связи, а также при отключении электропитания.

В системах безбатарейной телефонной связи (парной, с коммутаторами) применяют безбатарейные телефонные аппараты типа СТА двух модификаций СТА-1 и СТА-3, которые отличаются только конструкцией микротелефонной трубки и съемного подпятника на корпусе аппарата для ее установки. Телефонный аппарат типа СТА-1 устанавливают в помещениях с высоким уровнем шумов. Аппарат имеет микротелефонную трубку типа МТ-Ф с акустическим фильтром. В такой трубке микрофон защищен от воздействия шума, установлен в верхней части трубки и сообщается с полостью рта говорящего через нижний раструб и акустический канал рукоятки. Телефонный аппарат типа СТА-3 устанавливают в помещениях с нормальным уровнем шума. Аппарат имеет микротелефонную трубку типа МТ-Б. В этой трубке микрофон установлен в нижней части, от попадания влаги защищен дополнительной внешней мембраной. Все телефонные аппараты типа СТА снабжаются дополнительной телефонной трубкой типа ДТ-Ф для второго уха. На прикладываемые к уху части трубок надеты мягкие резиновые заглушки для их изоляции от шума.

В качестве источников вызывного тока в приборах безбатарейной телефонной связи применяется индуктор, представляющий собой магнитоэлектрическую машину переменного тока ручного действия. В качестве звукового сигнала вызова используется поляризованный звонок переменного тока, механизм которого устанавливается в телефонный аппарат либо коммутатор [2].

Необходимо отметить все возрастающее применение на судах безбатарейной телефонии, с успехом конкурирующей с батарейной и в ряде случаев ее вытеснившей.

Это объясняется тем, что безбатарейная телефония при одинаковых технических параметрах с батарейной телефонией имеет большое преимущество перед ней вследствие отсутствия источника питания и простоты самой схемы.

Недостатками, является низкое качество телефонной связи с судовыми помещениями, имеющими высокий уровень акустических помех. Кроме того, вследствие низкого уровня сигнала не обеспечивается циркулярное соединение большого числа абонентов.

В дальнейшем развитие систем внутрикорабельной связи будет определяться достижениями в области оптоэлектроники на базе волоконно-оптической техники.

Но будущее конечно же за корабельными автоматическими телефонными станциями (КАТС). Цифровая АТС – это современная телефонная станция, в которой коммутация и управление являются полностью цифровыми, что позволяет бесконечно расширять перечень ее функций и возможностей. Сигнал, идущий от первоисточника, оцифровывается в отделе абонентского комплекта и передается внутри АТС и между автоматическими телефонными станциями в цифровом виде. Это является гарантией отсутствия затухания и минимизирует помехи, независимо от длины пути сигнала. Универсальность цифровых АТС заключается в том, что путем изменения конфигурации программного обеспечения можно создавать системы с большим спектром функций, в зависимости от нужд и требований потребителя.

Главное достоинство современных цифровых АТС- это большое число функций и возможностей.

Корабельная автоматическая цифровая телефонная станция П-443Э предназначена для обеспечения автоматической телефонной связью надводных кораблей и судов, подводных лодок всех классов и других объектов. Благодаря модульной конструкции и сетевой архитектуре позволяет обеспечить абонентскую емкость станции от 16 до 2048 абонентов, включая аналоговые соединительные линии с береговыми АТС.

#### Список литературы

1. Каракаев А.Б., Туленинов В.М. Внутрикорабельные технические средства связи, их ремонт и эксплуатация. – СПб, 2005
2. РД 31.21.30-97. Нормативный документ. Правила технической эксплуатации судовых технических средств и конструкций. – М, 1997

#### К вопросу об экологической составляющей при выборе автономного источника теплоснабжения

*Гринкруг Н.В., Костиков С.А.*

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет», Россия, г. Комсомольск-на-Амуре*

Одним из важных вопросов в строительстве и эксплуатации индивидуальных жилых домов является выбор автономного источника теплоснабжения. Буквально пару десятков лет назад, в нашей стране выбор ограничивался только между централизованной или печной системой отопления. На сегодняшний день, существуют следующие системы отопления:

- 1) централизованная система отопления;
- 2) автономная система отопления. Наиболее известны следующие разновидности автономных систем отопления:
  - а) котельная на базе газовых котлов;
  - б) котельная на базе электрических котлов;
  - в) котельная на базе мазутных котлов;
  - г) котельная на базе твердотопливных котлов;
  - д) тепловые насосы.

На выбор системы отопления влияет множество факторов, среди которых, самыми главными являются доступное топливо и его цена за одну единицу. Так, в Хабаровском крае, наиболее экономически эффективным и выгодным является котел, работающий на каменном угле. Далее обращают внимание на стоимость покупки оборудования, его монтаж и эксплуатационные расходы на содержание системы. Реже всего, покупатели, рассматривают экологичность использования того или иного вида топлива и соответствующей для него системы отопления.

Сегодня, в России, рынок индивидуальных отопительных котлов переполнен различными фирмами-производителями, которые предлагают котлы, предназначенные для малоэтажных жилых домов, мощностью от 5 и до 300 кВт. На нашем рынке лидерами продаж являются немецкие (Viessmann) и финские (JAMA) производители. Но даже среди лидеров, которые являются эталоном качества в производстве котлов, в технических характеристиках не указываются возможные выбросы вредных веществ в атмосферу. Данная информация особенно актуальна для России, так как на период 2012 г., в 69% городов степень загрязнения воздуха оценивается как очень высокая, в 14% городов высокая, и только в 17% городов — как низкая. Таким образом, 38% городского населения проживает на территориях, где не проводятся наблюдения за загрязнением атмосферы, а 55% — в городах с высоким и очень высоким уровнем загрязнения атмосферы, в которых проживает около 58,0 млн. человек [1]. Основными источниками загрязнения воздушного бассейна России являются теплоэнергетика, предприятия черной и цветной металлургии, нефтедобычи и нефтехимии, автотранспорт [1].

Рост строительства индивидуальных малоэтажных домов повлечет за собой рост количества индивидуальных котлов и выбросов вредных веществ в атмосферу. Именно поэтому является актуальным определение выбросов основных вредных веществ при использовании котельных на природном газе, каменном угле и мазуте. В расчете определяются выбросы оксидов азота  $\text{NO}_2$ , оксидов серы  $\text{SO}_2$ , оксидов углерода  $\text{CO}$  и выбросы твердых веществ от котельных, которые вырабатывают до 1Гкал в час. Расчет был выполнен для города Комсомольска-на-Амуре (Хабаровский край) по методике [2].

Расчет выбросов оксидов  $\text{NO}_2$  азота при сжигании природного газа определяется по формуле:

$$M = V_p * Q_i^y * K_{\text{NO}_2}^y * V_k * V_t * V_a * (1 - V_y) * (1 - V_\delta) * K_{\text{п}}, \quad (1)$$

где  $V_p$  — расчетный расход топлива,  $\text{м}^3/\text{с}$ ,  $Q_i^y$  — низшая теплота сгорания топлива,  $\text{МДж}/\text{м}^3$ ,  $K_{\text{NO}_2}^y$  — удельный выброс оксидов азота при сжигании газа,  $\text{г}/\text{МДж}$ ,  $V_k$  — безразмерный коэффициент, учитывающий принципиальную конструкцию горелки,  $V_a$  — безразмерный коэффициент, учитывающий влияние избытка воздуха на образование оксидов азота,  $V_y$  — безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рециркуляции дымовых газов через горелки на образование оксидов азота,  $V_\delta$  — безразмерный коэффициент, учитывающий ступенчатый ввод воздуха в топочную камеру,  $V_\delta$  — коэффициент пересчета.

$$M = 0,0375 * 35 * 0,044 * 1 * 1 * 1,225 * 1 * 1 * 1 = 0,07 \text{ г/с.}$$

Расчет выбросов оксидов  $\text{NO}_2$  азота при сжигании твердого топлива определяется по формуле:

$$M = V_p * Q_i^y * K_{\text{NO}_2}^M * V_t * V_a * (1 - V_y) * (1 - V_\delta) * K_{\text{п}}, \quad (2)$$

где  $K_{\text{NO}_2}^M$  — удельный выброс оксидов азота при сжигании мазута,  $\text{г}/\text{МДж}$ .

$$M = 0,0331 * 40 * 0,112 * 1 * 1,113 * 1 * 1 * 1 = 0,16 \text{ г/с.}$$

Расчет выбросов оксидов  $\text{NO}_2$  азота при сжигании мазута определяется по формуле:

$$M = V_p * Q_i^y * K_{\text{NO}_2}^T * V_y * K_{\text{п}}, \quad (3)$$



где  $K_{NO_2}^T$  — удельный выброс оксидов азота при сжигании твердого топлива, г/МДж.

$$M = 0,088 * 20 * 0,012 * 0,96 * 1 = 0,020 \text{ г/с.}$$

Суммарное количество оксидов серы  $SO_2$ , выбрасываемых в атмосферу с дымовыми газами при сжигании природного газа, определяют по формуле:

$$M = 0,02B_p * S^y * (1 - \eta''_{SO_2}) * (1 - \eta'_{SO_2}), \quad (4)$$

где  $B_p$  — расчетный расход топлива,  $m^3/c$ ,  $S^y$  — содержание серы в топливе на рабочую массу, %,  $\eta''_{SO_2}$  — доля оксидов серы, улавливаемых в мокром золоуловителе попутно с улавливанием твердых частиц,  $\eta'_{SO_2}$  — доля оксидов серы, связываемых летучей золой в котле.

$$M = 0,02 * 0,375 * 0,00024 * 1 * 1 = 0,00000018 \text{ г/с.}$$

Суммарное количество оксидов серы  $SO_2$ , выбрасываемых в атмосферу с дымовыми газами при сжигании мазута:

$$M = 0,02 * 0,314 * 0,02 * (1 - 0,02) * 1 = 0,000013 \text{ г/с.}$$

Суммарное количество оксидов серы  $SO_2$ , выбрасываемых в атмосферу с дымовыми газами при сжигании каменного угля:

$$M = 0,02 * 0,088 * 0,02 * (1 - 0,15) * 1 = 0,0000029 \text{ г/с.}$$

Суммарное количество оксидов углерода  $CO$ , выбрасываемых в атмосферу с дымовыми газами при сжигании природного газа определяется по формуле:

$$M = 10^{-3} * B * C_{CO} * (1 - \frac{q_4}{100}), \quad (5)$$

где  $B$  — расчетный расход топлива,  $m^3/c$ ,  $C_{CO}$  — выход оксида углерода при сжигании топлива, г/кг ( $г/м^3$ ),  $q_4$  — потери тепла вследствие механической неполноты сгорания топлива, %.

$$M = 10^{-3} * 0,0375 * 3,50 * (1 - \frac{0}{100}) = 0,000131 \text{ г/с.}$$

Суммарное количество оксидов углерода  $CO$ , выбрасываемых в атмосферу с дымовыми газами при сжигании мазута:

$$M = 10^{-3} * 0,0314 * 5,2 * (1 - \frac{0,1}{100}) = 0,00016 \text{ г/с.}$$

Суммарное количество оксидов углерода  $CO$ , выбрасываемых в атмосферу с дымовыми газами при сжигании каменного угля:

$$M = 10^{-3} * 0,088 * 10 * (1 - \frac{1,66}{100}) = 0,00086 \text{ г/с.}$$

Суммарное количество твердых частиц (летучей золы и несгоревшего топлива)  $M_{тв}$ , поступающих в атмосферу с дымовыми газами котлов при сжигании мазута определяется по формуле:

$$M = 0,01B_p \left( a_{ун} * A^r + q_4 * \frac{Q_i^y}{32,68} \right) * (1 - \eta_3), \quad (6)$$

где  $B_p$  – расчетный расход топлива, м<sup>3</sup>/с,  $A^r$  – зольность топлива на рабочую массу, %,  $a_{ун}$  – доля золы, уносимой газами из котла, %,  $q_4$  – потери тепла вследствие механической неполноты сгорания топлива, %,  $\eta_3$  – доля твердых частиц, улавливаемых в золоуловителях, %,  $Q_i^y$  – низшая теплота сгорания топлива, МДж/кг,  $32,68$  – теплота сгорания углерода, МДж/кг.

$$M = 0,01 * 0,0314 \left( 0,95 * 0,04 + 0,1 * \frac{40}{32,68} \right) * (1 - 0,8) = 0,000010 \text{ г/с.}$$

Суммарное количество твердых частиц (летучей золы и несгоревшего топлива)  $M_{тв}$ , поступающих в атмосферу с дымовыми газами котлов при сжигании каменного угля:

$$M = 0,01 * 0,088 \left( 0,95 * 0,15 + 1,66 * \frac{20}{32,68} \right) * (1 - 0,8) = 0,00020 \text{ г/с.}$$

Для определения максимальной концентрации вещества при его рассеивании  $C$ , необходимо перевести г/с в мг/м<sup>3</sup> по следующей формуле:

$$C = \frac{A * M * F * n * m * \eta}{H^2 * \sqrt[3]{V * \Delta T}}, \quad (7)$$

где  $A$  – показатель стратификации атмосферы, принимаем = 200,  $M$  – выброс вредного вещества, г/с,  $F$  – коэффициент, учитывающий скорость осаждения вредных веществ, принимается для газов  $F=1$ , для твердых частиц  $F=3$ ,  $n, m, \eta$  – безразмерные коэффициенты, принимаем  $n = m = \eta = 1$ ,  $H$  – высота трубы, м,  $\Delta T$  – разность температур газа и окружающей среды,  $V$  – объем газов, м<sup>3</sup>/с.

Все значения по суммарным выбросам вредных веществ, для большей информативности, сведены в таблицу 1.

Полученные значения максимальных концентраций вредных веществ, определенные по формуле 7, занесены в таблицу 2.

Предельно-допустимый выброс вредных веществ определяем по формуле:

$$ПДВ = \frac{(ПДК - C_{\phi}) * H^2 * \sqrt[3]{V * \Delta T}}{A * M * F * n * m * \eta}, \quad (8)$$

где  $ПДК$  – предельно-допустимая концентрация вредного вещества, мг/м<sup>3</sup>,  $C_{\phi}$  – фоновая концентрация вещества, принимаем  $C_{\phi} = 0$ .

Полученные значения, для большей информативности, занесем в табличную форму (таблица 3).

Таблица 1. Суммарные выбросы вредных веществ при выработке 1 Гкал/час

Вид топлива	Вредные вещества			
	Оксид азота NO <sub>2</sub> , г/с (т/г)	Оксид серы SO <sub>2</sub> , г/с (т/г)	Оксид углерода CO, г/с (т/г)	Твердые вещества, г/с (т/г)
Природный газ	0,07 (2,20)	0,00000018 (0,00000568)	0,000131 (0,04)	-
Топочный мазут	0,16 (4,73)	0,000013 (0,00041)	0,00016 (0,0050)	0,000010 (0,00031)
Каменный уголь	0,020 (0,63)	0,0000029 (0,000091)	0,00059 (0,0186)	0,00020 (0,0063)

Таблица 2. Максимальные концентрации вредных веществ при выработке 1 Гкал/час

Вид топлива	Вредные вещества			
	Оксид азота NO <sub>2</sub> , мг/м <sup>3</sup>	Оксид серы SO <sub>2</sub> , мг/м <sup>3</sup>	Оксид углерода CO, мг/м <sup>3</sup>	Твердые вещества, мг/м <sup>3</sup>
Природный газ	0,011	0,00000003	0,000021	-
Топочный Мазут	0,02	0,0000023	0,000029	0,000010
Каменный уголь	0,013	0,0000020	0,00059	0,00041

Таблица 3. Предельно допустимый выброс вредных веществ при выработке 1 Гкал/час

Вид топлива	Вредные вещества			
	Оксид азота NO <sub>2</sub> , г/с	Оксид серы SO <sub>2</sub> , г/с	Оксид углерода CO, г/с	Твердые вещества, г/с
Природный газ	0,51	3,01	30	-
Топочный мазут	0,46	2,72	27,2	0,90
Каменный уголь	0,48	0,72	7,2	0,240

По полученным данным таблиц 1 и 3 можно сделать вывод о том, что выбросы при выработке 1 Гкал в час не превышают предельно допустимых показателей и соответствуют нормам [3]. Наиболее экологически чистым котлом является котел, работающий на природном газе. Наибольший выброс вредных веществ в атмосферу производит котел, работающий на топочном мазуте.

#### Список литературы

1. [http://ru.wikipedia.org/wiki/Экология\\_России](http://ru.wikipedia.org/wiki/Экология_России)
2. [http://www.infosait.ru/norma\\_doc/7/7042/](http://www.infosait.ru/norma_doc/7/7042/)
3. ГН 2.1.6.695-98. Предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. – М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 1998. – 4 с.

#### Экологические показатели Улан-Удэнской ТЭЦ-1 на основе энергоаудита

*Дамбиев Ц.Ц., Ганбаатар Ш., Баранова Е.А., Сафронов Е.В.*

[sh\\_gnbtr@yahoo.com](mailto:sh_gnbtr@yahoo.com)

#### Введение

Данное исследование является частью Программы энергосбережения Республики Бурятия. В качестве объекта исследования была выбрана Улан-Удэнская ТЭЦ-1. Рекомендации эколого-

энергетического обследования ТЭЦ-1 послужили основанием для практической реализации модели повышения энергоэффективности систем теплоснабжения города Улан-Удэ в Республике Бурятия. Улан-Удэнская ТЭЦ-1 является основным теплоснабжающим предприятием г. Улан-Удэ. Годовой отпуск тепловой и электрической энергии станции составляет около 2200 ГВт\*ч, где около 90% приходится на тепловую энергию, а отпуск электроэнергии составляет 10%. ТЭЦ-1 обеспечивает тепловой энергией 50% потребителей г. Улан-Удэ. Оборудование ТЭЦ-1 устарело и имеет низкую эксплуатационную надежность. По этой же причине уровень вредных выбросов в атмосферу высок, что особенно недопустимо в виду того, что ТЭЦ-1 расположена в центральной части города.

Наилучшим решением является реконструкция ТЭЦ-1 в короткий срок, которая может быть выполнена при относительно низких затратах. Выполнение такой задачи позволит покрыть существующий дефицит тепла в городе (до момента пуска в эксплуатацию новых энергоблоков ТЭЦ-2) и снизить до нормы концентрацию вредных выбросов в атмосферу, которая составляет недопустимо высокий уровень в настоящее время.

Суммарная установленная электрическая мощность станции составляет 118 МВт, а установленная тепловая мощность - 1160 МВт (997 Гкал/ч). Несмотря на высокую установленную мощность, станция не может покрыть потребность в тепловой энергии, которая составляет в январе 840 Гкал/ч. В результате этого, потребители вынуждены использовать в целях отопления более дорогой теплоноситель - электроэнергию.

Причины снижения мощности ТЭЦ-1 и предложения по её восстановлению.

По результатам энергоаудита ТЭЦ-1 не может достичь номинальной мощности по следующим основным причинам:

- недостаточный контроль температурного режима воздухоподогревателей паровых котлов;
- использование угля низкого качества по сравнению с проектным;
- низкая надежность работы питателей сырого угля (ПСУ);
- низкая надежность работы регуляторов питания котла (РПК);
- неустойчивый режим работы золоулавливающих установок, частые аварии на котлоагрегатах и паровых турбинах.

В 2011 году коэффициент нагрузки для паровых котлов составил 0,33. Для того, чтобы покрыть спрос на тепло без использования пиковых водогрейных котлов, паровые котлы должны работать с коэффициентом нагрузки равным 0,47. Чтобы достичь такой величины необходимы восстановление и реконструкция оборудования, а также выполнение следующих мероприятий:

- капитальный ремонт котлоагрегатов и паровых турбин;
- замена поврежденных блоков воздухоподогревателей;
- восстановление калориферов котлов;
- восстановление ПВД;
- сжигание угля с более высокой теплотворной способностью;
- реконструкция питателей сырого угля;
- модернизация регуляторов питания котла;
- автоматизация орошения золоулавливающих установок;
- внедрение объединенной информационной системы;
- обучение персонала.

Анализ затрат на топливо и возможности их сокращения

Цены топлива, которые использовались на Улан-Удэнской ТЭЦ-1 в 2011 году показаны на рис.1. Видно, что самым дешевым топливом является Окино-Ключевской уголь. Мазут имеет самую высокую цену за 1 Гкал.

После выполнения реконструкции сжигание мазута на водогрейных котлоагрегатах будет прекращено. Ситуация еще улучшится, если Тугнуйский уголь тоже будет замещен Окино-Ключевским углем. Такие нововведения повысят эффективность ТЭЦ-1.

В прошедшем году 14% тепловой энергии было выработано пиковыми водогрейными котлами, на которых было израсходовано 37 500 тонн мазута, в то время как на паровых котлах было сожжено только 6 200 тонн мазута. Следовательно, пиковые котлы могут быть выведены из работы в резерв, и расход мазута при этом сократится с 43 740 до 6200 тонн в год, что составит лишь 1,8% от теплотворной способности сжигаемого топлива.

По данным энергоаудита потери тепла с механическим недожогом составляют 3,3%, когда норма таких потерь для данных котлов не должна превышать 0,7%. Для сокращения потерь с химнедожогом и мехнедожогом необходимо внедрить систему КИП и Автоматики для контроля и

регулирования содержания кислорода на выходе из топки. Такая система позволит поддерживать оптимальные расходы и соотношения первичного и вторичного воздуха, повышая таким образом КПД котлоагрегатов не менее, чем на 2%. Расходы топлива при этом сократятся приблизительно на 26 миллионов рублей, а затраты на внедрение системы составят всего 18 миллионов рублей. Таким образом, благодаря увеличению объема продаж и сокращению затрат на топливо чистая прибыль возрастет почти вдвое при тех же самых затратах на топливо. Относительный прирост прибыли при этом составит 11,1% от объема продаж.

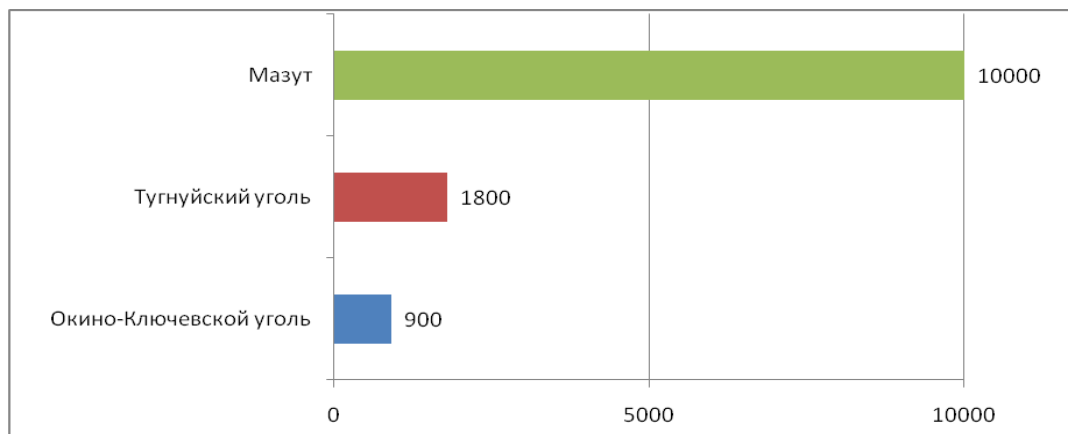


Рис.1. Цена единицы теплоты сгорания топлива, руб/Гкалл

Улучшение экологических показателей

*Снижение выбросов окислов серы, окислов азота и твердых частиц*

В настоящее время выброс вредных веществ в атмосферу является одной из важных проблем энергетики Бурятии. Недопустимо высокий уровень выбросов производится на ТЭЦ-1, особенно, твердых частиц. Это связано с тем, что мокрые золоуловители, которые установлены на станции уже не соответствуют современным экологическим требованиям. Более того, коэффициент улавливания золы снижается из-за неустойчивого режима орошения скрубберов. Поэтому, с целью снижения выбросов твердых частиц в атмосферу предлагается выполнить следующие мероприятия:

- Автоматизация процесса орошения золоулавливания на котле № 11
- Установка кольцевого эмульгатора на котле № 8
- Установка системы экологического контроля на котле № 8

В перспективе, в связи с возрастающими экологическими требованиями, аналогичное оборудование предполагается установить на всех остальных котлоагрегатах. Был рассмотрен вопрос о возможности снижения выбросов твердых частиц на остальных котлоагрегатах при сравнительно низких затратах, то есть без реконструкции существующих мокрых золоуловителей. При этом было выявлено, что основной причиной низкой эффективности улавливания золы является неустойчивый режим процесса орошения скрубберов (срыв мокрой плёнки). В связи с этим было принято решение установить контрольно-измерительное оборудование, которое позволит автоматизировать процесс орошения скрубберов и снизить концентрация твердых частиц в дымовых газах. В комплексе установка эмульгаторов на котлоагрегате № 8 и автоматизация орошения скрубберов на других котлоагрегатах позволят снизить концентрацию выбросов золы на 56%.

Необходимо отметить, что несмотря на увеличение отпуска энергии, относительный объем вредных выбросов сократится благодаря более высокому качеству сжигаемого угля и сокращению использования мазута. Наибольшее содержание серы имеет мазут. Установка дополнительного вентилятора рециркуляции дымовых газов на каждом котлоагрегате позволит уменьшить выбросы окислов серы и азота. Кроме того, с повышением коэффициента мощности паровых котлоагрегатов упадет необходимость использования пиковых водогрейных котлоагрегатов, которые работают на мазуте, в результате чего значительно сократится выброс окислов серы.

Содержание золы на 1 Гкал теплоты сгорания топлива сократится на 9,9%, а серы на 61,5%. Ожидается что удельное содержание твердых частиц и окислов серы в дымовых газах сократится

приблизительно в такой же пропорции как показано на рис.2. Сокращение выбросов окислов азота также будет иметь место благодаря внедрению схемы рециркуляции дымовых газов, которая предусматривает подачу дымовых газов в первичный воздух. Такой метод широко используется во всем мире, он позволяет снизить концентрацию окислов азота в дымовых газах до 30%. Предполагается, что в рассматриваемом случае их концентрация сократится до 20%.

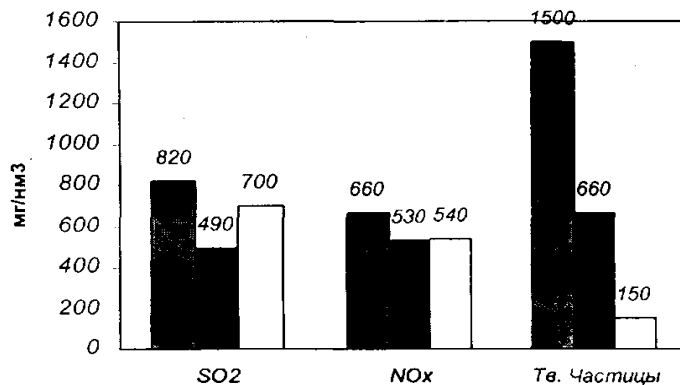


Рис.2. Концентрация выбросов окислов серы, окислов азота и твердых частиц в дымовых газах.

Предлагаемая реконструкция ТЭЦ-1 позволит улучшить не только экономические показатели, но и экологические. Особенно в значительной степени сократятся выбросы в атмосферу твердых частиц и окислов серы.

#### **Сокращение эмиссии двуокиси углерода**

После реконструкции ТЭЦ-1, несмотря на повышение КПД станции на 2%, годовое потребление условного топлива возрастет на 114 290 тонн в год, так как отпуск тепла со станции увеличится на 30%. Однако, благодаря увеличению отпуска тепла, произойдет замещение электроэнергии, которая используется потребителями для отопительных целей, более дешевой тепловой энергией в горячей воде. Потребители города Улан-Удэ, используют на отопительные цели 419 000 МВт\*ч (360 000 Гкал) электроэнергии, на производство которой используется 153350 тонн условного топлива в год на Гусиноозерской ГРЭС. В результате замещения электрической энергии тепловой сократится совокупный объем, потребления условного топлива на вышеуказанных тепловых электростанциях, величина снижения которого составит 39 060 тонн в год или 1,46% объема всего топлива сжигаемого в Бурятии в энергетических, отопительных и промышленных котлоагрегатах. Удельный расход условного топлива на отпущенную электроэнергию с Гусиноозерской ГРЭС составляет 376 г/кВт\*ч, а удельный расход отпущенной тепловой энергии с ТЭЦ-1 150 г/кВт\*ч. В результате совокупного снижения потребления угля и мазута выброс эмиссий CO<sub>2</sub> сократится на 91 610 тонн в год.

#### **Список литературы**

1. Дамбиев Ц.Ц. Основы энергосбережения в ЖКХ. Учебное пособие, издательство БГСХА. 2011 г. 209 стр.
2. Дамбиев Ц.Ц. Охрана окружающей среды в энергетике Байкальского региона. Монография. Бурятское государственное книжное издательство. 1998 г, 211 ст.
3. Дамбиев Ц.Ц. Организация мониторинга воздушного бассейна тепловой электрической станции // Вестник Восточно-Сибирского Государственного Университета Технологий и Управления. – Ула-Удэ: ВСГУТУ, 2012, №2. –С.31-34.
4. <http://esstu.ru>

#### **Новые методики определения ионов тяжелых металлов в сточных водах для дальнейшего мониторинга**

***Елина В.В., Садомцева О.С., Шакирова В.В., Бровко Е.В., Кожина А.Д.***

*Астраханский государственный университет, Россия, г. Астрахань*

[fibi\\_cool@list.ru](mailto:fibi_cool@list.ru)

Вода - ценнейший природный ресурс. Она играет исключительную роль в процессах обмена веществ, составляющих основу жизни. Огромное значение вода имеет в промышленном и сельскохозяйственном производстве. Общеизвестна необходимость ее для жизненных

потребностей человека, растений и животных. Для многих живых существ она служит средой обитания. Ежегодный расход воды на земном шаре по всем видам водоснабжения составляет 3300-3500 км<sup>3</sup>. Дефицит пресной воды уже сейчас становится мировой проблемой. Все более возрастающие потребности в воде заставляют ученых всего мира искать разнообразные средства для решения этой проблемы.

Круговорот воды в природе - это долгий путь ее движения. Он состоит из нескольких стадий: испарения, образования облаков, выпадения дождя, стока в ручьи и реки и снова испарения. На всем своем пути вода сама способна очищаться от попадающих в нее загрязнений - продуктов гниения органических веществ, растворенных газов и минеральных веществ, взвешенного твердого материала. Но эта способность самоочищения не безгранична. Сейчас мы подошли к этой грани вплотную. За последние годы на экологические системы обрушились огромные количества токсичных веществ, от которых они не способны защитить себя самостоятельно. И в основном это неочищенные или плохо очищенные сточные воды.

Очистка сточной воды - один из важнейших факторов здоровья человека, а ее источники подвергаются антропогенному и техногенному воздействию разной интенсивности. Проблема качества воды затрагивает очень многие стороны жизни человеческого общества в течение всей истории его существования. В настоящее время сточная вода - это проблема социальная, политическая, медицинская, географическая, а также инженерная и экономическая.

Наряду с проблемой качества воды, также возникает проблема идентификации загрязняющих веществ и очистки ее от токсикантов. В связи с этим одним из важнейших вопросов экологической химии является определение ионов тяжелых металлов в промышленных сточных водах. При решении этой задачи используются химические, физико-химические, биологические и термические методы. Одним из наиболее распространенных методов определения ионов металлов в промышленных сточных водах является спектрофотометрический метод. Так же физико-химический подход является актуальным для создания новых систем идентификации ионов тяжелых металлов в сточных водах. В связи с этим возникает необходимость в теоретических и экспериментальных исследованиях, направленных на разработку эколого-химических основ новых высокоэффективных методов обнаружения ионов тяжелых металлов в производственных стоках.

В качестве объекта исследования нами были выбраны ионы тяжелых металлов, а именно  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ , которые пагубно влияют на здоровье человека. В основе многих спектрофотометрических методик определения ионов металлов лежат реакции комплексообразования их с различными органическими реагентами.

Таблица 1. Таблица результатов исследования

	$\text{Me}^{n+}$	Ind	Орг.реагент	$\lambda$ , нм	$l$ , см	pH
.	$\text{Fe}^{3+}$	пирокатехиновый фиолетовый (ПКФ)	тиамин	640	1	6
.	$\text{Cu}^{2+}$	Диметилглиоксим (ДМГ)	аскорбиновая кислота	400	1	6
.	$\text{Co}^{2+}$	Диметилглиоксим (ДМГ)	дофамин	500	1	9
.	$\text{Fe}^{2+}$	бромфеноловый синий (БФС)	пиридоксин	440	1	7

В ходе исследования были изучены физико-химические закономерности процесса комплексообразования ионов тяжелых металлов с органическими реагентами: определены термодинамические параметры реакций, проведены стехиометрические расчеты реагентов и образующихся комплексных соединений, изучена кинетика химических реакций, проходящих в водных растворах, определены пиковые концентрации ионов в промывных стоках.

Таблица №2. Таблица результатов исследования физико-химических свойств

№	$\text{Men}^{+}$	C, г/л	$\epsilon$	T, K	$\tau$ , мин	Уравнение градуировочной кривой
1.	$\text{Fe}^{3+}$	10-5 - 7* 10-4	4,75·103	273	240	$y=(0.161\pm 0.074)+(0,320\pm 0.0127x$
2.	$\text{Cu}^{2+}$	2,5*10-5 - 8* 10-4	4,27·103	298	180	$y = 0,12 + 0,15x_i$
3.	$\text{Co}^{2+}$	5*10-5 - 8* 10-4	2·103	298	300	$y=(0,0059\pm 0,0003)+(0,1067\pm 0,040)x$
4.	$\text{Fe}^{2+}$	10-5 - 9*10-4	4,6·103	298	280	$y = (0,220\pm 0,023) + (0,531\pm 0,154) x$

Согласно результатам представленным в таблице 2, время жизни исследуемых комплексов, достаточно высоко, область определения ионов металлов лежит в широком интервале концентраций. Таким образом, образование достаточно устойчивых окрашенных комплексных соединений позволяет в дальнейшем разработать достаточно чувствительные, доступные и оригинальные методики определения ионов тяжелых металлов по светопоглощению комплекса.

#### Список литературы

1. Хабарова О.В., Елина В.В., Данилова М.С., Великородов А.В., Тырков А.Г. «Определение тетрациклина реакцией с молибденом и люмогаллионом»// Научно-технический журнал «Химия и химическая технология». вып. 2. - Иваново. Из-во: ИГХТУ, 2013 г. –с 29-31.
2. Карибьянц М.А., Мажитова М.В.. «Исследование возможности определения эмоксипина с м-крезолфталеконом SA и в присутствии ионов железа»// «Естественные науки», №1. – Астрахань. Из-во: «Астраханский университет», 2009 г. –с 33-40.
3. Калюжина А., Карибьянц М.А., Мажитова М.В., Утеулиева Г.К. « Исследование влияния ионов меди на равновесия в растворах лидокаина»// «Современные проблемы теоретической и экспериментальной химии», вып.7. – Саратов. Из-во: «КУБиК», 2010 г. –с 139-141.
4. Беспаятнов Г.П., Кротов Ю.А. Предельно допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде. Справочник. – Л.: Химия, 1985.– с 528.

#### Оценка интенсивности воздействия автотранспорта на окружающую среду

*С.Н. Ефремова*

*Павлодарский нефтегазовый колледж, Республика Казахстан, г. Павлодар*

[mavya.kadyrova@mail.ru](mailto:mavya.kadyrova@mail.ru)

Проблемы интенсивности движения автотранспорта решаются с учетом пропускной способности магистралей, необходимости освобождения центрального района города от всех видов транспорта, кроме общественного и специального: органов внутренних дел, корой помощи, пожарных, уборочных, доставляющих продукты и товары в детские учреждения и магазины [1]. Во многих странах вводятся ограничения по времени движения транспорта в отдельных районах города по времени суток, дням недели, сезонам. Применяют также и плату за въезд или пользование дорогами.

В крупных городах на долю автотранспорта приходится более половины объема вредных выбросов в атмосферу. Несоответствие транспортных средств экологическим требованиям при продолжающемся увеличении транспортных потоков и плохих дорожных условиях приводит к постоянному возрастанию загрязнения атмосферного воздуха, почв и водных объектов.

Известно, что автотранспорт выбрасывает в воздушную среду более 20 компонентов, среди которых угарный газ, углекислый газ, оксиды азота и серы, альдегиды, свинец, кадмий и канцерогенная группа углеводородов (бенз(а)пирен и бензоантроцен). При этом, наибольшее количество токсичных веществ выбрасывается автотранспортом в воздух на малом ходу, на перекрестках, остановках перед светофорами. Так, на небольшой скорости бензиновый двигатель выбрасывает в атмосферу 0,05% углеводородов (от общего выброса), а на малом ходу - 0,98%, окиси углерода соответственно - 5,1% и 13,8%. Подсчитано, то среднегодовой пробег каждого автомобиля 15 тыс. км. В среднем за это время он обедняет атмосферу на 4350 кг кислорода и насыщает ее 3250 кг углекислого газа, 530 кг окиси углерода, 93 кг углеводородов и 7 кг окислов азота [2].

Целью исследований являлась оценка интенсивности техногенного воздействия автомобильного транспорта на окружающую среду, разработка методов оценки и управления загрязнением биосферы промышленного центра выбросами токсичных веществ автотранспортом и создание банков данных по выбросам автотранспорта.

Поставленная цель достигалась решение следующих задач: разработка методов оценки экологической ситуации и организации экологического мониторинга промышленного центра на примере города Павлодара путем обработки статистических данных по выбросам в атмосферу загрязняющих веществ автотранспортом; проведение исследований по загруженности транспортных потоков городской территории и создание базы данных по параметрам выбросов загрязняющих веществ автотранспортом; проведение расчетов рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере города на основе созданных банков данных по выбросам автотранспорта.



Важным аспектом оценки интенсивности влияния на окружающую среду является оценка загруженности участка улицы автотранспортом в зависимости от его видов, а также оценка уровня загрязнения приземного слоя атмосферы выбросами автотранспортных средств (по концентрации оксида углерода).

Интенсивность движения автотранспорта производится методом подсчета автомобилей разных типов 3 раза по 1 часу (60 минут) в каждом из сроков замеров, в 8, 13, 17 часов. Загруженность движения на улице Лермонтова представлена в таблице 1.

**Таблица 1.** Загруженность автотранспортом на улице Лермонтова

Время	Тип автомобиля	Число единиц
8 <sup>00</sup> - 9 <sup>00</sup>	Легкий грузовой	3
	Средний грузовой	2
	Тяжелый грузовой	-
	Автобус	14
	Легковой	157
13 <sup>00</sup> - 14 <sup>00</sup>	Легкий грузовой	6
	Средний грузовой	4
	Тяжелый грузовой	-
	Автобус	11
	Легковой	109
17 <sup>00</sup> - 18 <sup>00</sup>	Легкий грузовой	8
	Средний грузовой	3
	Тяжелый грузовой	-
	Автобус	9
	легковой	118

На каждой точке учета производится оценка улицы: Тип улицы - магистральные улицы и дороги с многоэтажной застройкой двух сторон; Уклон - 2; Скорость ветра - 4-4,5 м/с; Влажность воздуха - 69% (примерно будет 70%).

Итогом работы является суммарная оценка загруженности улиц автотранспортом согласно ГОСТ - 17.2.2.03-77:

Низкая интенсивность движения 2,7-3,6 тыс. автомобилей в сутки;

Средняя интенсивность движения 8-17 тыс. автомобилей в сутки;

Высокая интенсивность движения 17-27 тыс. автомобилей в сутки.

Загрязнение атмосферного воздуха отработавшими газами автомобилей удобно оценивать по концентрации окиси углерода, мг/м<sup>3</sup> [3]. Исходными данными для работы служат показатели, собранные во время проведения оценки загруженности улицы автотранспортом.

Оценку уровня загрязнения приземного слоя атмосферы по концентрации оксида углерода определили по формуле - формула оценки концентрации углерода ( $K_{CO}$ ):

$$K_{CO} = (0,5 + 0,01 * NK_T) * K_A * K_Y * K_C * K_B * K_{\Pi}$$

где 0,5 - фоновое загрязнение атмосферного воздуха не транспортного происхождения, мг/м<sup>3</sup>; N - суммарная интенсивность движения автомобилей на городской дороге, автомобилей в час;  $K_T$  - коэффициент токсичности автомобилей по выбросам в атмосферный воздух CO;  $K_A$  - коэффициент, учитывающий аэрацию местности;  $K_Y$  - коэффициент, учитывающий изменение загрязнения атмосферного воздуха CO в зависимости от величины продольного уклона;  $K_C$  - коэффициент, учитывающий изменение концентрации углерода в зависимости от скорости ветра;  $K_B$  - коэффициент относительной влажности воздуха;  $K_{\Pi}$  - коэффициент увеличения загрязнения атмосферного воздуха CO у пересечений.

На основании проведения практических расчетов и экспериментальных наблюдений, в ходе исследования пришли к выводу, что необходимо провести информационное обеспечение по установлению загрязнения автотранспортом. Что позволило бы нам в более короткие сроки узнать

полную достоверную информацию с помощью баз данных, которые базируются на теоретических основах их проектирования. На основании собранных материалов создали базу данных. В базу данных вошла такая информация, как количество автотранспорта, динамика выбросов и др.

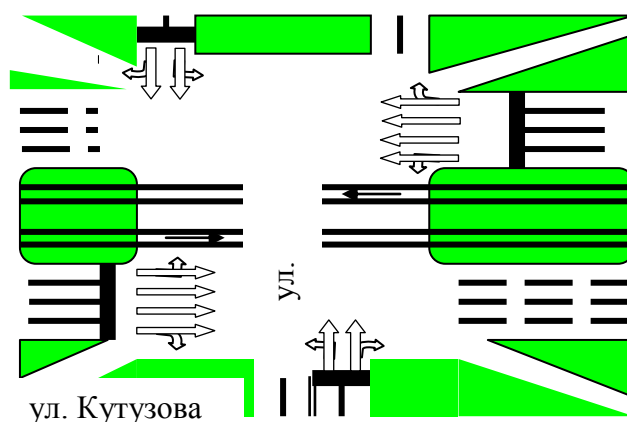


Рисунок 1. Участок обследования интенсивности транспортных потоков

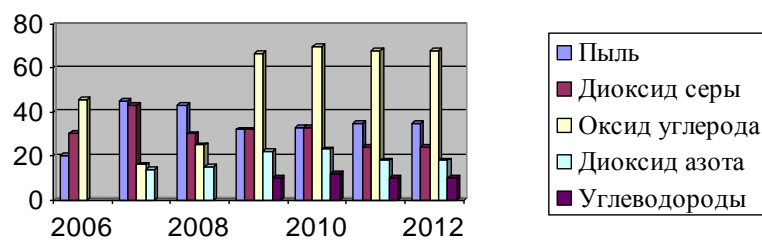


Рисунок 2. Динамика выбросов загрязняющих веществ в атмосферу

Для создания базы данных по параметрам выбросов загрязняющих веществ в атмосферу г. Павлодара производились измерения интенсивности транспортных потоков и распределение по категориям автомобилей семи основных магистралей города.

Для повышения достоверности результатов исследований, транспортные магистрали, выбранные как линейные источники загрязнения атмосферы, разбивались на отдельные квадраты с определенной плотностью потока автотранспорта. Анализ результатов показывает, что вклад в уровень загрязнения атмосферы г. Павлодара выбросами автотранспорта по оксидам азота ( $\text{NO}_x$ ) и углеводородам по всей территории составляет 0,1 ПДК и 0,05 ПДК соответственно, а на отдельных участках, где плотность потока наибольшая - 0,2 ПДК. Наиболее неблагоприятная картина складывается по загрязнению оксидами углерода (СО), когда уровень загрязнения на основной территории составляет 0,5 ПДК, а в отдельных случаях (ул. Камзина, ул. Ак. Сатпаева) достигает 2,0 ПДК.

Поэтому разработка средств контроля и управления качеством окружающей среды, уменьшение загрязнения атмосферы токсичными веществами, выделяемыми автомобильным транспортом является главной задачей.

В результате анализа литературных данных, проведения экспериментальных замеров определена экологическая ситуация в г. Павлодаре, сложившаяся в результате воздействия вредных выбросов автотранспорта. Изучена динамика изменения суммарных выбросов в атмосферу с учетом «вклада» автотранспорта, которая свидетельствует о том, что происходит рост загрязнения атмосферного воздуха по отдельным веществам.

Проведенные исследования показали, что экологическая обстановка в городе на основных автомагистралях и прилегающих к ним дорогам, не достаточно ровная. В течение дня автомобильным транспортом выбрасывается огромное количество вредных веществ загрязняющих не только атмосферу, но и гидросферу с литосферой города Павлодара. И этот вред можно сопоставить с воздействием крупных предприятий региона на экологическую обстановку области. Благодаря метеорологическим условиям и расположению города атмосфера

самоочищается, но необходимо обратить внимание на то, что в весенне-летний период состояние ее всегда ухудшается, и, не принимая необходимых мер, город с каждым годом, будет "задышаться", особенно в теплую, тихую, безветренную погоду.

Оценка состояния окружающей среды, проведенная на основе обработки литературных данных, статистической отчетности предприятий и собственных практических исследований свидетельствует о напряженной экологической обстановке в городе Павлодаре. Установлено, что одним из основных источников загрязнения атмосферы промышленного центра является автотранспорт, вклад которого составляет 40% от суммарного загрязнения города Павлодара. Исследование по загруженности транспортных магистралей города позволили выявить 7 основных из них, произвести распределение автотранспорта по категориям и на основе натурных обследований структуры и интенсивности потока и начать создание банка данных по выбросам загрязняющих веществ в атмосферу. Анализ результатов показывает, что вклад в уровень загрязнения атмосферы города Павлодара выбросами автотранспорта по окислам азота и углеводородам по всей территории составляет 0,1 ПДК и 0,05 ПДК соответственно, а на отдельных участках, где плотность потока наибольшая - 0,2 ПДК. А наиболее неблагоприятная картина складывается по загрязнению оксидами углерода, когда уровень загрязнения на основной территории составляет 0,5 ПДК, а в отдельных случаях (ул. Чокина, ул. Ак. Сатпаева) достигает 2,0 ПДК. Предложен принцип экологического мониторинга, обеспечивающий управление качеством воздушного бассейна, на основании созданных баз данных параметров выбросов загрязняющих веществ автотранспорта. Плата за выбросы загрязняющих веществ представляет собой компенсацию за экономический ущерб от загрязнения окружающей среды, вследствие этого экономическая эффективность возрастет за счет взимания экологического налога, если это распространить и на личный транспорт автовладельцев, а не только взимать налог с автотранспорта природопользователей.

Нельзя прекратить выпуск и эксплуатацию транспорта, как нельзя затормозить прогресс, но можно и нужно разрабатывать мероприятия по уменьшению загрязнения окружающей среды, не допуская экологической обстановки. Но, рассмотрев проблему с технологической точки зрения можно предложить следующие пути сокращения воздействия автотранспорта на экологию города Павлодара: оптимизация движения городского транспорта; разработка альтернативных энергоисточников; дожигание и очистка органического топлива; создание (модификация) двигателей, использующих альтернативные топлива; а также - повысить культуру эксплуатации автомобилей. Количество неисправных автомобилей, находящихся в эксплуатации до сих пор весьма велико.

#### Список литературы

1. Аксенов И.Я., Аксенов В.И. Транспорт и охрана окружающей среды. - М.: Транспорт - 1999.
2. Болбас М.М. и др. Основы промышленной экологии: автомобильный транспорт. Изд. Высшая школа. Минск, 1998.
3. Экологическая безопасность транспортных потоков. Под редакцией Дьякова А.Б. Изд. Транспорт. Москва, 2007.

#### Исследование химической кинетики поглощения газового конденсата почвами Омской области

**Жемчужова Е.Ю.**

*Омский государственный технический университет, Россия, г.Омск*

[elena.17.02.83@mail.ru](mailto:elena.17.02.83@mail.ru)

Активное развитие нефтеперерабатывающей промышленности все больше создает проблем, связанных с загрязнением окружающей среды. Нефть и нефтепродукты являются одним из основных и крупномасштабных загрязнителей окружающей среды. Только по официальным данным, в России потери нефти и нефтепродуктов достигают почти 5 млн. т. в год; а в мире при добыче, транспортировке, хранении и использовании теряется около 50 млн. т. нефти и нефтепродуктов ежегодно [9].

Для России проблема ликвидации разливов нефти особенно актуальна, поскольку на ее территории в настоящее время эксплуатируется более 550 тыс. км трубопроводов [5].

Абсолютное большинство аварийных разливов нефти вызывают сильные и во многом необратимые повреждения природных комплексов. Почва, в отличие от атмосферного воздуха, владеет способностью аккумулировать разные загрязнения, которые попадают на нее. При утечках

значительного количества нефти, на начальной стадии происходит вертикальная миграция в глубокие слои почвы, вплоть до грунтовых вод. При таких обстоятельствах концентрация нефтепродуктов в почвах достигает такой величины, при которой начинаются негативные экологические изменения. Углеводороды нефти способны образовывать в процессе трансформации токсичные соединения, обладающие канцерогенными и мутагенными свойствами, что создает угрозу для здоровья человека [5]. На миграцию нефтяных компонентов в почвах влияет большое количество факторов, таких как свойства принимающей среды (климатические условия, водно-термический режим, наличие или отсутствие мерзлоты, тип почвы, влажность почвы на момент загрязнения и особенности ее гранулометрического состава [7]). Именно они определяют скорость продвижения нефти, а вследствие этого – и соотношение процессов испарения и радиальной миграции, возможность применения технических средств для оперативного удаления углеводородов из почв.

Проблеме исследования проницаемости нефти и нефтепродуктов в почву уделяется достаточно много работ [7,2,6,8 и др.], однако Омской области в данных работах не уделено внимание. Особенно, если учесть, что магистральные нефтепроводы пересекают значительную территорию Омской области, почвы разнообразны по составу.

Из выше сказанного, актуальными являются исследования, направленные на изучение поглощающей способности почв относительно нефтепродуктов.

Целью проведенных исследований было определение способности разных почв поглощать нефтепродукты, в частности газовый конденсат.

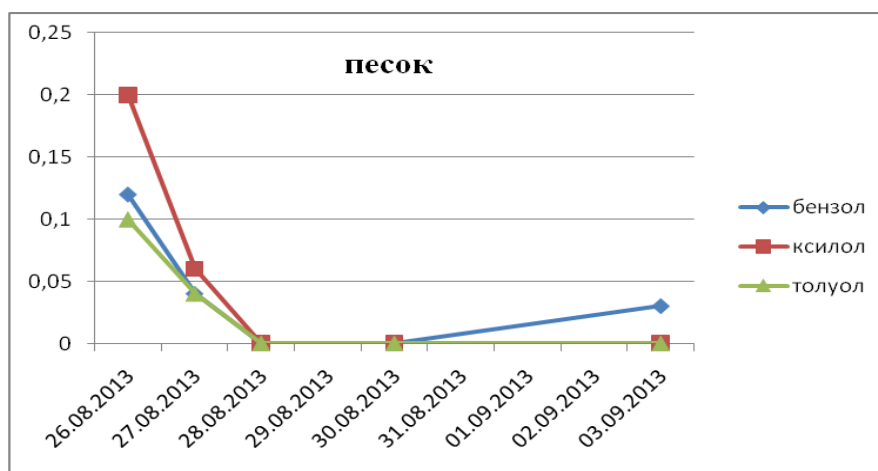
Для изучения кинетики поглощающей способности почв нами предварительно было отобрано три образца почвы, преобладающих на территории Омской области: черноземы обыкновенные, глинистая и песчаная. В качестве нефтепродукта использовали машинное масло класса вязкости 5W40.

К наиболее активным и быстродействующим токсикантам относятся бензол, ксилол, толуол и др. [4].

В связи с этим, было проведено исследование зависимости поглощающей способности почв ксилола, толуола и бензола от времени поглощения и вида почвы.

Для определения данной зависимости использовался геохимический метод, а именно метод с использованием переносных полевых приборов. Преимуществом этого метода является экспрессность как самих работ, так и получаемых результатов, что немаловажно для оперативного принятия мер при ликвидации нефтезагрязнений.

Исследование проводилось при помощи газоанализатора КОЛИОН-1В. Газоанализатор является удобным средством предварительного контроля загрязненности почвы нефтепродуктами и другими органическими веществами с целью определения мест максимальной загрязненности для проотбора и последующего анализа, оценки глубины проникновения загрязнителя в почву и пр. Для этого измеряется содержание загрязнителей в воздухе над поверхностью почвы. Превышение измеренных значений над фоновым указывает на наличие загрязнителя в исследуемой точке.

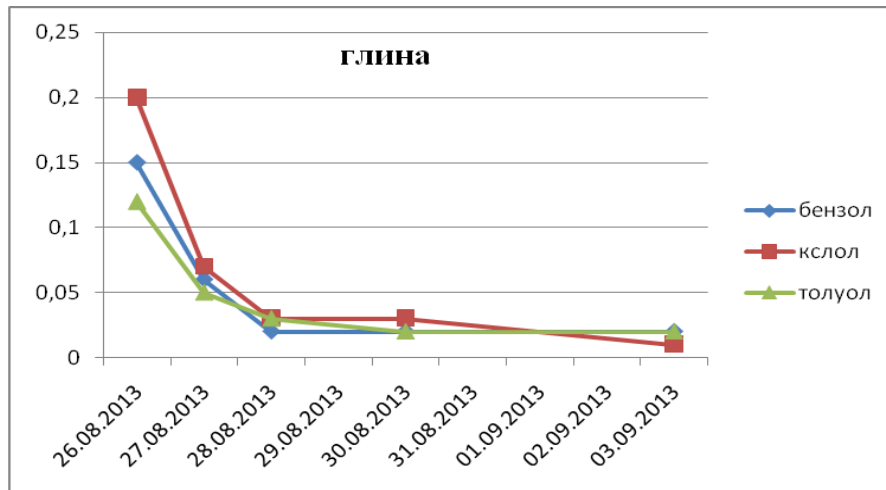
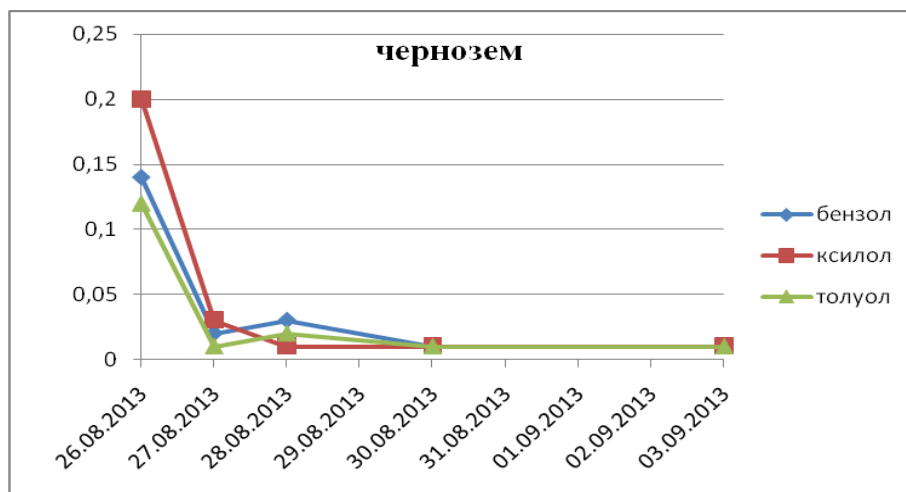


Благодаря быстродействию прибора обследование даже больших площадей может быть выполнено за короткое время. [10]

На основе полученных результатов построены графические зависимости.

Кинетика поглощения всех видов почв характеризуется постоянной скоростью радиального продвижения в первые моменты от начала эксперимента, с постепенным замедлением поглощения до установленного равновесия [1].

Кинетика поглощения песчаной почвы характеризуется достаточно быстрой радиальной трансформацией нефтепродукта. Тогда, как поглощение глинистой почвы очень медленное. Это подтверждается определенным количеством газового конденсата на поверхности с течением времени в отличии от песчаной почвы.



Таким образом, проведенные исследования показали, что песчаные почвы интенсивно поглощают газовый конденсат. Для проникновения нефтепродукта в глинистую почву требуется в несколько раз больше времени, чем в песчаную. Чернозем занимает промежуточное положение по поглощению газового конденсата.

Следовательно, гранулометрический состав почвы влияет на миграционные процессы нефтепродуктов в ее поверхностные слои.

Эти результаты свидетельствуют, что время реагирования аварийно-спасательных подразделений на аварийные разливы (чтобы предотвратить проникновение нефтепродукта в глубинные слои почвы) будет зависеть от вида и строения почвы.

Для этого необходимо разработать оптимальный методический комплекс для идентификации основных источников загрязнения, а также определения уровня и динамики

техногенного воздействия на окружающую среду. Для полной достоверной информации о перемещении углеводородов необходимо сократить время.

#### Список литературы

1. Бенсон С. Основы химической кинетики: Пер. с англ. 1964.
2. Груздкова Р.Л., Сурнин В.А. Распространение нефтяного загрязнения в почве//Загрязнение почв и сопредельных сред. Труды ин-та экспер. метеорологии М.: Гидрометеоздат. 1990. – Вып. 17 (145).
3. Ю.С. Другов, А.А. Родин Экологические анализы при разливах нефти и нефтепродуктов. Практическое руководство: 2-е изд., переаб. И доп. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. – 270с.: ил. – (Методы в химии)
4. Исмаилов Н.М. Современное состояние методов рекультивации нефтезагрязненных земель /Н.М. Исмаилов, Ю. И. Пиковский // Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем. – М.: Наука, 1988. - С. 222 – 230.
5. Каюкова Г.П., Гарейшина А.З., Егорова К.В. и др. Нефти и нефтепродукты – загрязнители почвы// Химия и технология топлив и масел. 1999. №5. С. 37-43.
6. Лукьянчикова В.М. Закономерности растекания линзы нефтепродуктов по поверхности грунтовых вод // Изучение загрязнения подземных вод на опытно-производственных полигонах. М., ВСЕГИНГЕО, 1990.
7. Пиковский Ю.И. Природные и техногенные потоки углеводородов в окружающей среде. М.: МГУ, 1993. 206с.
8. Пиковский Ю.И. Трансформация техногенных потоков нефти в почвенных экосистемах// Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем. Под ред. М.А. Глазовской. М.: Наука, 1988.
9. Фомин Г.С. Коррозия и защита от коррозии. Энциклопедия международных стандартов. М.: Изд-во стандартов, 1999. 520с.
10. Руководство по эксплуатации ЯРКГ 2.840.003-01РЭ

#### Анализ годовой энергетической освещенности на основании метеонаблюдений погоды в Душанбе

*Иноятов М.Б., Масуми Ф.Н., У.У. Косимов*  
*loiknstu@mail.ru*

В статье проведен анализ годовой энергетической освещенности на основании метеонаблюдений погоды в Душанбе. Получена наименьшая среднесуточная энергия и максимальная за сутки. Полученные материалы могут быть использованы для расчета солнечных энергоустановок.

Ключевые слова: электроснабжения, солнечные электроэнергетические установки, освещенность, инсоляция.

Во многих регионах Таджикистана, для увеличения охвата территории и увеличения эффективности работы GSM мобильной связи, возникает необходимость установки радиоэлектронного оборудования БС и РРЛ в труднодоступных и удаленных от промышленной электросети местах.

Применение в таких точках генераторов на органическом топливе (дизельное топливо, бензин, сжиженный газ) не решает проблему электроснабжения БС и РРЛ. Это связано с трудностью обеспечения топливом генераторов (с созданием большого запаса топлива в местах установки БС и РРЛ или с его доставкой), с увеличением пожароопасности объектов, большой ценой на топливо (1 литр соляра стоит примерно 1\$) и необходимостью регулярного обслуживания генераторов. Расход дизельного топлива у дизель генераторов (ДГ) составляет 0,4 литра на 1кВт электроэнергии. К тому же, есть такие удалённые точки установки БС и РРЛ, куда доступ в зимнее время не возможен.

Наиболее перспективным способом электроснабжения оборудования БС и РРЛ удалённых точек является использование возобновляемых источников энергии, таких как:

- энергии солнца;
- энергии ветра.

Для солнечной энергии характерно неравномерное её поступление в течении суток: полное отсутствие освещения в ночное время, зато регулярное наличие инсоляции в дневное время. Инсоляция в данной местности зависит не только от времени суток, но и от времени года и облачности.

В отличие от солнечной энергии, энергия ветра может быть использована в любое время суток круглый год, но только при наличии ветра со скоростью  $V_B \geq 4$  м/с.

Завод-изготовитель указывает номинальную мощность ветрогенератора (ВГ) при скорости ветра  $V_n = (8-9)$  м/с. При снижении скорости ветра в 2 раза, вырабатываемая ВГ электроэнергия падает в 8 раз. Следует иметь в виду, что стартовая скорость ветра для лопастных ВГ составляет 2 м/с. Поэтому имеет смысл устанавливать ВГ в тех местах, где средняя за сутки скорость ветра  $V_B \leq 3$  м/с.

Солнечные электроэнергетические установки, при относительно больших начальных капиталовложениях, не требуют затрат на приобретение топлива и эксплуатационные расходы у них меньше, чем у ДГ.

Хотя ВГ имеют стоимость меньшую, чем солнечные электроэнергетические установки при одинаковых номинальных мощностях, использование ВГ ограничено скоростью ветра в данной местности.

#### Исследование инсоляции в Душанбе и в различных регионах Таджикистана.

Вся территория Таджикистана расположена в пределах ( $37^\circ$ - $40^\circ$ ) северной широты.

Азимутальное положение и возвышение солнца над горизонтом для  $40^\circ$  СШ показано на рис 1 [1].

Из рис. 1 видно, что возвышение солнца в полдень над горизонтом.

- в декабре  $30^\circ$ ,
- в июне  $72^\circ$ .

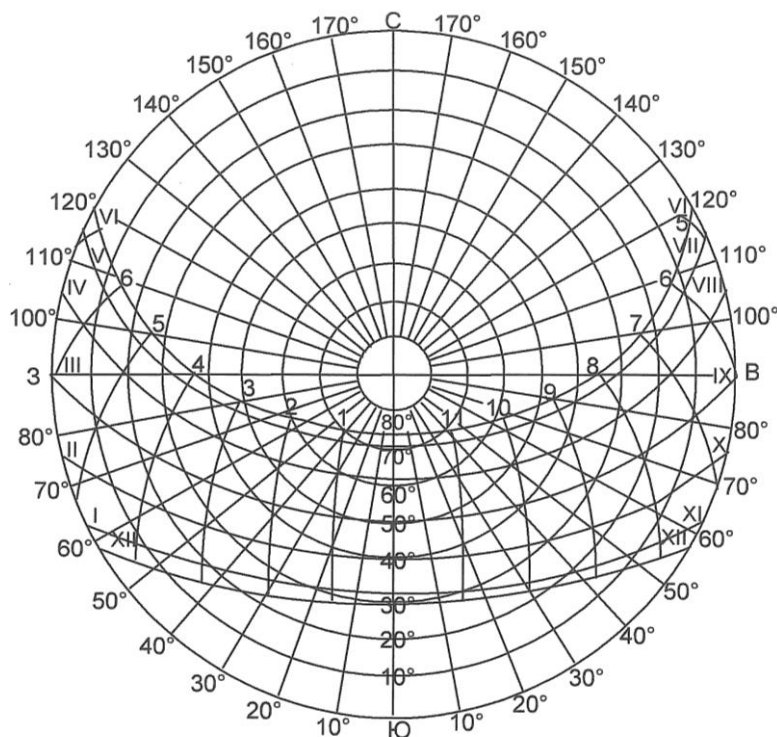


Рис. 1. Возвышение солнца в полдень над горизонтом

Эффективное время освещения солнечных панелей, ориентированных на юг:

- декабрь, январь – 6 часов;
- ноябрь, февраль – 6,5 часов;
- октябрь, март – 7 часов;
- сентябрь, август – 8 часов;
- июнь, июль – 8 часов;
- май, апрель – 8 часов.

Хотя продолжительность светового дня в мае, июне, июле, августе, сентябре больше 10 часов, но солнце утром и вечером находится в северной части полусферы. В связи с этим

эффективное время освещения солнечных панелей, ориентированных на юг не превосходит 8 часов.

Рекомендованное расположение солнечных панелей:

- ориентация на юг;
- угол наклона  $\alpha$  панелей относительно горизонта ( $45^\circ$ - $47^\circ$ ).

При такой ориентации СП потери освещенности зимой в полдень практически отсутствуют, а летом – не превосходят 10%.

Угол наклона СП относительно горизонта  $\alpha=45^\circ$  существенно ослабляет снегозадержание в зимнее время.

Основным погодным фактором, определяющим энергетическую освещенность, является облачность. В ясный солнечный день (вне зависимости от времени года), в эффективный интервал времени освещения СП, поток мощности  $\Phi_{\max} = 1000 \text{ Вт/м}^2$ . Была выведена эмпирическая формула, связывающая энергетическую освещенность со средней за световой день облачностью  $B$ , выраженной в баллах:

$$\Phi(B) = [100 + (1 - B/10) * ] \text{ В/м}^2$$

Рассчитанная по выражению (1) энергетическая освещенность  $\Phi(B)$  от средней за световой день облачностью в приведена в таб. 1

Таблица 1

В баллы	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\Phi(B)$ $\text{В/м}^2$	1000	910	820	730	640	550	460	370	280	190	100

Здесь:

$B$  – баллы в 10 – бальной системе (0 - 10).

На основании метеонаблюдений погоды в Душанбе [2] за 2009, 2010 годы были получены зависимости среднесуточной энергии, падающей на  $1 \text{ м}^2$ , усредненной за 1 месяц (рис.2, рис.3).

Для сравнения приведена аналогичная зависимость [3] для Сочи ( $43^\circ$  СШ), рис.4., измеренная пиранометром. Несколько большее значение плотности среднесуточной энергии для Сочи в мае – сентябре утром и вечером в северной части полусферы.

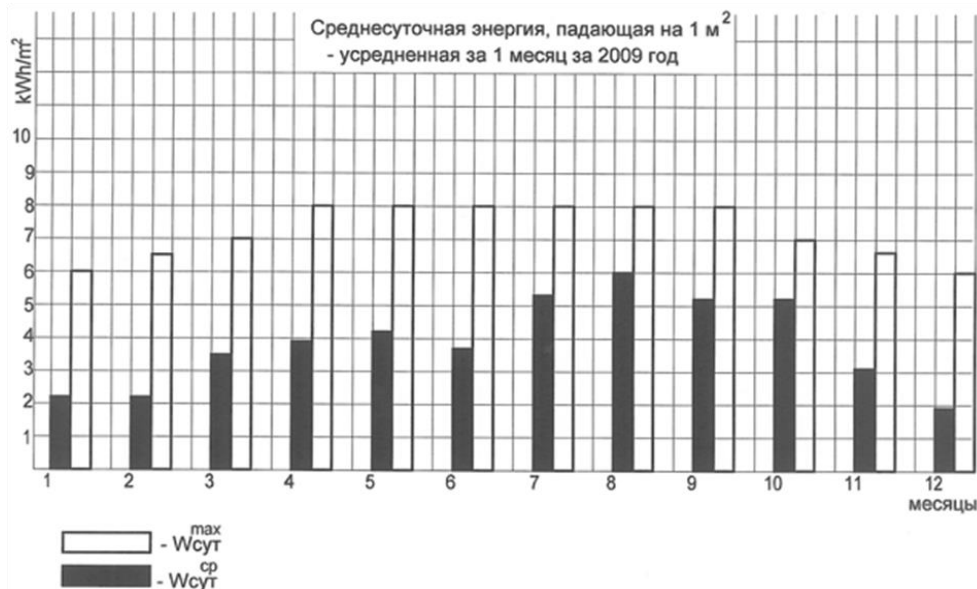


Рис. 2. Среднесуточная энергия, падающая на  $1 \text{ м}^2$  – усредненная за 1 месяц за 2009 год

Из зависимостей, показанных на рис.2 – рис.4, видно, что наименьшая среднесуточная энергия, приведенная к  $1 \text{ м}^2$ , соответствует январю, февралю, декабрю и составляет  $2 \text{ кВтч/м}^2$  за световой день.

Для января и декабря максимальная за сутки плотность энергии  $W_{\text{сут}}^{\max}$  при отсутствии облачности составляет  $W_{\text{сут}}^{\max} = 6 \text{ кВтч/м}^2$ , т.е. в 3 раза больше, чем среднесуточная плотность



энергии, усредненная за месяц с учетом облачности,  $W_{cc}=2 \text{ кВтч/м}^2$  и

$$\frac{W_{cc}^{\max}}{W_{cc}} = \frac{6 \text{ кВтч/м}^2}{2 \text{ кВтч/м}^2} = 3$$

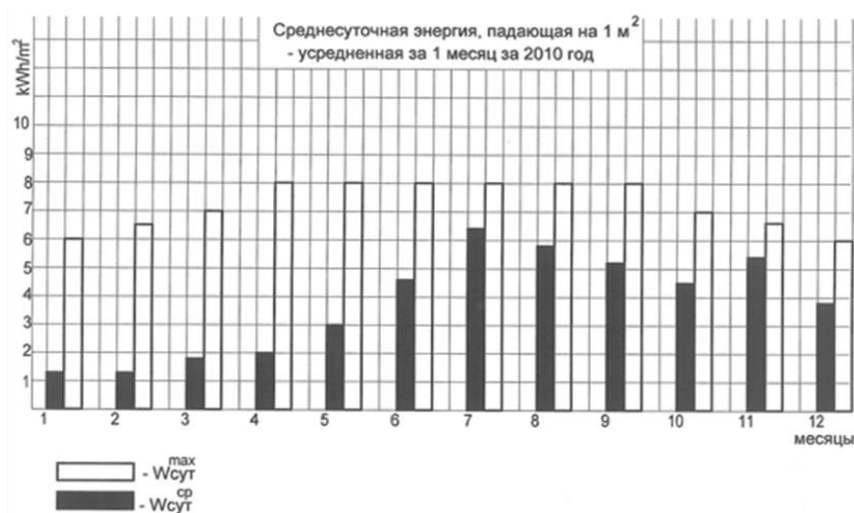


Рис. 3. Среднесуточная энергия, падающая на 1 м² – усредненная за 1 месяц за 2010 год

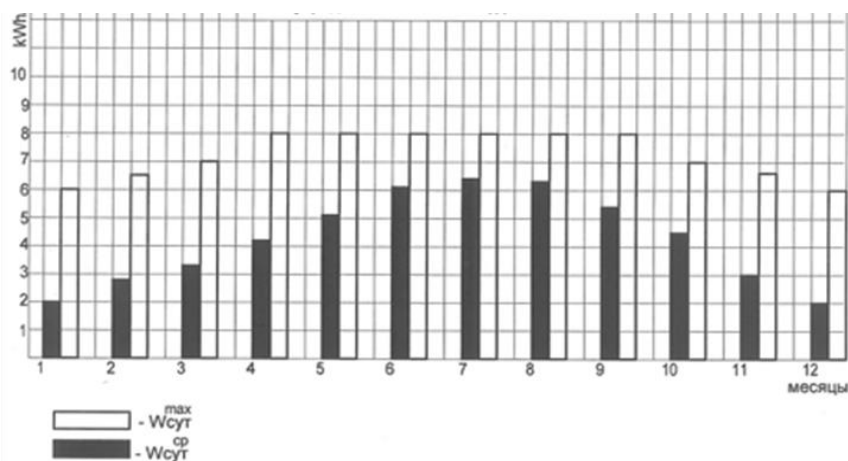


Рис. 4 Среднесуточная энергия, падающая на 1 м² – усредненная за 1 месяц за 2010 год

Полученные материалы могут быть использованы для расчетов солнечных энергетических установок.

#### Список литературы

1. Справочные материалы по строительству зданий с пассивным гелиообогревом, труды инженеров строительной академии КНР, Beijing, 2010
2. Архив погоды Душанбе. Расписание погоды, [http://rp5.tj/archive.php?wmo\\_id=38836&lang=ru](http://rp5.tj/archive.php?wmo_id=38836&lang=ru)

**Аспекты тонкодисперсного аэродинамического распыления**  
**Ишматов А.Н., Елесин В.В.\*, Трубников А.А., Огородников С.П.\***  
 ИПХЭТ СО РАН, г. Бийск  
 ОАО «ФНПЦ «Алтай», г. Бийск  
[ishmatoff@rambler.ru](mailto:ishmatoff@rambler.ru)

#### Введение

Тонкодисперсное аэродинамическое распыление расплавов и растворов широко применяется для получения субмикронных наноразмерных частиц [1-3]. Применение таких частиц актуально для создания систем эффективной нейтрализации токсичных аэрозолей и газов.

Тонкодисперсное распыление происходит вследствие комплекса действующих факторов, таких как сильная турбулентность, кавитация, аэродинамическое сопротивление и др. [1, 4, 5-7].

Схематически распыление жидкости можно представить в виде (рис. 1).

На основе аналитических соотношений при анализе аэродинамической неустойчивости и дезинтеграции вязких жидкостных пленок в работах [8, 9] предложена формула расчета разбиения плоской жидкостной пленки на струйки:

$$d_L = 0.9614 \cos \theta \left( \frac{h^4 \sigma^2}{\rho_g \rho_L U_f^4} \right)^{1/6} \cdot \left( 1 + 2.6 \mu_L \cos \theta \left( \frac{h^2 \rho_g^4 U_f^7}{72 \rho_L^2 \sigma^5} \right)^{1/3} \right)^{1/5}, \quad (1)$$

где  $d_L$  – диаметр нити (ligament);  $\theta$  – половинчатый угол распыла;  $h$  – толщина жидкостной пленки;  $\sigma$  – поверхностное натяжение жидкости;  $\rho_g$  – плотность газа;  $\rho_L$  – плотность жидкости;  $U_f$  – разность скоростей между жидкостью и воздухом;  $\mu_L$  – коэффициент динамической вязкости жидкости.

Жидкостная струйка разбивается на капли диаметром:  $D=1,89d_L$  [1].

1 Теоретическая оценка конструкции экспериментального распылителя

Для экспериментального исследования была выбрана стандартная конструкция аэродинамического распылителя (рис. 2). При построении модели расчета распылителя с каналом переменного сечения использовались нестационарные уравнения газовой динамики в частных производных для одномерного случая, выражающие закон сохранения массы (4), количества движения (5), энергии (6). Систему (4-6) замыкает уравнение состояния (7), записанное для внутренней энергии.

$$\frac{\partial \rho_g S}{\partial t} + \frac{\partial \rho_g S U_g}{\partial x} = 0, \quad (4)$$

$$\frac{\partial \rho_g S U_g}{\partial t} + \frac{\partial (\rho_g U_g^2 + P)}{\partial x} = 0, \quad (5)$$

$$\frac{\partial \rho_g S \left( e + \frac{U_g^2}{2} \right)}{\partial t} + \frac{\partial \left[ \rho_g U_g \left( e + \frac{P}{\rho_g} + \frac{U_g^2}{2} \right) \right]}{\partial x} = 0, \quad (6);$$

$$e = \frac{P}{\rho_g (k-1)}, \quad (7)$$

где  $U_g$ ,  $P$ ,  $e$  – скорость, давление, внутренняя энергия газового потока,  $S$  – площадь сечения канала,  $t$  – время,  $x$  – координата вдоль которой ведется расчет,  $k$  – показатель адиабаты. Граничные условия на входе форсунки рассчитывались, исходя из известной величины давления нагнетающего газа  $P_{in}$  по формулам:

$$\rho_{in} = \frac{P_{in}}{(R_v T)}, \quad (8);$$

$$G_m = S \cdot P \cdot \sqrt{\frac{k}{R_v \cdot T} \cdot \left( \frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}}, \quad (9);$$

$$U_{in} = \frac{G}{\rho_m \cdot S_{in}}, \quad (10)$$

где  $R_v$  – газовая постоянная для выбранного типа газа,  $T$  – температура газа,  $G_m$  – массовый расход газа через сопло,  $S_{in}$  – площадь сечения, через которое газ поступает на вход распылителя. Граничные условия на выходе рассчитываются, исходя из известных параметров торможения на одном из предыдущих узлов, т.к. параметры торможения характеризуют состояния газа в узле при любом процессе [10].

$$P_{out} = P_{11} \cdot \left( \frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}}, \quad (11);$$

$$\rho_{out} = \rho_{11} \cdot \left( \frac{2}{k+1} \right)^{\frac{1}{k-1}}, \quad (12);$$

$$U_{out} = \frac{G}{\rho_{11} \cdot S_{out}}, \quad (13)$$

здесь  $11$  – узел, который находится перед крайним правым (предпоследний).

Для реализации расчета по уравнениям (4-6) строилась сетка и применялась конечно-разностная схема (14-16), предложенная С.К. Годуновым [11], которая обладает надежностью и устойчивостью при решении подобных задач.

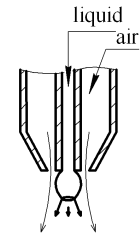


Рис. 1. Схема формирования и разбиения пленки жидкости при аэродинамическом распылении

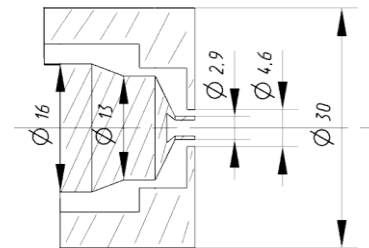


Рис. 2. Схема распылительной головки

$$(\rho_g \cdot S)_i^{j+1} = (\rho_g \cdot S)_i^j - (\tau/l) \cdot (M_i^j - M_{i-1}^j), \quad (14)$$

$$(\rho_g \cdot U_g \cdot S)_i^{j+1} = (\rho_g \cdot U_g \cdot S)_i^j - \frac{\tau}{l} \cdot (I_i^j - I_{i-1}^j) - \frac{\tau \cdot P_i^j}{l} \cdot (S_i^j - S_{i-1}^j), \quad (15)$$

$$\left[ S \cdot \rho_g \cdot \left( \frac{P}{(k-1) \cdot \rho_g} \right) + \frac{U^2}{2} \right]_i^{j+1} = \left[ S \cdot \rho_g \cdot \left( \frac{P}{(k-1) \cdot \rho_g} \right) + \frac{U_g^2}{2} \right]_i^j - \frac{\tau}{l} \cdot (E_i^j - E_{i-1}^j), \quad (16)$$

В конечно-разностной системе уравнений (14-16) введены следующие обозначения:  $i$  – номер узла вдоль оси изделия;  $j$  – номер итерации по времени;  $l$  – размер шага по пространству (длина деленная на количество узлов);  $\tau$  – размер шага по времени, который рассчитывается согласно условию Куранта ( $\tau = K \cdot h / \tilde{n}$ ,  $K$  – число Куранта,  $c$  – скорость звука в газе);  $S$  – площадь сечения в узле  $i$ ;  $M$ ,  $J$ ,  $E$  – потоки массы, импульса и энергии, рассчитываемые по формулам:

$$M = S \cdot \rho'_g \cdot P',$$

$$J = S \cdot (P' + \rho'_g \cdot (U'_g)^2),$$

$$E = S \cdot \left[ \rho'_g \cdot U'_g \cdot P' / ((k-1) \cdot \rho'_g) + U_g'^2 / 2 \right],$$

где  $\rho'_g$ ,  $P'$ ,  $U'_g$  – плотность, давление и скорость на контактном разрыве между двумя соседними узлами сетки, которые рассчитываются согласно методу, предложенному С.К. Годуновым [11].

С помощью приведенной методики численно исследовалась зависимость плотности воздуха в выходном отверстии от давления воздуха, поступающего в изделие, указанные расчетные зависимости приведены на рис. 3.

Также было установлено, что величина скорости потока и объемного расхода при установившемся течении не меняется в зависимости от давления поступающего воздуха. Скорость в сопле ограничена величиной  $\sim 350$  м/с. Расчетный объемный расход воздуха составил  $G_V = 2.46 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>/с. Это объясняется тем, что при увеличении давления газа одновременно возрастает плотность и массовый расход газа на пропорциональную величину, таким образом  $G_V = G_m / \rho_{out} = const$ .

## 2 Влияние плотности газового потока на распыление

В эксперименте для распыления использовалась дистиллированная вода, расход жидкости составлял  $\sim 0,003$  кг/с, давление газа на входе варьировалось от 0,2 МПа до 2,0 МПа, что соответствовало изменению плотности газового потока на выходе от 1,4 кг/м<sup>3</sup> до 14,0 кг/м<sup>3</sup> (результаты расчета). Для численного эксперимента, оценка толщины жидкостной пленки проводилась в соответствии с уравнением (17) [12], а также путем численного подбора при обратном решении уравнения (3) при известном среднем диаметре капель (рис. 4). В качестве характеристического использовался средний объемно-поверхностный диаметр D32.

$$h = \frac{1}{2} \left[ d_0 - \left( d_0^2 - \frac{4m_L}{\pi \rho_L U_L} \right)^{\frac{1}{2}} \right], \quad (17)$$

где  $d_0$  – диаметр выходного отверстия форсунки;  $m_L$  – массовый расход жидкости;  $U_L$  – скорость истечения жидкости. Для измерений применялся лазерный анализатор Malvern Spraytec. В результате проведенной численно-экспериментальной оценки показано, что влияние плотности газового потока (от 3 кг/м<sup>3</sup> до 14 кг/м<sup>3</sup>) на диспергирование жидкости незначительно. В соответствии с проведенной оценкой найдено:  $h \approx 0,15$  мм.

## 3 Влияние скорости газового потока на диспергирование жидкости

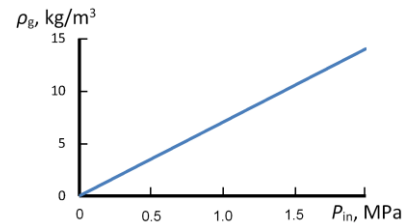


Рис. 3. Зависимость плотности газа в выходном отверстии от входного давления воздуха

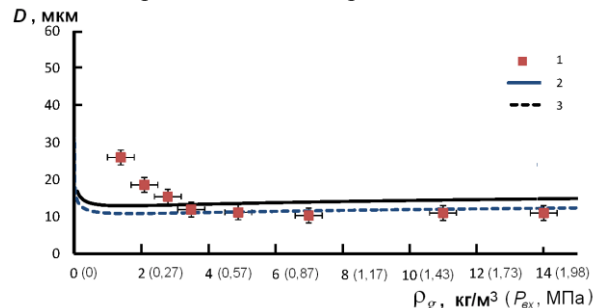


Рис. 4. Влияние плотности газового потока на распыление: 1 – эксперимент; 2 – расчет ( $h=0,19$  мм); 2 – численный подбор ( $h=0,15$  мм)

Для изучения возможностей повышения эффективности распыления, проведена численная оценка влияния параметров обдува (скорости газа) на разбиение плоской жидкостной пленки. В качестве исходных данных брались данные соответствующие выбранной конструкции распылителя, изменение плотности газового потока на распыление не учитывается – плотность постоянная  $\sim 1 \text{ кг/м}^3$ . В результате расчета получена следующая зависимость (рис. 5).

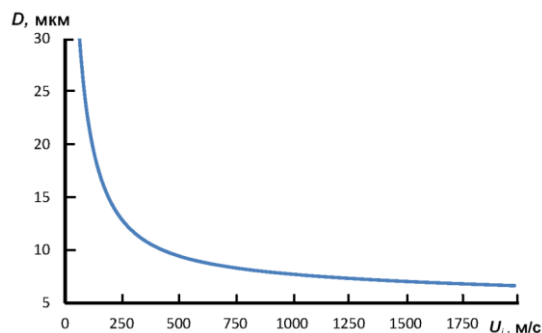


Рис. 5. Влияние скорости обдува на размер формируемых капель

С целью оптимизации распылителя (повышения скоростей обдува) с учетом задаваемых параметров: расход сжатого газа – от  $2,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$  до  $5,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$ , давление газа на входе в систему  $\sim 0,5\text{--}0,7 \text{ МПа}$ ; может быть использована конструкция в виде простейшего сопла Лавала. Серия численных экспериментов показала, что за счет значительного падения давления в критическом сечении до  $0,01 \text{ МПа}$ , скорость истечения повышается с  $354 \text{ м/с}$  до  $734 \text{ м/с}$ , при тех же энергетических затратах. По сравнению со стандартной конструкцией, размер капель уменьшится с  $11,26 \text{ мкм}$  до  $8,24 \text{ мкм}$ . Основная проблема реализации обусловлена особенностями проектирования сопла, схемой подачи жидкости [13] и механизмом формирования пленочного течения жидкости.

#### 4 Влияние изменения толщины жидкостной пленки на распыление

Результаты экспериментально-теоретической оценки приведены на рис. 6. Изменение толщины пленки в эксперименте проводилась при изменении расхода жидкости. Соотношение расхода жидкости и толщины пленки проводилось с помощью уравнения (17) при допущении, что скорость течения жидкости в выходном отверстии не зависит от ее массового расхода и равна скорости газового потока ( $\sim 350 \text{ м/с}$ ). Экспериментальные данные [14] указывают на то, что наиболее энергоэффективным является генерирование мелких капель в грубом полидисперсном потоке. Работы, частично отраженные в [14, 15], показывают, что применение

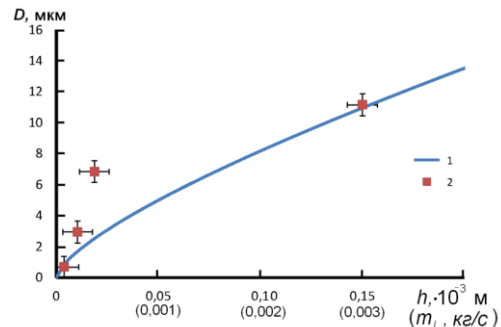


Рис. 6. Влияние толщины жидкостной пленки на размер капель: 1 – расчет; 2 – эксперимент

методов сепарирования капельных потоков, экспериментально подтверждают выдвинутую гипотезу. Результаты работ по экспериментально-теоретическому обоснованию выдвинутой гипотезы будут доступны в печати в ближайшее время.

#### Заключение

Рассмотрены основные аспекты применения аэродинамического метода для тонкодисперсного распыления. В результате численного газодинамического расчета выявлено ограничение на использование конструкции стандартного распылителя, связанное с ограничением скорости истечения газа ( $\sim 350 \text{ м/с}$ ), структурой потока и малой эффективностью. Для дальнейшего исследования предложена конструкция распылителя в виде сопла Лавала. Серия численных экспериментов показала, что за счет значительного снижения давления/плотности газа на срезе сопла увеличивается скорость газового потока до  $734 \text{ м/с}$ , а соответственно и значительно повышается эффективность распыления. Показано, что определяющими параметрами при распылении является толщина распыливаемой пленки и скорость обтекания ее газом. В установленном режиме изменение плотности распыливающего газового потока на срезе сопла не оказывает существенного воздействия на диспергирование жидкости.

#### Список литературы

1. Liu H. Science and Engineering of Droplets: Fundamentals and Applications. – New York: William Andrew Publishing: Noyes, 1999. – 534 p.
2. Ишматов А.Н., Ворожцов Б.И., Архипов В.А. Использование модельного водного раствора

- NaCl при исследовании тонкодисперсного распыления жидкостей // Теплофизика и аэромеханика. – 2013. – Т. 20. – №4. – С.513-524.
3. Ишматов А.Н., Ворожцов Б.И. Метод исследования тонкодисперсного распыления жидкостей // Оптика атмосферы и океана. – 2012. – Т. 25. – № 3. – С. 653-656.
  4. Lefebvre A.H. Atomization and sprays. – New York: Hemisphere; 1989. – 417 p.
  5. Нигматулин Р.И. Динамика многофазных сред. – М.: Наука, 1987. – 464 с.
  6. Lienemann H, Shrimpton J, Fernandes E. A study on the aerodynamic instability of attenuating liquid sheets // Experiments in fluids. – 2007. –V. 42. – P. 241-258.
  7. Ишматов А.Н., Ворожцов Б.И., Архипов В.А. Эволюция капель при импульсном формировании аэрозольных сред // Известия вузов. Физика. – 2012. – Т. 55. – №9/3. – С. 51-57.
  8. Dombrowski N, Johns WR. The aerodynamic instability and disintegration of viscous liquid sheets // Chemical Engineering Science. – 1963. – V. 18. – №2. – С. 203-214.
  9. Couto H.S., Bastos-Netto D. Generalized liquid film atomization theory // Journal of Thermal Science. – 2000. – V. 9. – №3. – P. 265-270.
  10. Соркин Р.Е. Теория внутрикамерных процессов в ракетных системах на твердом топливе: внутренняя баллистика. – М.:Наука, 1983. – 288 с.
  11. Годунов С.К., Забродин А.В., Иванов М.Я., Крайко А.Н., Прокопов Г.П. Численное решение многомерных задач газовой динамики. М.:Наука, 1976. – 400 с.
  12. Lefebvre A.H., Wang X.F. Mean drop sizes from pressure-swirl nozzles // J. Prop. Power. – 1987. – V. 3. – №1. – P. 11-18.
  13. Андриюшкин А.Ю. Формирование дисперсных систем сверхзвуковым газодинамическим распылением. БГТУ, 2012. – 396 с.
  14. Ишматов А.Н., Елесин В.В., Трубников А.А., Огородников С.П. Генерация двухфазных газочапельных потоков с заданными характеристиками // Оптика атмосферы и океана. – 2013. – Т.26. – №5. – С. 434-437.
  15. Ishmatov A.N., Elesin V.V., Trubnikov A.A., Ogorodnikov S.P. Generation of Fine Particles with Specified Characteristics // arXiv:1310.3150 [physics.flu-dyn] – 2013.

УДК 665.644.4

**The improvement of the ecological properties of automobile gasoline by the removal of benzene from reforming units**

*Kamzina M.A., Sidorov G.M*

*Ufa State petroleum technological university, Russia, Ufa*

Abstract: In the article the technology of gasoline production based on catalytic reforming and isomerization is analyzed. The investigation has shown that the reduction of the content of benzene in gasoline is achieved by preparation of feedstock of reformat in the stabilization and rectification units. Hydrocarbon C4-C6 is fully utilized as feedstock in order to produce gasoline.

Keywords: gasoline, environmental characteristics of gasoline, reduction of benzene, promotion of environmental properties of petroleum products, process of catalytic reforming.

Catalytic reforming (CR) is one of the basic processes of production of high-octane components of gasoline in most of Russian refineries. In Russia the average of the production capacity of gasoline and the increase of its octane number are associated with the development of the country's car park. In order to increase the high octane number of gasoline, the technology of reforming unit has been improved in terms of increasing the aromatization of gasoline.

The main reactions of hydrocarbons with the catalyst in the reforming unit are dehydrogenation and dehydrocyclization of hydrocarbons, which lead to the accumulation of aromatic compounds in the reforming product with a high octane number. However, these compounds are the most toxic of all the groups of hydrocarbons and during combustion process they can bring out toxic substances with low MPSs. Benzene is particularly dangerous. It is the component of crude oil and is the product of the catalytic reforming unit, it is the most low-boiling aromatic compound and toxic, which can cause leukemia. In overseas studies a linear relationship between the content of benzene in gasoline and its concentration in all kinds of unburnt hydrocarbons (exhaust gases, vapors from the fuel system and refueling the car) has been reported. Benzene is most volatile, slow-burning in engine and the most chemically stable under natural conditions. During the combustion of benzene benzopirren, which is

considered as the first class of toxicity to the MAC – 0,00001 mg/m<sup>3</sup>, is formed. For every percentage increase of benzene in fuel the content of benzene in the emissions of gases increases by 0,7-0,8%. More than 75% content of benzene enters in the air from the exhaust gases of cars, so the limit content of benzene in gasoline is a direct way to limit its entry in the atmosphere[1].

The modern environmental requirements severely limit the content of aromatic hydrocarbons and benzene in gasoline, so the refineries are forced to find new processes to ensure the necessary octane performance. Nowadays it is impossible to reject reforming unit, since it is the cheapest and the most traditional way of upgrading the straight-run gasoline fractions at 85-180°C. Also, for some refineries, this is the only way to produce hydrogen, which is needed more and more due to the constant growth of capacities in the process of hydrodesulfurization of gasoline and diesel fuels. Since reformat is the key component of gasoline, the change of the its structure can affect its quality.

Decreasing of the content of benzene can be achieved by[2]:

- removing the fractions from the feedstock, which can lead to the forming of benzene;
- replacing the fraction containing benzene with the fraction, which have the similar boiling range and anti-knock characteristics with benzene;
- replacing the traditional reforming catalyst with the catalyst with high isomerization activity.

The second solution to the problem is the most available since this way doesn't require capital investments. The reconstruction of existing catalytic reforming unit associates with the physical deterioration of the equipment, the appearance of new catalysts and technologies. The major reconstruction work relates to[3]:

- 1) the replacement of obsolete catalyst;
- 2) the improvement of the heat exchange process in the reaction units of reforming hydrotreatment;
- 3) additional purification of feedstock;
- 4) the reduction of harmful emissions and the application of environmental measures;
- 5) bringing the reaction unit to the applicable laws and rules;
- 6) application of the process into an automated process control system.

Nowadays, every plant faces one and the same problem of the production of gasoline that combines the renovation of the existing catalytic reforming units, construction of new facilities of isomerization, alkylation, catalytic cracking, in order to meet the current environmental standards.

#### Literature

1. Марышев В.Б., Можайко В.Н., Сорокин И.И. Удаление бензола из продуктов риформинга. Катализатор и процесс гидроизомеризации бензола // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2005. – №9. – С. 9-10.
2. Бакалейник А.М. Влияние качества бензинов на величину загрязняющих выбросов автомобилей // ЭКиП: Экология и промышленность России. – 2006. – №7. – С. 29-31.
3. Кононова В.Л. Реконструкция установок каталитического риформинга // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2005. – №5. – С. 27-31.

#### Системы дистанционного управления судовым главным двигателем

*Ким А.Я., Медведев Н.А., Алферьев И.С., Федюк Р.С., Миронов К.К.*

*Дальневосточный федеральный университет, Россия, Владивосток*

[captainvmf@yandex.ru](mailto:captainvmf@yandex.ru)

Система ДАУР-40 предназначена для автоматического регулирования частоты вращения и дистанционного управления дизель-редукторным агрегатом с дизелем М480 (6ЧН18/22) производства ОАО «Звезда», используемым в качестве главного судового двигателя (ГД) на судах со знаком автоматизации А2 и А3 в символе класса судна, работающим на водомет и оснащенного разобширительной муфтой. Система соответствует правилам Российского Морского Регистра судоходства и ГОСТ 18174-83. Основная цель системы – уменьшение трудозатрат судовой команды по управлению судном и повышение безопасной эксплуатации ГД при маневрировании, а также минимальная нагрузка оператора (штурмана) на мостике и освобождение вахтенного механика от постоянного пребывания у поста управления ГД.

Современные системы дистанционного автоматизированного управления судовым двигателем (ДАУ), содержащие датчик плавной регулировки оборотов, последовательно соединенные датчик фиксированных команд, сумматор, усилитель, переключающее устройство, исполнительный механизм и регулятор скорости, выход которого подключен ко входу двигателя,

датчик перегрузки, входы которого соответственно через датчик скорости и датчик положения топливрегулирующего органа подключены к выходам двигателя, программное устройство, входы которого соединены с выходами соответственно датчика скорости и датчика фиксированных команд, а выходы - с входами переключающего устройства и устройства пуск-реверса, выход которого соединен с другим входом двигателя, выход исполнительного механизма соединен с входом сумматора [1-2].

Известные системы ДАУ имеют не менее двух программ управления, которые определяют различные условия пуска. Как пуск, так и пуск с реверсом осуществляется по двум уровням: нормальному или повышенному. На нормальном и повышенном уровнях различными являются число оборотов начала реверсирования, число оборотов конца пуска и величина пусковой подачи топлива (а для двигателей с раздельным пуском - величина послепусковой подачи топлива).

На первой (основной) программе управления в известных системах пуск осуществляется следующим образом: первая попытка пуска проходит на нормальном уровне, а последующие (если первая попытка была неудачной) - на повышенном [3-4].

Система управления состоит из блока управления (рис. 1), выносного поста управления, местного щитка управления (рис. 2), датчиков и исполнительных органов.



Рис. 1. Блок управления



Рис. 2. Местный щиток управления

Блок управления осуществляет контроль и предупредительную сигнализацию на светодиодах желтого цвета в мигающем режиме с одновременным включением прерывистого звукового сигнала по следующим параметрам:

- Понижение давления масла дизеля – при размыкании контактов датчика – реле давления (150 кПа);
- Повышение температуры воды – при замыкании контактов датчика – реле температуры (95 °С);
- Повышение температуры масла – при замыкании контактов датчика – реле температуры (100 °С);
- Понижение уровня охлаждающей жидкости - при замыкании контактов датчика уровня;
- Утечка топлива - при замыкании контактов датчика утечки топлива;
- Повышение температуры масла реверс-редуктора - при замыкании контактов датчика температуры;
- Понижение давления масла реверс-редуктора - при замыкании контактов датчика давления.

Блок управления обеспечивает цифровую индикацию частоты вращения дизеля с возможностью программирования показаний (калибровки) в составе дизельной установки в пределах  $\pm 300$  об/мин с точностью  $\pm 5$  об/мин.

Блок управления обеспечивает аварийно-предупредительную сигнализацию и защиту по давлению масла с программируемой задержкой по срабатыванию контактного датчика в пределах от 1 до 15 с.

В блоке управления предусмотрена защита от ложных срабатываний из-за кратковременных изменений параметров, обусловленных качкой судна, включением и отключением судовой техники путем введения задержки по срабатыванию контактных датчиков от 1 до 2 с.

Система управления обеспечивает ручной (с местного щитка управления) и дистанционный (с выносного поста управления) пуск и останов дизеля.

#### Список литературы

1. Бусыгин В.П. Методические указания к выполнению курсового проекта « Система ДАУ главными судовыми дизелями». – СПб: ГМА С.О. Макарова, 2003.
2. Онасенко В.С. Судовая автоматика» М.: Транспорт, 1988
3. Сыромятников В.Ф. Основы автоматики и комплексная автоматизация судовых парозенергетических установок. - М.: Транспорт, 1983
4. Канне А.Б., Скобцов Е. А. Реверсивные устройства судовых дизелей, 1965.

#### Влияние температурных вариаций на магнитные измерения

*Ковалев А.А., Белинская А.Ю., Грехов О.М., Федотова О.И.*

*Алтае-Саянский филиал Геофизической службы СО РАН, Россия, г. Новосибирск*

[heinekens@list.ru](mailto:heinekens@list.ru)

Наблюдение за состоянием магнитного поля Земли является одной из важных составляющих мониторинга окружающей среды. Наблюдения электромагнитного поля Земли на геофизических обсерваториях предусматривают изучение его изменений от вековых вариаций до миллисекундных колебаний, что позволяет получить информацию об эволюции, строении и современном состоянии, как твердой Земли, так и ее газоплазменных оболочек. При этом магнитное поле Земли является также одним из звеньев солнечно-земных связей. Совокупность явлений, происходящих в земной атмосфере вследствие солнечных вспышек, предопределяется также возмущениями магнитного поля. Актуальность оперативной информации о состоянии геомагнитного поля в широком диапазоне частот связана с развитием навигационных средств, качеством прогнозов солнечной погоды, уровнем диагностики медико-биологических проявлений солнечной активности.

Изменения температуры могут оказывать влияние на точность магнитных измерений [1]. Такая проблема возникает на обсерваториях в зонах с экстремальными климатическими условиями и при ограниченном энергоснабжении.

Новосибирская Геофизическая обсерватория "Ключи" расположена в регионе с резко-континентальным климатом, температура воздуха летом достигает +40 °С, зимой опускается ниже -40 °С [2]. В вариационном магнитном павильоне установлена система терморегуляции, но она недостаточно стабильна. Для контроля температуры нами разработана многоканальная цифровая система, в которой используются датчики DS1820. В апреле 2012 года начаты регулярные измерения температуры шестью датчиками внутри магнитного павильона и датчиком на улице. На основе полученных данных нами проведен анализ температурных изменений и оценено влияние их на магнитные измерения.

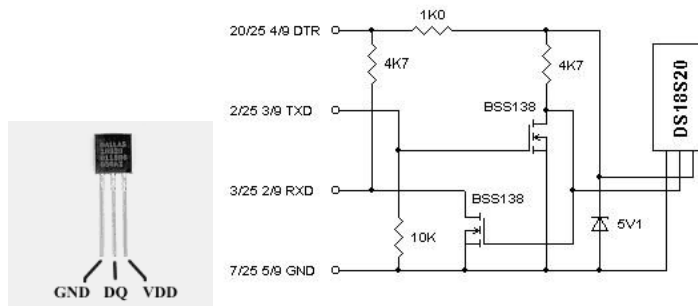


Рис. 1. Внешний вид датчика температуры DS1820 и схема адаптера.

Микросхема датчика температуры DS1820, выпускаемая фирмой Dallas Semiconductor, обеспечивает измерение температуры в диапазоне  $-55...+125$  °С с дискретностью 0,5 °С [3]. С



помощью специальных вычислений дискретность представления температуры можно уменьшить до  $0,1^{\circ}\text{C}$ . Для подключения датчиков к *PC* через *SOM*-порт используется адаптер, выполненный по схеме (см. рис.1).

Вариационный магнитный павильон представляет собой типовое здание из силикатного кирпича, в котором из досок оборудована внутренняя изолированная камера (стены и потолок) с четырьмя постаментами (см. рис.2). В простенке установлено два регулируемых и три нерегулируемых немагнитных спиральных нагревателя. Термометр системы терморегуляции расположен на западной стене внутри термокамеры на высоте около 1,5 м, управляющая и силовая электроника находится в техническом павильоне, температура внутри камеры поддерживается на уровне  $+20^{\circ}\text{C}$  с колебаниями в точке управляющего термометра до  $0,5^{\circ}\text{C}$ .

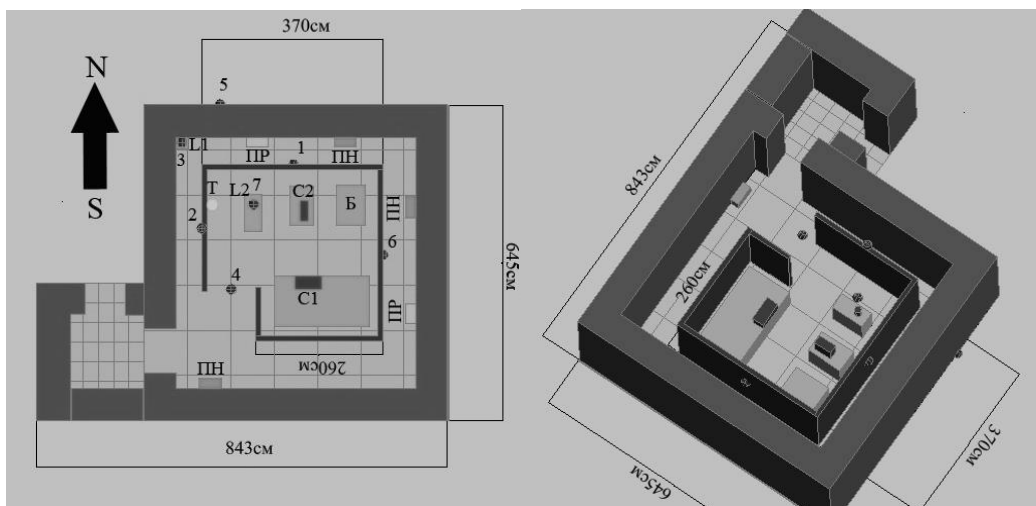


Рис.2. Схема вариационного павильона. 1,2,3,4,5,6,7 - термодатчики DS1820, L1,L2 – блок электроники и датчики LEMI-008, C1,C2 – электроника и датчики ЦМВС, Б – датчики аналоговой серии Боброва, Т – термометр системы терморегулирования.

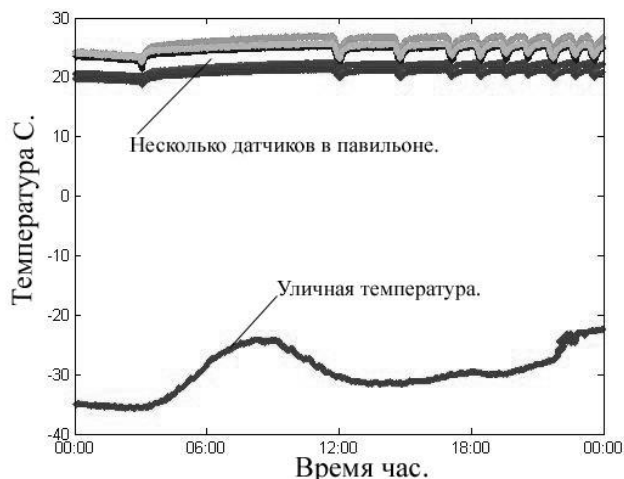


Рис.3. График изменения температуры в вариационном павильоне и на улице.

В период с апреля 2012 по ноябрь 2013 велись наблюдения с помощью разработанной системы контроля. Температура в вариационном павильоне оказалась самой не стабильной в зимний период. Изменение температуры за 9 января 2013 года приведены на рис.3, в течение этих суток внутри павильона на аппаратуре были зафиксированы: минимальное значение температуры  $+19,94^{\circ}\text{C}$  и максимальное  $+22,38^{\circ}\text{C}$ . В 11:30UT наблюдалось резкое понижение температуры с последующим ее восстановлением до среднего значения.

Для оценки влияния температурных вариаций на точность магнитных измерений мы рассмотрели ряды измерений компоненты  $F$ , полученные разными приборами:  $L$  – для LEMI-008,  $K$  – КВАРЦ-09,  $P$  – POS.  $T$  – ряд значений температуры, полученные датчиками DS1820. На рис. 4 показаны минутные графики вариаций  $L$ ,  $K$  и  $P$  за 09.01.2013. Как видно, в 11:30UT наблюдалась волна, по времени совпадающая с моментом температурного перепада.

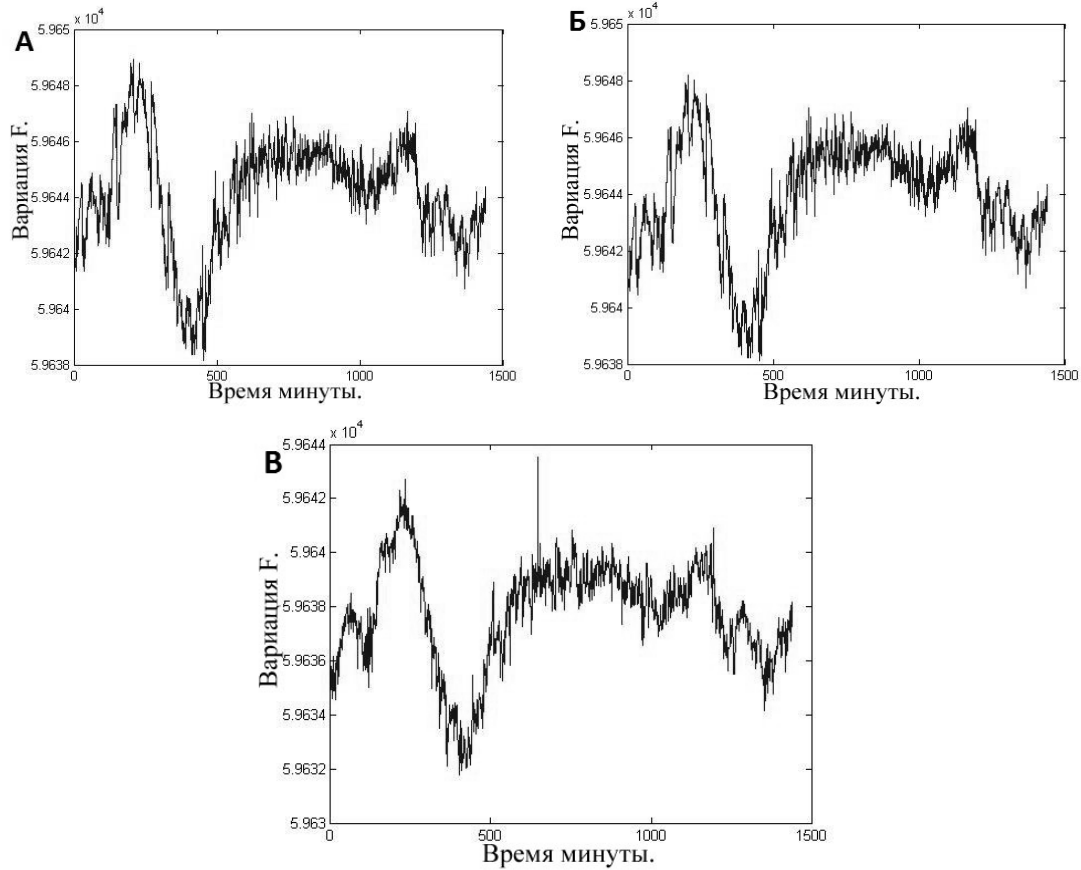


Рис.4. Графики А)  $L$ , Б)  $K$  и В)  $P$  минутные данные за 9.01.13.

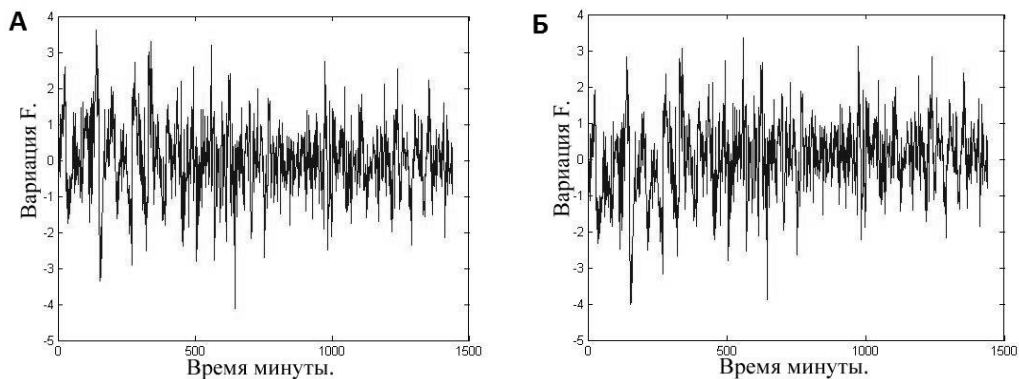


Рис.6. График минутных вариаций  $(\Delta L-\Delta P)$  и  $(\Delta K-\Delta P)$  за 09.01.2013.

Для дальнейшего исследования мы использовали отклонения от среднесуточного значения величин  $\Delta T$ ,  $\Delta L$ ,  $\Delta K$  и  $\Delta P$ . Как известно, температура не влияет на протонный магнитометр POS [4], поэтому мы анализировали разницу  $\Delta L$  и  $\Delta P$ ,  $\Delta K$  и  $\Delta P$  за 9 января 2013 года. На рис.6 видно, что значения  $(\Delta L-\Delta P)$  и  $(\Delta K-\Delta P)$  имеют сходный характер. Выбросов в 11:30UT не наблюдается,

т.е. мы можем предположить, что вариации компоненты  $F$  магнитного поля не зависят от температуры. Коэффициент корреляции ( $\Delta L - \Delta P$ ) и  $\Delta T$  составляет  $-0,1314$ . Коэффициент корреляции ( $\Delta K - \Delta P$ ) и  $\Delta T$  составляет  $0,2$ .

Проведенный анализ показал, что влияние скачков температуры на измерения компоненты  $F$  магнитного поля минимально. Поэтому в наших условиях температурной относительной стабильности нет необходимости делать дополнительную поправку на температуру.

#### Список литературы

1. Jankowski J., Sucksdorff C. Guide for magnetic measurements and observatory practice. – Warsaw, 1996, 235 p.
2. Хомутов С.Ю., Павлов А.Ф., Федотова О.И. Температурные эффекты в магнитных измерениях, выполняемых на Геофизической обсерватории "Ключи", Новосибирск // Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей. Матер. конф., Екатеринбург, 12-17 сент. 2011. – Екатеринбург: УрО РАН, 2011. – с.388-391.
3. <http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/DS18B20.pdf>
4. Руководство по эксплуатации РЭПОС-1. – Екатеринбург: УГТУ МО РФ, 2001.- 41с.

#### Слаботочная судовая сигнализация

**Комардин Д.В., Федюк Р.С., Будько Р.Н.**

Дальневосточный федеральный университет, Россия, г. Владивосток

[m3104\\_m@mail.ru](mailto:m3104_m@mail.ru)

Судовая сигнализация подразделяется на пожарную, авральную и обиходную. На теплоходах применяется автоматическая пожарная сигнализация, предназначенная для подачи сигнала тревоги в ходовую рубку в случае возникновения пожара или недопустимого превышения температуры воздуха в помещениях судна. Необходимость пожарной сигнализации на грузовых и буксирных судах объясняется отсутствием постоянной вахты в машинном отделении. Сигнал тревоги «Пожар» включается с помощью пожарных извещателей, которые могут быть ручного действия (кнопочные выключатели) и автоматические (тепловые, дымовые и комбинированные) [1].

На щите пожарной сигнализации (ЩПС) выключатели  $S1$ ,  $S2$  должны быть постоянно включены (рис. 1). Так как контакты пожарных извещателей при нормальной температуре замкнуты, ток проходит через катушку реле  $K1$ , однополюсный выключатель  $S1$  и контакты всех извещателей, соединенных последовательно. Реле  $K1$  срабатывает и размыкает свои контакты в цепях сигнальной лампы  $H1$  и звонка  $H2$ .

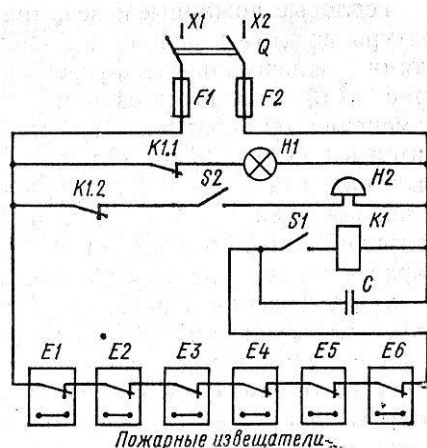


Рис. 1. Электрическая схема пожарной сигнализации

Звонка и лампы проверяют размыканием выключателя  $S1$  цепи катушки реле. При выключении катушки реле  $K1$  его контакты замыкаются и подается сигнал «Пожар», как и в случае автоматического срабатывания пожарных извещателей [2].

Конденсатор  $C$  предназначен для защиты от ложных срабатываний извещателя в условиях повышенной вибрации корпуса судна. При размыкании контактов извещателей реле

Схема находится под напряжением и постоянно готова к действию.

При повышении температуры воздуха в машинном отделении до  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$  один или несколько извещателей, находящихся наиболее близко от очага повышенной температуры, срабатывают. Размыкается цепь питания катушки реле  $K1$  на ЩПС. Реле обесточивается и замыкает свои контакты в цепях питания сигнальной лампы и звонка. Лампа включается, а звонок звонит. Подача сигнала «Пожар» продолжается до тех пор, пока температура воздуха в машинном отделении не станет ниже  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$  и извещатель снова не замкнет свои контакты в цепи катушки реле  $K1$ .

Для снятия звукового сигнала на ЩПС установлен выключатель  $S2$ .

Наличие в схеме питания и исправность реле,

кратковременно остается включенным из-за тока разряда конденсатора. Конденсаторы подобного назначения обычно встроены в извещатели.

Аварийная сигнализация служит для подачи сигналов при проведении авральных работ и аварийной ситуации. На пассажирских судах она разбивается на две группы — для экипажа и пассажиров. Авральную сигнализацию включают из рубки. Колокола авральной сигнализации размещают в машинном отделении, коридорах, на наружных стенках надстроек. В шумных помещениях дополнительно устанавливают сигнальную лампу. Авральная сигнализация питается от аварийной аккумуляторной или отдельной батареи. Емкость батареи должна соответствовать работе сигнализации в течение 15 мин.

Обиходная сигнализация предназначена для вызова дежурного или обслуживающего персонала при помощи электрических звонков с нумераторами, определяющими, откуда произведен вызов. Для этого в помещениях устанавливают кнопки вызова, а в дежурном помещении — нумератор с электрическим звонком. Система обиходной сигнализации получает питание от судовой сети или от аккумуляторной батареи.

Основными приборами судовой электрической сигнализации являются электрические звонки, трещотки, ревуны, сигнальные лампы и нумераторы.

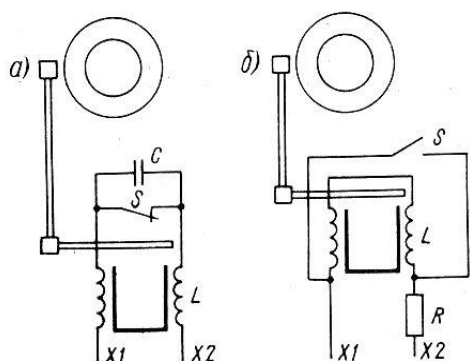


Рис. 2. Схемы электрических звонков

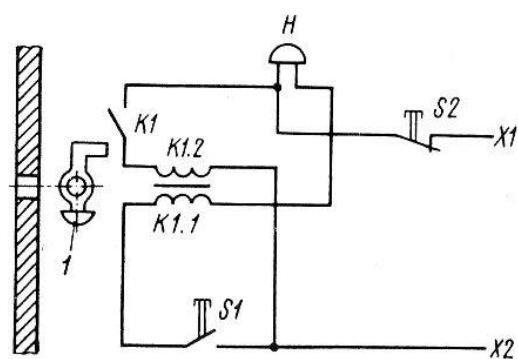


Рис. 3. Схема бленкера

Электрические звонки бывают двух типов: работающие на «обрыв» цепи (типа ЗВОФ) и на короткое замыкание (типа ЗВКФ). На рис. 2 представлены схемы включения звонков обоих типов. При работе на обрыв (рис. 2, а) контакт прерывателя 5 разрывает цепь электромагнита L звонка при притягивании якоря и опять замыкает его на возврате якоря в исходное положение. Для улучшения коммутации параллельно прерывателю включен конденсатор С. В звонке, работающем на короткое замыкание (рис. 2, б), при притягивании якоря катушки электромагнита шунтируются контактом прерывателя. Цепь питания при этом замыкается накоротко. Вследствие этого звонки на короткое замыкание можно включать только последовательно с каким-либо резистором или сигнальной лампой.

Ревуны и трещотки устроены так же, как и звонки. Ревущий звук получается в результате частых ударов бойка о мембрану. Для усиления звука применяется рупор. У трещотки частота ударов бойка о мембрану меньше, чем у ревуна. Это достигается насадкой медных гильз на сердечник электромагнитов.

Нумератор — прибор в виде ящика с рядом окошек на передней стенке. Число окошек соответствует числу кнопок вызова. Внутри прибора против каждого окошка устанавливается специальное электромагнитное реле-бленкер (рис. 3).

При нажатии кнопки вызова S1 по рабочей обмотке реле K 1.1 пойдет ток, якорь притянется и замкнет контакт K1 удерживающей обмотки K1.2. Последняя получит питание, и при отпускании кнопки якорь останется притянутым к сердечнику. Звонок Н звонит до тех пор, пока не будет отпущена кнопка S1. К якорю прикреплена алюминиевая полусфера 1, которая при его притяжении закрывает окошко. По номеру на полусфере определяют, откуда поступил вызов. Сигнал в окошке будет сохраняться до тех пор, пока дежурный не нажмет кнопку S2. При этом разрывается цепь питания удерживающей обмотки K1-2, и под действием пружины якорь возвращается в исходное положение, окошко освобождается.

#### Список литературы

1. Полянский В.Ф., Попов А.В. Электрооборудование судов и предприятий. - М.: Транспорт, 1989
2. Судовые электроустановки и их автоматизация / К.Т. Витюк, П.И. Гриценко, П.К. Коробов, В.В. Тихонов. -М.: Транспорт, 1986. - 448 с.

**Защита и эффективное использование геологического наследия России***Е.Д. Корф**Томский научный центр**Институт мониторинга климатических и экологических систем*[korf-kat@mail.ru](mailto:korf-kat@mail.ru)

Проблеме сохранения и использования геологического наследия отводится немало внимания в России и за рубежом со второй половины двадцатого века. Особое внимание данной теме уделено в работах Лапо А.В., Вдовец М.С., а также Рубана Д.А. Однако, несмотря на интерес к данной теме, она нет четких критериев выявления геологических памятников природы, нет концепции сохранения и использования геологического наследия, нет природных территорий, которые позволили бы это сделать в соответствии с принципами устойчивого развития. [1-5].

Согласно [6], геологический памятник природы - уникальный объект (комплекс взаимосвязанных объектов) естественного происхождения или участок, наиболее полно и наглядно для данной местности характеризующий протекание геологических процессов и их результаты, представляющий научную ценность, доступный для непосредственного наблюдения и изучения.

В настоящее время в Российской Федерации существуют особо охраняемые природные территории. Особо охраняемые природные территории – это участки земли, водной поверхности и воздушного пространства над ними, где располагаются природные комплексы и объекты, которые имеют особое природоохранное, научное, культурное, эстетическое, рекреационное и оздоровительное значение, которые изъяты решениями органов государственной власти полностью или частично из хозяйственного использования и для которых установлен режим особой охраны [6].

В частности к ним относятся:

Государственные природные заповедники (в том числе биосферные)

Национальные парки

Природные парки

Государственные природные заказники

Памятники природы

Дендрологические парки и ботанические сады

Лечебно-оздоровительные местности и курорты

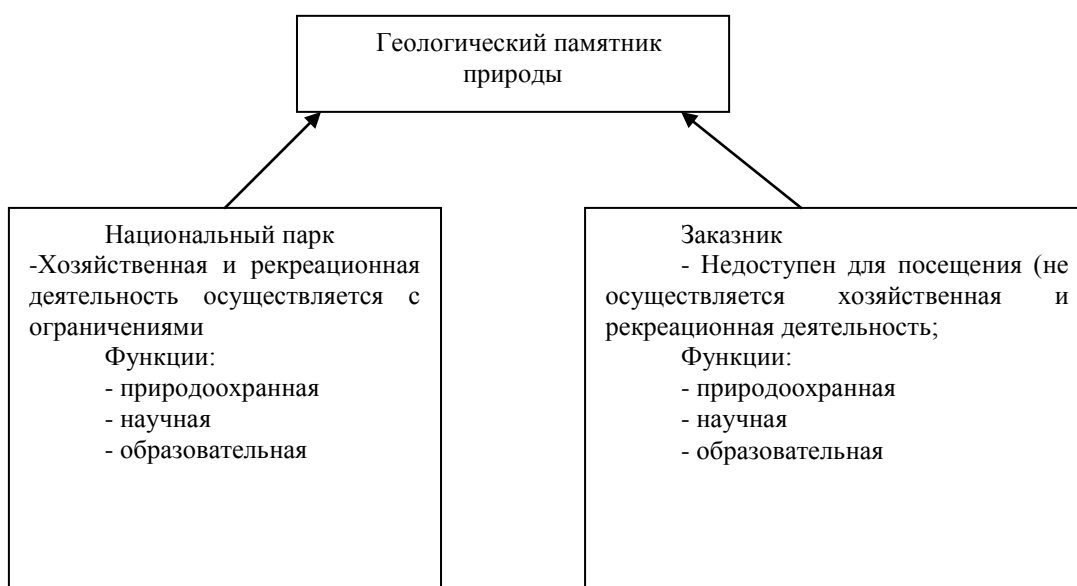
Особо охраняемые природные территории относятся к объектам общенационального достояния. Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации осуществляет государственное управление в области организации и функционирования особо охраняемых природных территорий федерального значения.

Место геологического памятника природы в системе особо охраняемых природных территорий Российской Федерации можно увидеть на рисунке 1.

Геологический памятник природы может входить в состав национальных парков и заказников, однако, и в том и в другом случае особо охраняемые природные территории, безусловно, способны сохранить геологическое наследие территории, но не предусмотрено их эффективное использование, учитывающее эколого-просветительскую деятельность для населения, развитие геотуризма, рациональное использование информационных качеств недр земли (научных, эстетических, познавательных, культурных).

Геопарк – это территория, геологическое наследие которой является частью концепции защиты, образования и устойчивого развития данной территории.

Геопарк принципиально отличается от всех существующих на территории Российской Федерации ООПТ тем, что его образование происходит благодаря волонтерскому движению (это может быть инициатива бизнеса или научных учреждений), он не имеет юридического лица и административных границ, ведение хозяйственной и рекреационной деятельности на территории геопарка активно осуществляется.



**Рис. 1.** Геологический памятник природы в системе особо охраняемых природных территорий.

Помочь не только сохранить геологические памятники природы, но и рационально их использовать может развитие в России движения по созданию геопарков по программе ЮНЕСКО [7].

Итак, объектами охраны геопарка являются исключительно объекты геологического наследия и геологические памятники природы, да в национальных парках и заказниках тоже могут быть такие же объекты охраны, но в геопарках эти объекты являются основными и геопарк может быть создан только на территории богатой такими объектами.

Возможность создания геопарка на той или иной территории, прежде всего, определяется совокупностью уникальных геологических объектов в пределах данной территории, то есть геологическим наследием. Однако, простой концентрации геологических объектов тоже недостаточно. Для того чтобы территория вызвала интерес науки, образования, туризма необходимо, чтобы объекты геологического наследия характеризовались георазнообразием и уникальностью отдельных объектов. Кроме того, территория должна быть интересна и с негеологической точки зрения: этническими особенностями, культурой населения, биоразнообразием, историческим прошлым.

Функции геопарка [8]:

Природоохранная.

Образовательная и научная: геопарки распространяют научные знания, культурную и природоохранную концепции, также геопарк – это площадка для обмена научными знаниями, стимуляции научных исследований

Функция экономического роста: одной из главных целей деятельности геопарка является стимулирование экономического роста в рамках концепции устойчивого развития, а именно жизнь людей стремится быть в гармонии с природой, деятельность людей не наносит ущерба окружающей среде, окружающая среда – неотъемлемая часть развития территории.

Международная: при создании геопарка по программе ЮНЕСКО он автоматически входит в состав глобальной сети геопарков, а значит интерес всего мира будет обращен к территории геопарка.

Геопарки и геотуризм – это одно из направлений в охране природы и в туризме. Провозглашение курса на полноценный учет георазнообразия – вот главное в этом направлении, которое может сопутствовать историко-культурному, этнографическому, биосферному, спортивному туризму или быть самостоятельным. [9-12].

Геотуризм является разновидностью экологического туризма.

В пределах некоторых действующих заповедников и национальных парков также могут быть выделены участки, отвечающие по своей направленности геопаркам.

Геотуризм – это, по существу, специфический способ недропользования, при котором ресурсы недр остаются нетронутыми – ведь используются только их информационные качества (эстетические, познавательные, научные, культурные).

Геопарк – это уникальный инструмент, позволяющий стимулировать экономический рост региона (развитие малого бизнеса, привлечение инвестиций, развитие туристской отрасли, увеличение количества рабочих мест) с минимальным ущербом природе региона

В России необходимо создавать геопарки, которые помогут сохранить геологическое наследия, просветить население об уникальных природных объектах, об истории планеты, а также помогут экономическому развитию некоторых субъектов федерации.

#### Список литературы

1. Рубан Д.А. Геоконсервация как метод сохранения геологического наследия России//Отечественная геология. – 2006. - № 2. – С. 78-81.
2. Лапо А.В. Состояние проблемы изучения и сохранения объектов геологического наследия России//Материалы научно-практической конференции «Проблемы борьбы с проведением незаконных раскопок и незаконным оборотом предметов археологии, минералогии и палеонтологии». - Красноярск, 2001. - С. 103-108.
3. Лапо А.В. Исследования по инвентаризации объектов геологического наследия и организации их охраны//Геолком-ВСЕГЕИ в развитии геологической службы и укреплении минерально-сырьевой базы России. 1882-2002. - СПб: Изд-во ВСЕГЕИ, 2002. - С. 335-337.
4. Лапо А.В., Вдовец М.С. Проблема сохранения геологического наследия России//Отечест. геология - 1996. - № 9. - С. 6-12.
5. Потемкин Л.А. Полнее сохранить геологические памятники природы//Советская геология. - 1981. - № 10. - С. 121-126.
6. Об особо охраняемых природных территориях: Федеральный закон от 14 марта 1995 № 33-ФЗ
7. Рубан Д.А. Уникальные центры георазнообразия - основа для создания национальных геопарков//Отечественная геология. - 2010. - № 4. - С. 77-80
8. Guidelines and Criteria for National Geoparks seeking UNESCO's assistance to join the Global Geopark Network: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 2010. – p. 2-8

#### Перспективы переработки и использования отходов энергетической деятельности

*Кравченко А.В.*

*Доцент Новосибирского Государственного Технического Университета  
kavenco@yandex.ru*

В последнее время всё большую популярность набирают бизнес-идеи, основанные на переработке различных видов отходов, - твёрдых бытовых, промышленных, медицинских, опасных и других. Такие идеи находят своё применение и в энергетике, где особенно остро стоит вопрос хранения и переработки золошлаковых отходов (далее ЗШО) деятельности ТЭС.

На энергопредприятиях по всему миру реализуются проекты по переработке ЗШО. Ведутся исследования, внедряются новые технологии, создаются дочерние компании, служащие переходным звеном между энергетическими и строительными компаниями (например, Вау Mineral (ВМ) - дочерняя фирма немецкой энергосистемы). К сожалению, в России система использования золошлаковых отходов практически не развита. Уровень утилизации, переработки и использования золошлаковых отходов в России ничтожно мал (в последние 10 лет он колеблется от 3 до 14%).

Принципиальная идеологическая разница: в развитых странах золошлаки называются побочным продуктом ТЭС и электростанции осуществляют предпродажную подготовку продукта, доводя ее характеристики до требований официальных строительных нормативных документов. В России золошлаки официально называют отходами, и электростанции предлагают потребителям именно отходы, а не технологически доработанный продукт с соответствием его характеристик требованиям строительных нормативных документов.

В настоящее время основная масса ЗШО применяются в строительной отрасли для производства цемента, бетона, кирпича, шлакоблоков, легких заполнителей, рубероида, керамзита и др. строительных материалов. Помимо этого золошлаки находят применение в сооружении дамб, строительстве и ремонте дорог. В результате использования ЗШО потребление цемента снижается на 30%, природных заполнителей (песка, щебня) – более чем на 50%. Зола находит

своё применение и в сельском хозяйстве. Золошлаковые материалы применяют для улучшения текстуры почв, изменения их плотности, увеличения влажного замещения, нейтрализации кислотности и снижения неравноностей поверхности. ЗШО содержат ряд ценных элементов, себестоимость получения которых на 60% ниже, чем извлечение из промышленных руд.

На сегодняшний день в России отсутствует единая концепция по переработке и использованию золошлаков: нет законодательной и нормативно-правовой базы, нет контрольных показателей, на которые нужно ориентироваться при переработке и использовании ЗШО, очень мало примеров, которые могли бы наглядно демонстрировать эффективность вложения финансовых средств в это направление.

Среди таких примеров – завод ЗАО «АФИНА» (г. Челябинск), где было организовано производство силикатного кирпича, для изготовления которого в качестве основного сырья используется зола Челябинской ТЭЦ-2 (до 80 % объема материала кирпича). На ТЭЦ-22 ОАО «Мосэнерго» нет производства как такового, однако налажена система реализации ЗШО малыми предприятиями. ЗШО из золоотвала поставляется на цементные заводы, кирпичные заводы, дорожное строительство (Киевское шоссе), завод железобетонных конструкций. Было выпущено 50 тыс. м<sup>3</sup> блоков для подземных каналов теплотрасс, строительных блоков и абразивных материалов. Зола применялась в качестве добавки в асфальтобетон при первом расширении Московской кольцевой автомобильной дороги (МКАД), при строительстве шоссе Москва-Серпухов, Москва-Кашира. Тольяттинская ТЭЦ производит из ЗШО пористый наполнитель – шлакозит, который нашел применение как футеровочный материал для ремонта котельных установок, заменив шамотный огнеупор. Основным исходным сырьем для его получения является шлак жидкого шлакоудаления. ЗШО Дорогобужской ТЭЦ поставляются на картонно-рубероидные заводы (до 12 тыс. т./год) и на цементно-шиферные заводы.

В Новосибирске так же имеется опыт переработки золошлаковых материалов. С 2000 года на рынке строительных материалов действует компания ЗАО «СКБ», которая производит фасадную, интерьерную и тротуарную плитку, декоративные и архитектурные элементы, используя в качестве сырья ЗШМ ТЭЦ-5.

В данной работе будет рассмотрен инвестиционный проект с рабочим названием «Завод по переработке золошлаковых отходов деятельности новосибирской ТЭЦ-2 ОАО «Новосибирскэнерго», на примере которого можно увидеть все преимущества и недостатки ведения дополнительной деятельности на базе действующих энергетических объектов.

В ходе производственной деятельности на объектах ОАО «Новосибирскэнерго» (в дальнейшем «СИБЭКО») образуются отходы производства и потребления I, III, IV и V класса опасности, различающихся степенью вредного воздействия на окружающую природную среду — от очень высокой (отработанные люминесцентные трубки (лампы)) до очень низкой, то есть практически не опасные (отходы бумаги, картона упаковочного, стеклянный бой, бой бетона и кирпичной кладки и т.д.). ОАО «СИБЭКО» не осуществляет прием отходов от сторонних организаций.

Все отходы за исключением золошлаков от сжигания углей и шламов (осадков) химводоочистки временно хранятся на объектах предприятия, и по мере накопления:

- используются – сжигаются в котлоагрегатах совместно с основным топливом (остатки промышленных, турбинных, трансформаторных, компрессорных масел; шлам очистки трубопроводов и емкостей от нефтепродуктов; уловленная на очистных сооружениях пленка нефтепродуктов, обтирочная ветошь, загрязненная маслами, отходы активированного угля).

Возможность применения золошлаков подтверждена проведенными исследованиями макрокомпонентного состава отходов ОАО «Новосибирскэнерго», на основании которых получено санитарно-эпидемиологическим заключением на применение (использование) новых видов продукции «Золошлаковая смесь (ЗШС) бурых углей К-Ачинского бассейна из золоотвала ТЭЦ-3, Кузнецкого угля из золоотвалов ТЭЦ-4 и ТЭЦ-5 г. Новосибирска» для вертикальной планировки территории под строительные объекты, как основание дорожных одежд, сырье и компоненты для производства строительных материалов. Кроме того уже имеется опыт использования золошлаковой смеси ТЭЦ-3 наряду с песками для вертикальной планировки территории под строительство Новосибирской ТЭЦ-6. В настоящее время проводятся проектно-изыскательские работы по использованию золошлаковых смесей ТЭЦ-2 и ТЭЦ-3 для вертикальной планировки территории п. Затон, выделенной мэрией г. Новосибирска под застройку.



Производство начинает приносить доход только при определённом объеме выпуска, - этот объем обозначает так называемую точку безубыточности. Так как в этой точке общая выручка равна общим издержкам, она является разделяющей линией между прибылью и убытками и называется точкой минимального предельного объема или точкой критического объема:

$$S_b = \frac{FC}{a}$$

Где  $S_b$  - объем продаж в точке критического объема производства; FC - сумма постоянных издержек;  $a$  - постоянный коэффициент отношения валовой прибыли к объему продаж (коэффициент маржинальной прибыли в % или относительных единицах) или уровень валовой прибыли.

В точке критического объема покрываются только постоянные и переменные издержки, а чистая прибыль равна нулю. При этом, валовая (маржинальная) прибыль (разница между выручкой и переменными издержками) равна постоянным издержкам.

В результате расчетов может быть получен показатель запаса прочности как отношение суммы продаж, превышающей предельный объем, к текущему объему продаж. Показатель запаса прочности определяется в относительных единицах или в %. Он означает, что объем продаж может быть уменьшен на полученную величину запаса прочности в %, прежде чем предприятие начнет нести убытки, то есть тем самым определяется риск бизнеса.

Определим объем продаж в денежном выражении в точке критического объема продаж:

$$S_b = \frac{FC \times S}{S - VC}$$

где  $S$  - объем продаж в руб;  $VC$  – сумма переменных издержек в руб.

Обратимся к следующему параметру – чистая приведенная ценность NPV (или ЧДД – чистый дисконтированный доход), который представляет собой разность между текущей стоимостью потока будущих доходов или выгод и текущей стоимостью будущих затрат на осуществление, эксплуатацию и техническое обслуживание проекта на протяжении всего срока службы. ЧДД – наиболее общий показатель, показывающий доходы собственников капитала за весь жизненный цикл инвестиционного проекта.

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=0}^T \frac{R_t - Z_t}{(1 + E)^t}$$

Где  $R_t$  - суммарные результаты (выгоды или доходы), достигаемые на  $t$ -м шаге расчёта;  $Z_t$  - затраты, осуществляемые на том же шаге,  $E$  - норма дисконта, равная приемлемой для инвестора норме дохода на капитал,  $T$  - горизонт расчёта, равный номеру шага расчёта.

Предварительно определяем дисконтную ставку. Это можно сделать с использованием формулы

$$(1 + E) = (1 + R) \cdot (1 + I) \cdot (1 + b)$$

где  $R$  - минимально приемлемая для инвестора норма доходности в России,

$I$  - инфляционная составляющая,

$b$  - рисковая поправка.

Приведенный механизм оценки позволит потенциальным инвесторам сравнивать эффективность данного проекта по переработки ЗШО с другими по критерию максимума ЧДД. Так же данный показатель можно использовать для собственных нужд проекта, например, рассматривая влияние различных видов издержек на получаемый доход. И если опыт переработки ЗШО за рубежом дает инвесторам прибыль, то и в России можно ожидать хороших перспектив.

#### Список литературы

1. Коваль, О. Н. Анализ технологий и методов утилизации твёрдых продуктов десульфуризации и частиц золы / О.Н. Коваль, В.Г. Ерошенко. – Режим доступа: <http://www.ufpk.com.ua/files/p3/analiz.html><http://www.dist-cons.ru><http://www.ru.wikipedia.org/>, свободный, – Загл. с экрана.
2. Мариничева, О. Как превратить пепел в алмаз / О. Мариничева // Энергетика и промышленность России. – 2008. – Вып. 13. – С. 46–47.
3. Новиков, О. Н. Извлечение металлов из золоотвалов / О.Н. Новиков. – Режим доступа: <http://igoog.ru/content/view/100/2/>, свободный, – Загл. с экрана.
4. Обзор эффективных экологических проектов, внедрённых на предприятиях ОАО РАО «ЕЭС

России» : офиц. текст. – М. : 2010. – 69 с.

#### Методика определения химического состава, массовой доли компонентов и размеров частиц торфяного шлама

*Кузьмин В.А., Заграй И.А., Рукавишникова Р.В.*

*ФГБОУ ВПО «Вятский государственный университет», Россия, г. Киров  
[vl.kuzmin@mail.ru](mailto:vl.kuzmin@mail.ru)*

Согласно распоряжению правительства РФ «Об основных направлениях государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе увеличения доли использования возобновляемых источников энергии на период до 2020 года» увеличение доли использования биоресурсов должно возрасти к 2020 году до 4,5 % [1].

Мировые ресурсы торфа признаны уникальным природным потенциалом. Торф занимает значительное место в энергетике ряда европейских стран (Финляндия, Ирландия, Швеция и др.). В России сосредоточено около 30 % мировых запасов торфа, но они в настоящее время остаются невостребованными. Доля торфяной энергетики составляет менее 1 % от всех источников энергии [2]. По запасам торфа Кировская область занимает второе место в Приволжском федеральном округе, что составляет 25 % от общих запасов. В настоящее время на территории области известно порядка 2000 торфяных месторождений общей площадью 500 тыс. га, что составляет около 4 % от всех территорий [3].

Исследования показывают, что «расплавленная» зола торфа негативно воздействует на обмуровку топки, выполненную из шамотного кирпича. В результате взаимодействия золы и шамота температура плавления последнего уменьшается, и прочность его резко снижается [2]. Определение размеров частиц торфяного шлама, образовавшихся после сгорания топлива, является важным не только для расчета тепловых потоков и теплообмена, но и для экологической безопасности.

В данной работе изучались образцы торфяного шлама с целью разработки методики определения его химического состава, массовой доли компонентов, размеров частиц торфяного шлама и построения их функций распределения.

В качестве объектов исследования взяты два образца торфяного шлама. Образец №1 – шлам после сжигания торфяного брикета при температуре 600°C, представлял собой порошок желтоватого оттенка. Образец №2 – шлам после сжигания торфа на ТЭЦ-4 г. Кирова при температуре 1000...1350°C, представлял собой порошок тёмно-коричневого оттенка. Исследования образцов торфяного шлама проводились на базе лаборатории современных методов физико-химического анализа, входящей в состав научно-образовательного центра «Нанотехнологии» Вятского государственного университета (ВятГУ).

Исследования структуры и размеров частиц торфяного шлама проводились на сканирующем электронном микроскопе JSM-6510LV фирмы «JEOL» (Япония), основанном на принципе взаимодействия электронного пучка с исследуемым веществом. Сканируя поверхность объекта электронным пучком, получают карту рельефа проанализированной зоны. Для примера на рис. 1 представлены данные, полученные с помощью электронной микроскопии для образца №2. Частицы торфяного шлама представляют собой образования неправильной формы, находящиеся на небольшом расстоянии друг от друга, слипания между частицами не наблюдаются.

Результаты сканирующей микроскопии позволили определить размеры отдельных частиц с помощью графических инструментов. Снимки отдельных полей зрения анализировались в ручном режиме. Для каждого образца в процессе статистической обработки данных заполнялись массивы, содержащие данные о размерах частиц.

В работе использовалась система Mathcad, имеющая ряд встроенных функций для расчетов числовых статистических характеристик рядов случайных данных. Общее число данных  $n$ , среднее значение  $x_m$ , среднеквадратичное (стандартное) отклонение  $\sigma$  рассчитывались соответственно с помощью встроенных функций  $length(x)$ ,  $mean(x)$  и  $stdev(x)$ , где  $x$  – массив данных. Нижнее  $low$  и верхнее  $hi$  значения коридора ошибки (доверительная вероятность  $\alpha = 0,68$ ) вычислялись по формулам:

$$low = x_m - \sigma,$$

$$hi = x_m + \sigma.$$

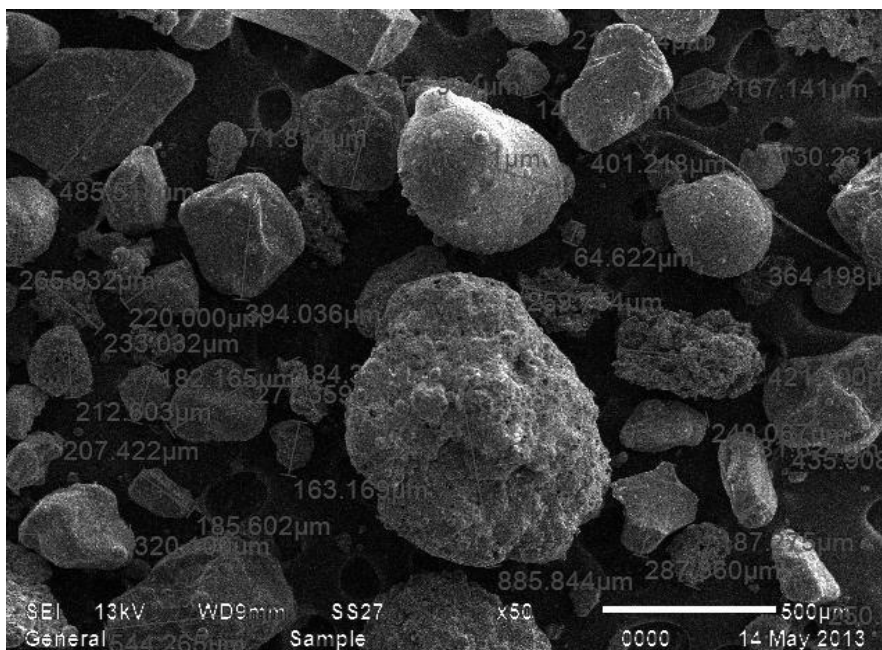


Рис. 1. Результаты электронной сканирующей микроскопии на примере образца №2

Для описания размеров частиц для образца №1 использовалось логарифмически-нормальное распределение:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot x \ln \sigma} e^{-\frac{(\ln x - \ln x_m)^2}{2(\ln \sigma)^2}}$$

с параметрами  $x_m = 22,89$  мкм и  $\sigma = 18,39$ .

Для описания размеров частиц для образца №2 использовалось нормальное (Гауссовское) распределение:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} e^{-\frac{(x-x_m)^2}{2\sigma^2}}$$

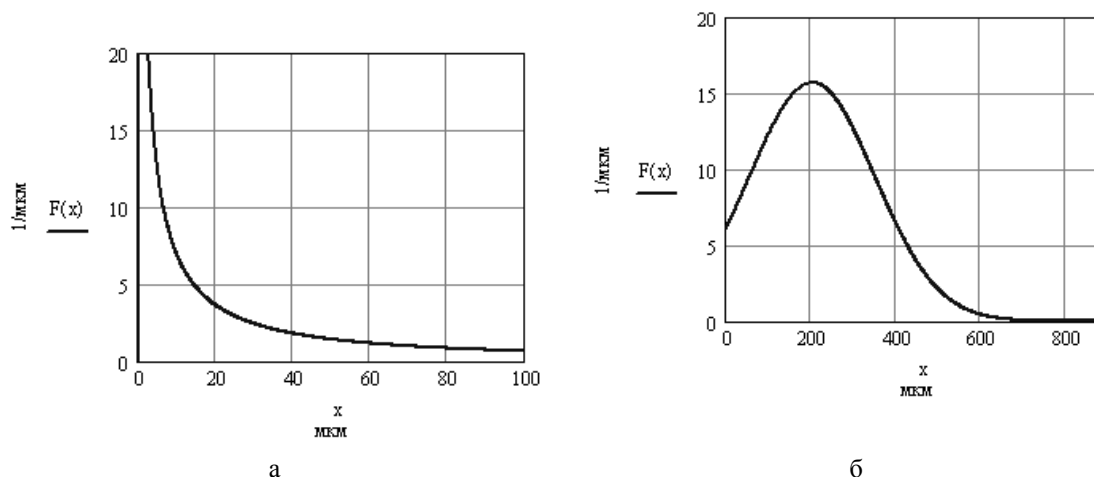


Рис. 2. Функции распределения частиц по размерам торфяного шлама:

*a* – образец №1; *б* – образец №2

с параметрами  $x_m = 203,6$  мкм и  $\sigma = 148,2$ .

Полученные графики функций распределения частиц шлама по размерам приведены на рис. 2.

Возможности микроскопа JSM-6510LV позволили определить химический состав сканируемой поверхности за счёт встроенного энергодисперсионного спектрометра (ЭДС). ЭДС выводит спектр элементов в точке наблюдения образца. Данные химического состава шлама для указанных образцов представлены в таблице 1.

Таблица 1. Химический состав торфяного шлама по результатам сканирующей электронной микроскопии

Элемент	Образец №1		Образец №2	
	Весовой состав, %	Атомный состав, %	Весовой состав, %	Атомный состав, %
O	39,20	55,40	52,75	67,67
Ca	27,08	15,27	1,48	0,76
Fe	10,01	4,05	5,36	1,97
Si	9,00	7,25	26,54	19,40
C	5,68	10,70	-	-
Al	5,46	4,58	10,68	8,13
S	2,50	1,76	-	-
Mg	1,07	1,00	1,26	1,06
K	-	-	1,94	1,02

Из таблицы видно, что в обоих образцах преобладают спектры кремния, алюминия, кальция, железа и кислорода. Заметное влияние на колебание состава рабочей массы торфяного шлама оказывает содержание углерода и кислорода, которые являются, в известной степени функцией глубины залегания торфа. Кислород составляет более 50% атомного состава исследованных образцов. Углерод обнаружен только в образце №1.

Однако полученные данные не дают чёткого представления о вещественном составе шлама, так как каждый элемент определен вне состава соединения. Также состав считывался с ограниченного небольшого участка каждого образца, что не позволяет достаточно точно получить представление о химическом составе образцов в целом.

Таблица 2. Результаты рентгенофлуоресцентного анализа образцов торфяного шлама

Химическое соединение	Образец №1	Образец №2
	Состав в % по массе	Состав в % по массе
SiO <sub>2</sub>	46,571	41,556
CaO	25,293	20,262
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,576	20,121
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,181	11,192
SO <sub>3</sub>	6,334	0,815
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2,039	1,875
K <sub>2</sub> O	1,083	1,717
TiO <sub>2</sub>	0,750	1,132
MgO	0,633	0,806
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,204	0,060
ZnO	0,141	-
SrO	0,108	0,112
MnO	0,081	0,353

Для более детального изучения химического состава торфяного шлама использовался рентгенофлуоресцентный спектрофотометр EDX-900HS (фирмы «Shimadzu», Япония). Действие прибора основано на сборе и последующем анализе спектра, полученного путём воздействия на исследуемый материал рентгеновским излучением. В результате получается рентгенофлуоресцентные спектры. Программное обеспечение аппарата позволяет не только выявить элементный состав, но также имеет функцию пересчёта элементного состава в оксидную форму. Полученные результаты представлены в таблице 2.

Из таблицы видно, что в шламе преобладают оксиды SiO<sub>2</sub>, CaO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Температура сжигания образцов находится в пределах от 600 до 1350°C. Это означает, что по плавкости минеральной части шлам относится к шламу с низкой температурной плавления. Средний состав массовой доли компонентов в ранее полученных данных [2] и в исследуемых образцах совпадают. Так как низкая температура плавления золы торфа этой группы объясняется образованием

легкоплавких соединений с большим содержанием файолита ( $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ ), можно предположить содержание данного соединения в шламе исследованных образцов. Степень разложения торфа обычно колеблется в пределах от 10 до 50%. С уменьшением степени разложения торфа выход летучих веществ увеличивается. Чем больше химический возраст торфа, тем больше степень его разложения и меньше выход летучих веществ. В образце №1 содержится большое количество  $\text{SO}_3$ , следовательно, летучие вещества не выходят в полной мере и степень разложения торфа данного образца высока.

В работе предложена методика определения химического состава, массовой доли компонентов, размеров и функции распределения частиц по размерам торфяного шлама. Данная работа представляет собой блок разрабатываемой комплексной методики моделирования оптических свойств, радиационных и излучательных характеристик гетерогенных продуктов сгорания с целью исследования влияния вышеперечисленного на процессы горения и эффективность работы энергетических установок.

#### Список литературы

1. Распоряжение Правительства РФ от 08.01.2009 N 1-р (ред. от 28.05.2013) «Об утверждении Основных направлений государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе использования возобновляемых источников энергии на период до 2020 года (с изменениями на 28 мая 2013 года) [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru/document/902137809> (дата обращения: 13.10.2013).
2. Разработка концепции программы развития торфяной отрасли Кировской области на перспективу до 2013 года (ред. 21.03.2007): отчет по выполнению I этапа работ / ОАО «ТГК-5»; рук. Э.Ю. Смелов. – Киров, 2007. – 141 с.
3. Уланов Н.А. Торфяные и выработанные почвы. – Киров: ОАО «Дом печати – Вятка», 2005. – 287 с.

#### Повышение энергоэффективности процесса сушки торфа в паровых трубчатых сушилках с помощью распознавания и классификация производственных ситуаций

*Кулаковский Л.Я., Розен В.П., Алтухов Е.И.*

*Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»  
Институт энергосбережения и энергоменеджмента, Украина, г. Киев  
[kulakovskiy@ukr.net](mailto:kulakovskiy@ukr.net)*

**Введение.** Применение ручного регулирования параметров сушки торфа и субъективность в определении необходимых режимов работы приводят к высоким затратам энергоносителей, низкой производительности процесса, его пожароопасности [1]. Энергоэффективное управление процессом сушки торфа в сушилке Цемаг возможно реализовать в условиях автоматизированного управления в котором центральным ядром является математическая модель, позволяющая выявить факторы, наиболее сильно влияют на процесс сушки и оптимизировать их работу. Именно разработка эффективного алгоритма управления процессом сушки торфа позволит оператору сушилки облегчить задачу получения сушенки необходимого качества, повысить пожаробезопасность процесса и рационально использовать энергоресурсы.

**Основная часть.** Построенные с помощью методов индуктивного моделирования математические модели энергопотребления процесса сушки торфа, [2] позволили найти оптимальные управляющие изменения при определенных значениях возмущающих воздействий, удовлетворяющих условиям качества сушенки и пожаробезопасности. Для построения системы управления процессом сушки торфа наиболее целесообразно использовать многослойный перцептрон, как модель с высоким быстродействием после обучения, возможностями экстраполяции, построения функции любой сложности, в меньшей степени чувствительной к увеличению числа входных воздействий, что особенно важно для построения модели многофакторного объекта. Обученный на экспериментальных опытах перцептрон позволяет реализовать решения задачи «вход–выход», т.е. при поступлении новых значений возмущающих воздействий он позволяет просчитать оптимальные управляющие воздействия.

Однако в реальных условиях изменить управляющие воздействия на оптимальные, удовлетворяющих условиям минимума потребления энергии и качества полученной сушенки, не всегда возможно. Сложность изменения управляющих воздействий, которые установлены для торфа доставленного предварительной вагонеткой, на новые, объясняется инерционностью

процесса сушки, поскольку быстрая смена одного из управляющих параметров может привести к выходу некачественной сушенки, что находится в барабане сушилки на момент перехода работы сушилки на новые режимные параметры. Кроме этого, бывают случаи, когда, например, температуру агента сушки необходимо увеличить с 100°C до 130°C, а для торфа следующей вагонетки наоборот. Это в свою очередь приведет к увеличению расходов торфа на сжигание в котельных, значительные затраты времени на переход на необходимые режимные параметры работы сушилки и является достаточно сложным для регулирования количества подачи торфа необходимого для сжигания и температуры сушильного агента в частности.

Для уменьшения влияния резкого изменения управляющих воздействий на процесс сушки при изменении возмущающих воздействий необходимо проводить распознавание и классификацию производственных ситуаций и согласно с этим подбирать управляющие воздействия. Целью создания вычислительных систем распознавания является автоматизация группы процессов восприятия и познания, связанных с поиском, выделением, идентификацией, классификацией и описанием ситуаций на основе анализа реальных данных, полученных тем или иным способом [3].

Распознавание, конечно, связывают с двумя функциями: отнесением некоторого объекта к неизвестному классификатору класса объектов и идентификации некоторого объекта как элемента известного классификатору класса [4]. Первая функция представляет собой процесс выделения новых классов, так называемая, кластеризация, а вторая – это собственно распознавание. Центральная задача распознавания образов – построение на основе систематических теоретических и экспериментальных исследований эффективных вычислительных средств для отнесения формализованных описаний ситуаций и объектов к соответствующему классу.

Классификацию ситуаций целесообразно осуществлять на основе дискриминантного анализа, который позволяет изучать различие между двумя и более группами (классами) объектов по нескольким переменным одновременно, и на основе найденных характеристик классов проводить идентификацию объектов с неизвестной классовой принадлежностью. Целью дискриминантного анализа является разработка приемов решения задач распознавания (дискриминации) новых объектов путем сравнения величины их признаков с аналогичными показателями уже исследованных кластеров. Такое сравнение позволяет классифицировать новые объекты (ситуации), отнести их в те или иные группы [5].

Пусть каждая из  $n$  производственных ситуаций описывается  $m$  факторами информации в виде матрицы  $Z$  исходных данных. Также описывается определенная характеристика  $S$  ( $S = 1, 2, \dots, P$ ), которая указывает на принадлежность ситуации к некоторому кластеру. Значение  $S$  может быть определено заранее посредством проведения кластерного анализа.

В качестве критерия объединения ситуаций в классы можно использовать затраты энергии для получения сушенки необходимого качества. То есть согласно значению функции энергопотребления, которые она принимает при соответствующих значениях возмущающих и управляющих воздействиях, ситуации можно классифицировать с наименее к наиболее энергозатратных.

Совокупность ситуаций с найденными параметрами  $Z$  и  $S$  используется для нахождения связи между значениями этих характеристик и называется учебной выборкой (учителем). Тогда задача состоит в построении с помощью учителя дискриминантной функции  $f(x)$  и отнесении на ее основе новой ситуации к одному из  $P$  кластеров  $W_1, W_2, \dots, W_P$  [5]. Поэтому дискриминантный анализ позволяет идентифицировать определенные новые воздействия к соответствующему классу.

Дискриминантная функция производственных ситуаций сушилки торфа имеет следующий вид:

$$\hat{S} = C_0 + C_1X_1 + C_2X_2 + \dots + C_5X_5 + C_6F_1 + C_7F_2 + \dots + C_{13}F_8, \quad (1)$$

где  $\hat{S}$  – значение параметра, идентифицирующего принадлежность ситуации к определенному кластеру;  $C_0, C_1, \dots, C_{13}$  – неизвестные коэффициенты регрессии;  $X_1, \dots, X_5$  – значения управляющих воздействий;  $F_1, \dots, F_8$  – значения возмущающих воздействий.

Приведем алгоритм по которому осуществляется управление технологическим процессом сушки торфа в сушилках:

Шаг 1. Классифицируем производственные ситуации и управляющие переменные согласно классификатору. Определяем классы производственных ситуаций, отвечающих определенным классам управляющих параметров.

Шаг 2. Измеряем и определяем входные возмущающие воздействия.

Шаг 3. С помощью обученного перцептрона определяем необходимые оптимальные по энергопотреблению управляющие воздействия процесса сушки торфа, подавая на вход нейросети возмущающие воздействия, что позволит на выходе получить параметры управления. Устанавливаем найденные значения управляющих параметров на производстве.

Шаг 4. С помощью дискриминантного анализа осуществляем распознавание производственной ситуации и относим ее к необходимому классу производственных ситуаций и классу управляющих воздействий.

Шаг 5. При поступлении следующей вагонетки торфа повторяем шаг 2 и шаг 4.

Шаг 6. Сравниваем соответствие классу производственной ситуации с установленными параметрами (классом) управляющих воздействий. Если дискриминантная функция соответствует области установленных классов производственных ситуаций и управляющих переменных, технологические параметры процесса остаются неизменными; нет – меняем значения управляющих параметров до момента соответствия новому классу ситуации классу управляющих переменных. Изменение регулирующих параметров целесообразно проводить согласно корреляционных связей возмущающих воздействий с управляющими. Для этого отбираются 2-3 возмущающих воздействия, что наиболее изменились по сравнению с предыдущими данными. Затем подбираем управляющие воздействия, которые имеют наибольшую корреляционную связь с отобранными входными параметрами. Меняем значение подобранных регулирующих воздействий до момента вхождения дискриминантной функции в необходимый класс производственных ситуаций. Для того, чтобы не менять постоянно лишь один из управляющих параметров, нужно ограничить их изменение в определенных пределах. При достижении критически возможного уровня такого параметра, необходимо проводить изменение другого управляющего фактора, что также имеет значительную корреляционную связь с входными параметрами, которые наиболее изменились по сравнению с параметрами торфа предыдущей вагонетки.

**Заключение.** Классификация и распознавание производственных ситуаций позволяет построить эффективную систему управления процессом сушки торфа в паровых трубчатых сушилках, что позволит минимизировать затраты энергоносителей, повысить качество сушенки и производительность сушилки.

#### Список литературы

1. Гнеушев В.О. Брикетования торфу: Монографія. – Рівне: НУВГП, 2010. – 167 с.
2. Кулаковський Л.Я. Знаходження за допомогою МГУА математичної моделі процесу процесу сушіння торфу в парових трубчатих сушарках/ Л.Я. Кулаковський, В.П. Розен// Сучасні проблеми систем електропостачання промислових та побутових об'єктів. Збірник наукових праць I Міжнародної науково-технічної конференції викладачів, аспірантів і студентів. – Донецьк: РВВ«ДВНЗ»ДонНТУ, 2013. – С. 129-131.
3. Аксенов А.И. Параллельная обработка информации: Т. 5 Проблемно-ориентированные и специализированные средства обработки информации/ А.И. Аксенов, В.В. Аристов, Е.Ю. Барзилович и др. – АН УССР. Физ.-мех. ин-т. – Киев: Наук. думка, 1990. – 504 с.
4. Загоруйко Н.Г. Методы распознавание образов и их применение. – М.: Сов. Радио, 1976. – 206 с.
5. <http://ua.convdocs.org/docs/index-49428.html>

#### Концепция утилизации минеральной части бурых углей Шивэ-Овооского месторождения Монголии

*Кучерина А. Н., Долгих А. Ю., Николаева В. И., Черкашина Г. А.*

*Томский Политехнический Университет, Россия, г. Томск*

[cannonfodderzura@mail.ru](mailto:cannonfodderzura@mail.ru)

В течение XX века и в настоящее время основной задачей тепловых электрических станций (ТЭС) работающих на твердом топливе является выработка электрической и тепловой энергии, при этом проблемы, связанные с экологией, стали сверх актуальны в последние 2 десятилетия. Однако вред, наносимый ТЭС окружающей среде, был настолько очевиден и настолько велик, что не мог оставаться без внимания. Почти на всех угольных ТЭС удаление золы и шлаков в намывные отвалы осуществляется гидравлическим способом. При этом системы гидрозолоудаления и складирования золы и шлака порождают много сложных инженерно-технических и экологических проблем. При непрерывном росте количества золы, транспортируемой в золошлаковые отвалы, требуется дополнительный отвод земли вблизи ТЭС.

При строительстве новых станций необходимо на этапе проектирования планировать ввод технологических схем утилизации золошлаковых отходов для решения экологической проблемы, связанной с выбросами золы и шлака, путем комплексной переработки отходов в несколько видов материалов, которые могут быть использованы в различных отраслях. Основные направления переработки золошлаковых отходов представлены на рис. 1.



Рис.1. Направления утилизации золошлаковых отходов

Однако золошлаковые отходы составляют миллионы тонн, поэтому утилизация должна осуществляться в тех отраслях хозяйства, в которых есть большие и постоянные потребности в сырьевых ресурсах. Золошлаки и получаемые из них продукты могут использоваться в различных направлениях. Самыми крупными ее потребителями могут стать строительная индустрия, производство стройматериалов и дорожное строительство.

Пригодность золы и шлака в качестве основного сырья при производстве строительных материалов и в бетонах различного назначения в качестве заполнителя или взамен части вяжущего материала определяется, прежде всего, отсутствием или ограниченным содержанием в них вредных компонентов, ухудшающих физико-механические характеристики строительных материалов и бетонов, снижающих их эксплуатационно-технические свойства или затрудняющих технологические процессы производства и ограничивающих область применения [1].

Также отходы могут использоваться в качестве засыпного материала выработанных карьеров, шахт и различного вида оврагов. Необходимо принимать во внимание такие параметры как щелочность, кислотность и общий показатель потенциально опасных компонентов как сера и т. д. Но закладка золы в пустых пространствах подземных горных выработок имеет смысл только при близком расположении к ним ТЭС [2].

Однако наличие даже очень малого процента ценных компонентов в объеме отходов позволяет рассматривать их как потенциальный источник для получения различных элементов, таких как ценные металлы. Ведь состав углей и следовательно золы может включать в себя довольно обширный ряд всевозможных металлов, даже такие редкие и дорогие как золото и титан. Минимальные содержания ценных элементов, позволяющие положительно оценивать энергетическое топливо как сырье для сопутствующего их получения представлены в [3]:



Использование золы в качестве удобрений в сельском хозяйстве является одним из основных направлений применения золы бурых углей, особенно золы с повышенным содержанием кальция и магния. Зола, внесенная в почву, больше всего влияет на ее физические и химические свойства, такие как химическая реакция, кислотность, количество меняющегося алюминия, сорбционная и водопоглотительная способность. Летучую золу, непосредственно внесенную в почву, можно расценивать как удобрение, содержащее кальций и магний. Зола бурых углей обладает несколько меньшей щелочностью, чем удобрения на основе кальция, однако, она содержит другие компоненты, жизненно важные для растений, особенно магний.

Осадки сточных вод, используемые в сельскохозяйственных целях, должны соответствовать определенным требованиям. Одним из способов подготовки осадков для их использования в сельском хозяйстве является добавка золы, что делает возможным использование смеси для удобрения растений. Полученные смеси имеют низкую влажность, и кроме того, щелочная реакция золы приводит к ошелачиванию шлама, что является благоприятным фактором. Также благоприятными являются процессы компостирования шлама и золы. Добавка золы бурого угля в шлам замедляет скорость минерализации органических веществ, содержащихся в шламе, благодаря чему потери азота и угля во время компостирования смесей меньше, чем потери в случае использования шлама без добавок [4].

При оценке возможного варианта утилизации не горючей части от сжигания исследуемого угля необходимо обратить внимание на гранулометрический, химический, а также фазово-минералогический составы золы и сопоставить с техническими требованиями, предъявляемыми к изготавливаемым материалам и изделиям.

Усредненный химический состав золы бурых углей Шивэ-Овооского месторождения Монголии представлен в таблице 1.

Таблица 1. Усредненный химический состав золы

SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MaO	SiO <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
41 %	17 %	16 %	6 %	12 %	4 %	0,5 %	0,08 %

На данном этапе свойства минеральной части исследуемого угля рассматриваются на основании химического состава золы. Согласно существующим требованиям производится оценка возможного варианта для утилизации:

Строительные материалы:

Производство цементов: SiO<sub>2</sub> – не менее 25%, CaO – не менее 10% [5].

Бетоны и растворы [6]:

Легкие бетоны: CaO+MaO - не менее 3%.

Бетоны на портландцемент: CaO+MaO - не менее 3%, Карбонаты – не менее 2%.

Жаростойкие бетоны: SiO<sub>2</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - не менее 75%, SiO<sub>2</sub> – не менее 40%, SiO<sub>3</sub>- не менее 3%, CaO+MaO - не менее 4% [7].

Ячеистые бетоны: CaO – не менее 40%, K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O - не менее 3,5%, SiO<sub>3</sub>- не менее 6% [8].

Пористые заполнители [9]:

Аглопористый гравий: SiO<sub>2</sub> – 45-65%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 15-35%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 2-18%, CaO + MaO - не менее 12%, SiO<sub>3</sub> - не менее 3%.

Керамзит: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 20-35% CaO – 7-12%

Зольный гравий: Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – не менее 7%, CaO+MaO - не менее 8%.

Шамот: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 28-33% для ряда марок изделия, SiO<sub>2</sub> – 14-28% [10].

Наполнители для мастик: Влажность по массе, не более 3 % [11].

Исходя из свойств и минерального состава золы, возможными вариантами утилизации является производство цементов, легких бетонов, зольного гравия путем перевода отходов в инертный вид. Также можно использовать в качестве сырья для получения наполнителей для мастик. Этому соответствуют легко достижимые технические условия.

Удобным и быстрым способом утилизации золошлаков предоставляется использование её в качестве засыпного материала при условии относительно небольшого расстояния от ТЭС до места закладки золы.

Содержание кальция и магния в золе бурых углей позволяет рассматривать возможность использовать исследуемый материал в качестве удобрений почвы.

На данном этапе исследований нет возможности оценить содержание редких металлов в золошлаках исследуемого угля. В дальнейшем планируется провести исследование позволяющее рассмотреть свойства материала с точки зрения содержания полезных компонентов.

#### Список литературы

1. Капустин Ф.Л., Уфимцев В.М. Российские стандарты по использованию золошлаков теплоэнергетики в производстве строительных материалов. Материалы II научно-практического семинара «Золошлаки ТЭС: удаление, транспорт, переработка, складирование», Москва, 23–24 апреля 2009 г. — М.: Издательский дом МЭИ, 2009. С. 57 – 64.
2. Паларски Я., Заяц А. Использование летучей золы и шлака электростанций при производстве горных работ в Польше // Материалы II научно-практического семинара «Золошлаки ТЭС: удаление, транспорт, переработка, складирование», Москва, 23–24 апреля 2009 г. — М.: Издательский дом МЭИ, 2009. С. 73 – 79.
3. Жаров Ю.Н., Мейтов Е.С., Шарова И.Г. и др. Ценные и токсичные элементы в товарных углях России - Справочник М.: Недра, 1996. 239 с.
4. Гибжинская М., Хари Г., Куява П. и др. Потенциал утилизации летучей золы бурых углей в сельском хозяйстве // Материалы III научно-практического семинара «Золошлаки ТЭС: удаление, транспорт, переработка, складирование», Москва, 22–23 апреля 2010 г. — М.: Издательский дом МЭИ, 2010. С. 68 – 71.
5. ГОСТ 31108-2003. Цементы общестроительные. Технические условия. М.: ФГУП ЦПП, 2004.
6. ГОСТ 25592-91. Смеси золошлаковые тепловых электростанций для бетонов. Технические условия. М.: Изд-во стандартов, 1992.
7. ГОСТ 20910-90. Бетоны жаростойкие. Технические условия. М.: Изд-во стандартов, 1991.
8. ГОСТ 25485-89. Бетоны ячеистые. Технические условия. М.: Изд-во стандартов, 1993.
9. ТУ21-31-2-82. Зола тепловых электростанций как сырьё для производства аглопоритового гравия, керамического кирпича и камней. М.: ВНИИстром, 1982.
10. ГОСТ 390-96 Изделия огнеупорные шамотные и полукислые общего назначения и массового производства. Технические условия.
11. ГОСТ 2889-80 Мастика битумная кровельная горячая. Технические условия.

#### Экстренная психологическая помощь в экстремальных ситуациях

*Левченко А.А., Сечин А.А.*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск  
[levchenkoanna2011@mail.ru](mailto:levchenkoanna2011@mail.ru)*

Экстренная психологическая помощь (ЭПП) — это система краткосрочных мероприятий направленная на оказание помощи одному человеку, группе людей или большому числу пострадавших после кризисного или чрезвычайного события.

Экстренная психологическая помощь оказывается людям в остром стрессовом состоянии (ОСР). Это состояние представляет собой переживание эмоциональной и умственной дезорганизации.

Психодиагностика, психотехники воздействия и процедура оказания психологической помощи в экстремальных ситуациях имеют свою специфику.

В частности, психодиагностика в экстремальных ситуациях имеет свои отличительные особенности. В этих условиях из-за нехватки времени невозможно использовать стандартные диагностические процедуры. Действия, в том числе практического психолога, определяются планом на случай чрезвычайных обстоятельств.

Неприменимы во многих экстремальных ситуациях и обычные методы психологического воздействия. Все зависит от целей психологического воздействия в экстремальных ситуациях: в одном случае надо поддержать, помочь; в другом следует пресечь, например, слухи, панику; в третьем — принципами оказания помощи перенесшим психологическую травму в результате влияния экстремальных ситуаций являются:

- безотлагательность;
- приближенность к месту событий;
- ожидание, что нормальное состояние восстановится;
- единство и простота психологического воздействия.

Безотлагательность означает, что помощь пострадавшему должна быть оказана как можно быстрее: чем больше времени пройдет с момента травмы, тем выше вероятность возникновения хронических расстройств, в том числе и посттравматического стрессового расстройства.

Смысл принципа приближенности состоит в оказании помощи в привычной обстановке и социальном окружении, а также в минимизации отрицательных последствий «госпитализма».

Ожидание, что нормальное состояние восстановится: с лицом, перенесшим стрессовую ситуацию, следует обращаться не как с пациентом, а как с нормальным человеком. Необходимо поддерживать уверенность в скором возвращении нормального состояния.

Единство психологического воздействия подразумевает, что либо его источником должно выступать одно лицо, либо процедура оказания психологической помощи должна быть унифицирована.

Простота психологического воздействия — необходимо отвести пострадавшего от источника травмы, предоставить пищу, отдых, безопасное окружение и возможность быть выслушанным.

В целом служба экстренной психологической помощи выполняет следующие базовые функции:

- практическую: непосредственное оказание скорой психологической и (при необходимости) доврачебной медицинской помощи населению;
- координационную: обеспечение связей и взаимодействия со специализированными психологическими службами.

Ситуация работы психолога в экстремальных условиях отличается от обычной терапевтической ситуации, по меньшей мере, следующими моментами:

- Работа с группами. Часто приходится работать с группами жертв, и эти группы не создаются психологом (психотерапевтом) искусственно, исходя из нужд психотерапевтического процесса, они были созданы самой жизнью в силу драматической ситуации катастрофы.

- Пациенты часто пребывают в остром аффективном состоянии. Иногда приходится работать, когда жертвы находятся еще под эффектом травмирующей ситуации, что не совсем обычно для нормальной психотерапевтической работы.

- Нередко низкий социальный и образовательный статус многих жертв. Среди жертв можно встретить большое количество людей, которые по своему социальному и образовательному статусу никогда в жизни не оказались бы в кабинете психотерапевта.

- Разнородность психопатологии у жертв. Жертвы насилия часто страдают, помимо травматического стресса, неврозами, психозами, расстройствами характера и, что особенно важно для профессионалов, работающих с жертвами, целым рядом проблем, вызванных самой катастрофой или другой травмирующей ситуацией. Имеется в виду, например, отсутствие средств к существованию, отсутствие работы и пр.

- Наличие почти у всех пациентов чувства потери, ибо поскольку часто жертвы теряют близких людей, друзей, любимые места проживания и работы и пр., что вносит вклад в нозологическую картину травматического стресса, особенно в депрессивную составляющую данного синдрома.

- Отличие посттравматической психопатологии от невротической патологии. Можно утверждать, что психопатологический механизм травматического стресса принципиально отличается от патологических механизмов невроза. Таким образом, необходимо выработать стратегии работы с жертвами, которые охватили бы и те случаи, когда имеет место «чисто» травматический стресс, и те случаи, когда имеет место сложное переплетение травматического стресса с другими патогенными факторами внутреннего или внешнего происхождения.

Цель и задачи экстренной психологической помощи включают профилактику острых панических реакций, психогенных нервно-психических нарушений; повышение адаптационных возможностей индивида; психотерапию возникших пограничных нервно-психических нарушений. Экстренная психологическая помощь населению должна основываться на принципе интервенции в поверхностные слои сознания, то есть на работе с симптоматикой, а не с синдромами.

Проведение психотерапии и психопрофилактики осуществляют в двух направлениях. Первое со здоровой частью населения - в виде профилактики:

- а) острых панических реакций;
- б) отсроченных, «отставленных» нервно-психических нарушений.

Второе направление - психотерапия и психопрофилактика лиц с развившимися нервно-психическими нарушениями. Технические сложности ведения спасательных работ в зонах катастроф, стихийных бедствий могут приводить к тому, что пострадавшие в течение достаточно продолжительного времени окажутся в условиях полной изоляции от внешнего мира. В этом случае рекомендуется психотерапевтическая помощь в виде экстренной «информационной терапии», целью которой является психологическое поддержание жизнеспособности тех, кто жив, но находится в полной изоляции от окружающего мира (землетрясения, разрушение жилищ в

результате аварий, взрывов и т.д.). «Информационная терапия» реализуется через систему звукоусилителей и состоит из трансляции следующих рекомендаций, которые должны услышать пострадавшие:

- 1) информация о том, что окружающий мир идет к ним на помощь и делается все, чтобы помощь пришла к ним как можно быстрее;
- 2) находящиеся в изоляции должны сохранять полное спокойствие, т.к это одно из главных средств к их спасению;
- 3) необходимо оказывать себе самопомощь;
- 4) в случае завалов пострадавшие не должны принимать каких-либо физических усилий к самоэвакуации, что может привести к опасному для них смещению обломков;
- 5) следует максимально экономить свои силы;
- 6) находиться с закрытыми глазами, что позволит приблизить себя к состоянию легкой дремоты и большей экономии физических сил;
- 7) дышать медленно, неглубоко и через нос, что позволит экономить влагу и кислород в организме и кислород в окружающем воздухе;
- 8) мысленно повторять фразу: «Я совершенно спокоен» 5 - 6 раз, чередуя эти самовнушения с периодами счета до 15-20, что позволит снять внутреннее напряжение и добиться нормализации пульса и артериального давления, а также самодисциплины;
- 9) высвобождение из «плена» может занять больше времени, чем хочется потерпевшим. «Будьте мужественными и терпеливыми. Помощь идет к вам».

Целью «информационной терапии» является также уменьшение чувства страха у пострадавших, т.к известно, что в кризисных ситуациях от страха погибает больше людей, чем от воздействия реального разрушительного фактора. После освобождения пострадавших из-под обломков строений необходимо продолжить психотерапию (и прежде всего - амнезирующую терапию) в стационарных условиях.

Еще одной группой людей, к которым применяется психотерапия в условиях ЧС, являются родственники людей, находящихся под завалами, живыми и погибшими. Для них применим весь комплекс психотерапевтических мероприятий:

- поведенческие приемы и методы, направленные на снятие психоэмоционального возбуждения, тревоги, панических реакций;
- экзистенциальные техники и методы, направленные на принятие ситуации утраты, на устранение душевной боли и поиск ресурсных психологических возможностей.

Еще одна группа людей, к которым применяется психотерапия в зоне ЧС, это спасатели. Основной проблемой в подобных ситуациях является психологический стресс. Именно это обстоятельство значительно влияет на требования, предъявляемые к специалистам служб экстренной помощи. Специалисту необходимо владеть умением своевременно определять симптомы психологических проблем у себя и у своих товарищей, владеть эмпатическими способностями, умением организовать и провести занятия по психологической разгрузке, снятию стресса, эмоционального напряжения. Владение навыками психологической само- и взаимопомощи в условиях кризисных и экстремальных ситуаций имеет большое значение не только для предупреждения психической травматизации, но и для повышения устойчивости к стрессовым воздействиям и готовности быстрого реагирования в чрезвычайных ситуациях.

В результате осуществления обширной исследовательской программы немецкие психологи Б. Гаш и Ф. Ласогга разработали ряд рекомендаций для психолога, другого специалиста или добровольца, работающих в экстремальной ситуации. Эти рекомендации полезны как психологам при непосредственной работе в местах массовых бедствий, так и для подготовки спасателей и сотрудников специальных служб.

#### Список литературы

1. Ирина Малкина-Пых. "Экстремальные ситуации". Серия "Справочник практического психолога" "Эксмо", Москва, 2006 г.
2. М.А. Крюкова, Т.И. Никитина, Ю.С. Сергеева «Экстренная психологическая помощь», 2001.
3. М.М. Решетников «Психическая травма: монография»

**Применение импульсного коронного разряда для очистки нефтесодержащих сточных вод***Маринин С.А., Сапрыкин Ф.Е., Грязнова Е.Н., Хаскельберг М.Б., Корнев Я.И.**Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск*[fainer@sibmail.com](mailto:fainer@sibmail.com)

Загрязнение поверхностных и подземных вод нефтью и нефтепродуктами является одной из актуальных проблем нашего времени. Основными источниками загрязнения являются промышленные сточные воды нефтедобывающих и нефтеперерабатывающих предприятий.

Известно, что нефтепродукты в сточных водах могут находиться в грубодисперсном, тонкодисперсном или эмульгированном состоянии, а также в растворенной форме [1]. В сточных водах концентрация нефтепродуктов может достигать десятков мг/л, что существенно выше предельно допустимой концентрации (ПДК), составляющей 0,05 мг/л для вод рыбохозяйственного назначения.

Для удаления из воды пленочных нефтепродуктов традиционно используют песколовки, в которых задерживаются грубодисперсные взвешенные частицы, а также отстойники и нефтеловушки [2]. Удаление тонкодисперсных нефтепродуктов происходит в процессах флотации, коагулирования с последующим фильтрованием на песчаных загрузках или осаждением в отстойниках. Однако, после предварительной очистки в воде, как правило, содержится достаточно большое количество растворенных примесей, концентрация которых может составлять единицы мг/л. Эффективное удаление из воды растворенных нефтепродуктов является серьезной проблемой, для решения которой необходимо применение современных технологий.

В настоящей работе для удаления растворенных нефтепродуктов предложено использовать импульсный коронный разряд (ИКР) в водо-воздушной среде, полученной в результате диспергирования воды в воздухе на капли размером до нескольких миллиметров. Электрический разряд является источником активных частиц-окислителей: атомарного кислорода (О), озона (О<sub>3</sub>) и гидроксильных радикалов (ОН), которые способствуют окислению неорганических примесей и деструкции содержащихся в воде органических веществ. Каналы разряда формируются в газовой фазе, в непосредственной близости или на поверхности капель воды, что способствует эффективному взаимодействию короткоживущих радикалов с компонентами водных растворов [3].

Импульсный коронный разряд был ранее успешно применен для удаления из воды органических примесей – фенолов, гуминовых веществ и др. [3,4,5,6]. Целью настоящей работы является определение эффективности применения ИКР в водо-воздушном потоке для удаления растворенных нефтепродуктов.

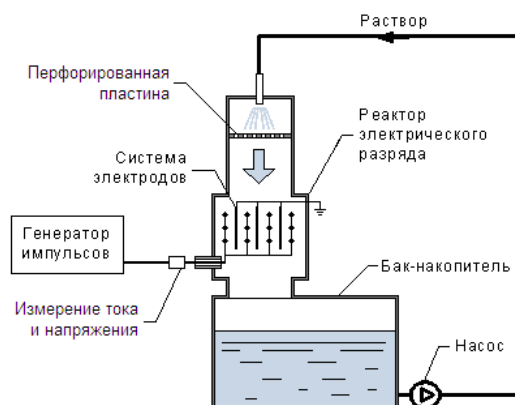


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Эксперименты проводили на модельных растворах нефтепродуктов, которые готовили путем перемешивания 200 г нефти с 35 л водопроводной воды в течение 10 минут с последующим отстаиванием в течение 7 дней. Начальная концентрация экстрагируемых гексаном нефтепродуктов в полученном модельном растворе составляла от 1,5 до 5 мг/л. Модельный раствор помещался в бак накопитель объемом 25 л, откуда с помощью насоса подавался в верхнюю часть установки (см. рисунок 1). Раствор диспергировался в воздухе на капли при

помощи перфорированной пластины. Капли воды проходили через систему электродов, где подвергались воздействию импульсного коронного разряда; далее раствор снова поступал в бак-накопитель. Объемная скорость потока составляла 180 и 700 л/час. Обработка раствора проводилась в течение 40-60 мин.

Для формирования импульсов высокого напряжения использовался магнитотиристорный генератор импульсов. Генератор построен по принципу разряда накопительного конденсатора в нагрузку через быстродействующий ключ, в качестве которого выступает дроссель насыщения. При этом амплитуда напряжения разряда составляла 21 кВ, амплитуда тока – 240 А. Частота следования импульсов регулировалась от 100 до 900 имп/с, энергия импульса составляла 0,34 Дж.

Концентрацию нефтепродуктов в пробах определяли флуориметрическим методом, после экстракции нефтепродуктов гексаном. Для анализа использовался анализатор жидкости «Флюорат-02-3М» (Россия).

В ходе работы наблюдалось снижение концентрации содержащихся в растворе нефтепродуктов даже при отсутствии напряжения на высоковольтных электродах. При аэрации раствора в газовую фазу выделяются и подвергаются окислению легколетучие фракции нефтепродуктов. Из графика на рисунке 2 видно, что при расходе обрабатываемого раствора 700 л/час наибольшая скорость удаления нефтепродуктов наблюдается в первые 10 минут обработки воды.

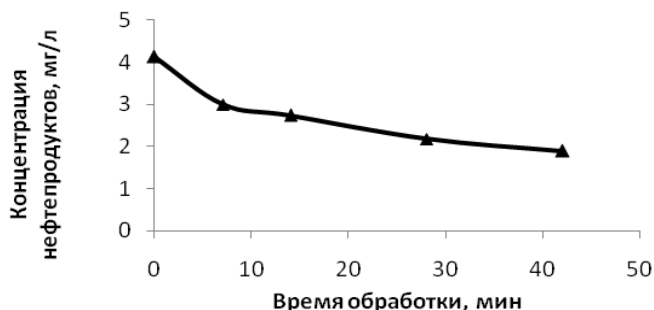


Рис. 2. Зависимость концентрации нефтепродуктов от времени аэрации

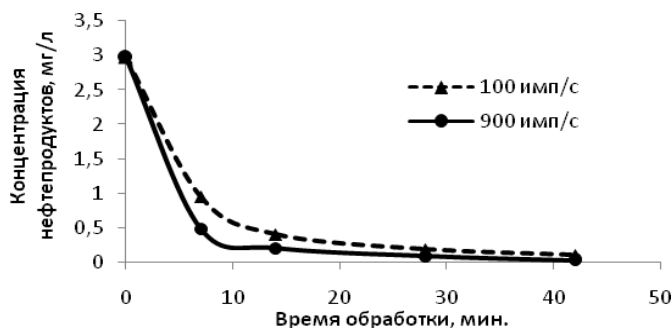


Рис. 3. Зависимости концентрации нефтепродуктов от времени обработки разрядом для различных частот следования импульсов

Зажигание импульсного коронного разряда в межэлектродном промежутке приводит к значительному повышению скорости и глубины удаления нефтепродуктов по сравнению с аэрацией. Увеличение частоты следования импульсов не приводит к существенному росту скорости удаления нефтепродуктов (см. рисунок 3). При этом концентрация частиц-окислителей в зоне реакции с повышением частоты следования импульсов со 100 до 900 имп/с заметно возрастает, о чем косвенно свидетельствует рост концентрации озона в газовой фазе реактора. Равновесная концентрация озона в газовой фазе составляла 1,5-2 г/м<sup>3</sup> при частоте следования импульсов 100 имп/с и 5,5-6 г/м<sup>3</sup> при частоте 900 имп/с. При этом после 40 минут электроразрядной обработки остаточная концентрация экстрагируемых гексаном нефтепродуктов составила 0,1 мг/л при частоте 100 имп/с и 0,03 мг/л при частоте 900 имп/с.

Увеличение расхода обрабатываемого раствора (см. рисунок 4) через реактор с 180 до 700 л/час ведет к росту скорости окисления нефтепродуктов на 20%. Помимо этого снижается остаточная концентрация нефтепродуктов с 0,13 мг/л до 0,03 мг/л соответственно.

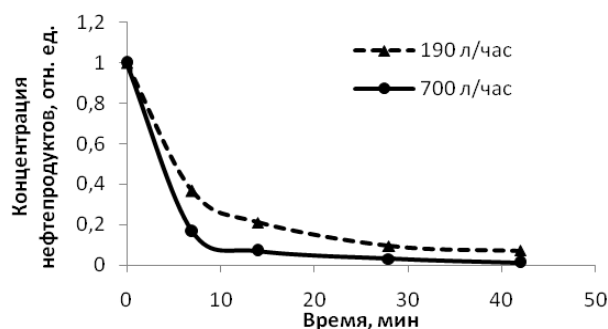


Рис. 4. Зависимости концентрации нефтепродуктов от времени обработки с различными объёмными расходами воды при частоте следования импульсов 900 имп/с

С увеличением расхода обрабатываемого раствора через реактор повышается интенсивность массопереноса через границу раздела фаз. Ранее было экспериментально показано [4], что с увеличением объемного расхода воды удельная поверхность контакта газа и жидкости в реакторе возрастает практически линейно. Более интенсивный перенос активных частиц через поверхность раздела фаз способствует эффективному удалению нефтепродуктов, находящихся на поверхности капель, в реакциях с короткоживущими активными частицами.

Обработка модельных растворов нефтепродуктов импульсным коронным разрядом приводит к снижению концентрации нефтепродуктов, экстрагируемых гексаном, с 1,5-5 мг/л до 0,03 мг/л, т.е. до уровня допустимого для вод рыбохозяйственного назначения. Таким образом, применение электроразрядной технологии является перспективным направлением очистки сточных вод от растворенных нефтепродуктов.

#### Список литературы

1. Кузубова Л.И., Морозов С.В. Очистка нефтесодержащих сточных вод: Аналитический обзор. – Н.: СО РАН НИОХ, 1992. – 72 с.
2. Эрих В.Н., Расина М.Г., Рудин М.Г. Химия и технология нефти и газа. – Л.: Химия, 1972. – 464 с.
3. Kornev, J., Yavorovsky, N., Preis, S., Khaskelberg, M., Isaev, U., Chen, B-N. Generation of active oxidant species by pulsed dielectric barrier discharge in water-air mixtures // Ozone: Sci. Eng. – 2006. – Vol. 28. – No. 4. – P. 207-215.
4. Panorel I. C., Kornev I., Hatakka H., Preis S. Pulsed corona discharge for degradation of aqueous humic substances // Water Science Technology: Water Supply. – 2011. – № 2. – Vol. 11. – P. 238 – 245.
5. Корнев Я.И., Сапрыкин Ф.Е., Прейс С., Хаскельберг М.Б., Грязнова Е.Н., Шиян Л.Н., Хряпов П.А., Галанов А.И. Применение импульсного электрического разряда для очистки воды от нефтепродуктов // Известия Высших учебных заведений: Физика, 2013. – Т.56. – №7/2. – С. 146 – 152.
6. Белинский В.В., Божко И.В., Чарный Д.В. Импульсный коронный разряд на поверхности электропроводящей жидкости и его использование для обработки воды // Техническая электродинамика. – 2010. – №3. – С. 21–27.

#### Возможность использования природных цеолитов для очистки сточных вод электростанций от соединений тяжелых металлов

*Мосолков А. Ю., Мартемьянов Д. В., Дозморов П. С., Мухортова Ю. Р.*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск  
[ornitolog99@gmail.com](mailto:ornitolog99@gmail.com)*

Производство электрической энергии тесно связано с потреблением большого количества воды выводом её из цикла электростанции [1, 2]. Поток воды, выводимый из цикла электростанции называется сточными водами. Большая часть воды расходуется в охлаждающих системах различных аппаратов: конденсаторов турбин, масло и воздухоохладителей движущихся механизмов и др. [3, 4]. Другая часть воды расходуется на удаление золы и шлама, которые образуются в результате сгорания угля и другого вида твердого топлива. Удаление золы и шлама производится гидравлическим путем, что требует большого количества водных ресурсов. Сточные

воды ГЗУ (гидрозолоудаления) значительно загрязнены взвешенными веществами, имеют повышенную минерализацию и в большинстве случаев повышенную щелочность. Кроме того, в них могут содержаться соединения фтора, мышьяка, ртути, ванадия. Таким образом, сточные воды электростанций должны быть очищены от загрязнений до допустимых ПДК. И из всех этих загрязнений мы уделим внимание тяжелым металлам.

Одними из наиболее распространённых способов очистки воды от тяжёлых металлов, являются сорбционные методы [5-7]. Среди известных природных минералов, обладающих хорошими сорбционными свойствами, выделяются цеолиты, кристаллы которых пронизаны системой каналов и полостей, имеющие хорошо развитую внутреннюю поверхность [8, 9]. Из-за этих свойств цеолиты используются для очистки промстоков от тяжелых металлов, таких как свинца, цинка, меди, железа, никеля, кадмия, хрома и др. [10].

Целью данной работы является изучение ряда физико-химических свойств природных цеолитов различных месторождений. Будет рассмотрена возможность применения цеолитов для очистки водных растворов имитирующих сточные воды содержащие ионы тяжёлых металлов:  $\text{Cr}^{6+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ .

Исследования проводили на образцах природных цеолитов различных месторождений: Чугуевское, Шивыртуйское, Холинское, Сокирницкое, с различным гранулометрическим составом. Для экспериментов были взяты цеолиты с фракциями: менее 0,1 мм; 0,5 – 1 мм; 1,5 – 2,5 мм. Подготовку образцов осуществляли посредством измельчения исходного сырья в агатовой ступке, с дальнейшим просеиванием на ситах с необходимым размером ячеек.

Для оценки структурных характеристик природных цеолитов использовали метод тепловой десорбции азота. По данным измерения оценивали площадь удельной поверхности ( $S_{уд}$ ) и значения удельного объема пор ( $P$ ) образцов с использованием анализатора «СОРБОМЕТР М».

Сорбция ионов  $\text{Cr}^{6+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  проводилась в статическом режиме, с использованием магнитной мешалки, при скорости вращения до 200 об/мин. Для проведения эксперимента брали навеску цеолита массой ( $m$ ) 0,2 г, заливали 20 мл раствора ( $V$ ) с начальной концентрацией ( $C_0$ ) 5 и 10 мг/дм<sup>3</sup>. Исходные концентрации для элементов  $\text{Cr}^{6+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$  – 5 мг/дм<sup>3</sup>;  $\text{Fe}^{2+}$  и  $\text{Fe}^{3+}$  – 10 мг/дм<sup>3</sup>. Модельные растворы готовили на дистиллированной воде с использованием ГСО  $\text{Cr(VI)}$ ,  $\text{Zn(II)}$ ,  $\text{Cu(II)}$ ,  $\text{Fe(III)}$ , а также железа (II) сернокислого 7-водного. Процесс осадительной сорбции для каждого образца цеолита проводили при времени контакта – 150 минут. После проведения процесса сорбции, адсорбат отфильтровывали от сорбента на бумажном фильтре «синяя лента». Конечные концентрации ионов  $\text{Cr}^{6+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  и  $\text{Fe}^{3+}$  определяли методом фотоколориметрии [11], а концентрации  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$  методом инверсионной вольтамперометрии [12].

В таблице 1 представлены некоторые физико-химические параметры образцов природных цеолитов: удельная поверхность и удельный объем пор.

Как видно из таблицы 1, представленные образцы природных цеолитов месторождений: Чугуевское, Шивыртуйское и Сокирницкое, имеют тенденцию к увеличению удельной поверхности с уменьшением фракционного состава. Цеолиты Холинского месторождения показывают обратную зависимость, т. е. с увеличением фракционного состава, увеличивается удельная поверхность образца. По удельному объёму пор также видно, что цеолиты: Чугуевский, Шивыртуйский и Сокирницкий, показывают увеличение удельного объёма пор, с уменьшением фракционного состава. И наоборот, Холинский цеолит, с уменьшением гранулометрического состава образцов, демонстрирует снижение значений по удельному объёму пор. Как видно, цеолиты имеют значительную пористую структуру, возрастающую с повышением удельной поверхности. Исходя из этого, можно предположить, что при очистке воды с использованием природных цеолитов, будут сказываться внутридиффузионные процессы, что может положительно влиять на пролонгированность сорбционного действия.

В работе определена эффективность сорбции природными цеолитами, при извлечении ионов  $\text{Cr}^{6+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  и  $\text{Fe}^{3+}$  из водных растворов. В таблице 2, приведены адсорбционные характеристики природных цеолитов различного фракционного состава, при извлечении ионов тяжёлых металлов.

Согласно приведенным сорбционным данным в таблице 2, мы видим, что по таким элементам как  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ , с увеличением фракционного состава цеолита наблюдается снижение сорбционной способности образца. По элементу  $\text{Fe}^{3+}$  видно, что Чугуевский, Холинский и Сокирницкий цеолиты показывают увеличение сорбционной активности с увеличением фракционного состава образцов. Шивыртуйский цеолит по элементу  $\text{Fe}^{3+}$  имеет



обратные характеристики и с увеличением фракции цеолита, показывает снижение сорбции. По Cr6+ все образцы цеолитов показывают очень низкие сорбционные характеристики, которые снижаются с увеличением фракционного состава.

Таблица 1. Структурные характеристики минералов

Месторождение цеолита	Фракция, мм	$S_{уд}, м^2/г$	$P, см^3/г$
Чугуевское	Менее 0,1	25,35	0,011
	0,5-1	21,75	0,009
	1,5-2,5	19,48	0,008
Шивыртуйское	Менее 0,1	16,78	0,007
	0,5-1	9,75	0,004
	1,5-2,5	9,43	0,004
Холинское	Менее 0,1	17,25	0,007
	0,5-1	27,65	0,012
	1,5-2,5	31,29	0,013
Сокирницкое	Менее 0,1	14,78	0,006
	0,5-1	12,47	0,005
	1,5-2,5	11,94	0,004

Таблица 2. Адсорбционные характеристики природных цеолитов

Месторождение цеолита	Фракция, мм	Степень извлечения, %				
		Cr <sup>6+</sup>	Zn <sup>2+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	Fe <sup>3+</sup>
Чугуевское	Менее 0,1	6,2	60,4	83,7	97,5	65,6
	0,5-1	4,9	58,4	80,4	92,16	73,4
	1,5-2,5	3,2	54,38	78,8	90,86	89,8
Шивыртуйское	Менее 0,1	14,6	97,76	99,13	98,76	97,1
	0,5-1	10,3	92,12	97,54	97,48	93,8
	1,5-2,5	7,1	87,64	91,8	92,44	89,2
Холинское	Менее 0,1	15,6	87,18	85,3	94,65	70,7
	0,5-1	11,8	83,6	84,3	92,7	93,4
	1,5-2,5	8,6	78,61	80	89,14	84,1
Сокирницкое	Менее 0,1	7	26	76,1	89,8	45,4
	0,5-1	4,8	22,95	72,6	85,1	83,3
	1,5-2,5	3,5	20,3	69,5	81,36	87,9

По результатам проведённой работы можно сделать вывод о возможности использования природных цеолитов Шивыртуйского, Холинского и Чугуевского месторождений, как наиболее эффективных, для очистки сточных вод электростанций от таких соединений тяжёлых металлов, как: Zn<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup> и Fe<sup>3+</sup>.

Выводы.

По результатам проведённой работы, определены удельная поверхность и удельный объём пор полученных образцов цеолитов: Чугуевского, Холинского, Шивыртуйского и Сокирницкого месторождений.

Исследованы адсорбционные свойства природных цеолитов, месторождений: Чугуевское, Шивыртуйское, Холинское и Сокирницкое, с различным фракционным составом, по отношению к ионам Cr<sup>6+</sup>, Zn<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>.

Сделан вывод, о возможности эффективного использования природных цеолитов Шивыртуйского, Холинского и Чугуевского месторождений, как наиболее эффективных, для очистки сточных вод электростанций от таких соединений тяжёлых металлов, как: Zn<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup> и Fe<sup>3+</sup>.

#### Список литературы

1. Кострикин Ю. М., Мещерский Н. А., Коровина О. В. Водоподготовка и водный режим энергообъектов низкого и среднего давления. // Справочник – М.: Энергоатомиздат, 1990.
2. Маргулова Т. Х., Подушко Л. А. Атомные электрические станции. - М.: Энергоиздат, 1982.

3. Герзон В. М. Управление водоподготовительным оборудованием и установками – М.: Энергоатомиздат, 1985
4. Мартынова О. И. Водоподготовка. Процессы и аппараты. // Учебное пособие для вузов. - М.: Атомиздат, 1977.
5. Кондратюк Е.В., Лебедев И.А., Комарова Л.Ф. Очистка сточных вод от ионов свинца на модифицированных базальтовых сорбентах // Ползуновский вестник. 2006. № 2-1.– С. 21–26.
6. Сомин В.А., Полетаева М.А., Комарова Л.Ф. Создание водооборотных систем с очисткой сточных вод от ионов тяжелых металлов // Ползуновский вестник. 2008. № 3.– С. 32–36.
7. Марченко Л. А., Боковикова Т. Н., Шабанов А. С. Сорбционная доочистка сточных вод // Экология и промышленность России. 2007. № 10. – С. 53-55.
8. Тарасевич Ю. И. Природные сорбенты в процессах очистки воды. – Киев: Наука, 1981. – 172 с.
9. Дистанов У. Г., Михайлов А. С. Природные сорбенты СССР. – М.: Недра, 1990.
10. Глазкова Е. А., Стрельникова Е. Б., Иванов В. Г. Применение природных цеолитов месторождения Хонгуруу (Якутия) для очистки нефтесодержащих сточных вод // Химия в интересах устойчивого развития. – 2003. - № 6. – С. 849-854.
11. Лурье Ю. Ю. Унифицированные методы анализа вод / М.: Химия, 1973. С. 376.
12. Скачков В. Б., Ластенко Н. С., Иванов Ю. А., Хустенко Л. А., Назаров Б. Ф., Заичко А. В., Иванова Е. Е., Носова Г. Н., Толмачёва Т. П. Измерение массовой концентрации химических веществ методом инверсионной вольтамперометрии: Сборник методических указаний. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2003. – С. 271.

**Перспективы утилизации твердых бытовых отходов термическим методом\***  
**Мухаметшина Э.И.**

*Исследовательский центр проблем энергетики Федерального государственного учреждения науки Казанского научного центра Российской академии наук, Россия, г. Казань*  
[emmi-84@mail.ru](mailto:emmi-84@mail.ru)

Ежегодно в России образуется более 3 млрд. т отходов, и с каждым годом это число растет на 4-5 процентов. Ежегодно в республике Татарстан образуется до 12 млн. тонн отходов, из них промышленные отходы составляют в среднем 17 процентов, твердые бытовые отходы – 7.

Сложность решения проблем утилизации бытовых отходов обуславливается необходимостью применения капиталоемкого оборудования и трудностью решения многофакторной задачи эколого - экономического обоснования выбора конкретной технологии утилизации бытовых отходов (ТБО) [1].

В последнее время, в связи с заполнением старых полигонов и нехваткой земель для создания новых одним из перспективных направлений утилизации ТБО, является огневой способ переработки на мусоросжигательных заводах. Использование термической переработки твердых бытовых отходов, не только их обезвреживает, но и позволяет получать тепловую и электрическую энергию. При сжигании одной тонны твердых бытовых отходов можно получить порядка 1700 кВт·ч тепловой энергии или порядка 600 кВт·ч электроэнергии [2].

Метод термической переработки твердых бытовых отходов широко используется зарубежом. Широкое распространение метод получил в странах Западной Европы, США и Японии (таблица 1).

Производительность мусоросжигательного завода, в среднем до 500 т мусора в сутки. При этом из 1 т ТБО получается 170 кг биогаза, 400 кг органических удобрений, 50 кг металлолома.

Процесс сжигания осуществляется в топках с подвижной колосниковой решеткой. Топка соединена с котлом, в котором горячие газы отдают тепло. Стенки топки экранированы испарительными поверхностями – вертикальными рядами труб, по которым циркулирует вода и пар. В газоходах котла последовательно устанавливаются пароперегреватель и экономайзер для предварительного подогрева питательной воды за счет тепла отходящих газов. Перед выбросом в окружающую среду отходящие газы направляются в систему многоступенчатой газоочистки. Масса шлака составляет 25% от исходной массы мусора. Горячий шлак подают в бункер, затем в бак с водой, где он охлаждается до 80-90<sup>0</sup> С. Температура горения твердых бытовых отходов на колосниковой решетке составляет ~1000<sup>0</sup>С, температура дожига в топочном пространстве 1000-1200<sup>0</sup>С. Теплотехнологическая схема по сжиганию отходов приведена на рисунке 1 [3].

Таблица.1. Оценка использования термического способа за рубежом.

Страна	Использование метода термической переработки, %	Количество сжигаемых отходов, тыс.т/год
Австрия	48	500
Бельгия	55	2 300
Германия	43	17 000
Люксембург	50	-
Нидерланды	45	4 900
США	15	30 000
Япония	74	-

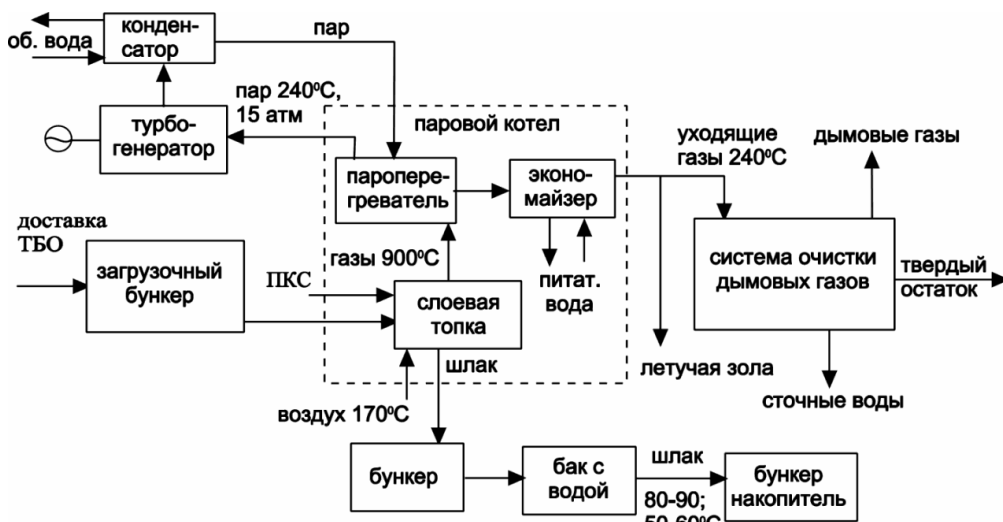


Рис. 1. Теплотехнологическая схема сжигания ТБО

Образующиеся дымовые газы после сжигания направляются на очистку. Классическая технология газоочистки от токсичных компонентов основана на введении парокрамидной смеси (ПКС) в радиационную часть топочной камеры еще на стадии сжигания отходов (рисунок 2). В целях снижения выбросов тяжелых металлов, диоксинов и производных фурана в газодход перед реактором винтовым конвейером подается мелкодисперсный активированный уголь. Для очистки дымовых газов от кислых компонентов ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{HF}$ ) используют известковое молоко, которое подают с помощью специального турбинного распылителя в квазисухой реактор. Очистка дымовых газов от золы, пыли, продуктов взаимодействия с известковым молоком и активированным углем производится с помощью рукавного фильтра импульсно-струйного типа, в котором пыль слоями оседает на внешней поверхности рукава[4].

Основной недостаток мусоросжигательных заводов - уходящие дымовые газы, имеющие в своем составе вредные примеси. Твердые бытовые отходы представляют собой гетерогенную смесь, содержащую химические элементы в виде различных соединений. При этом присутствуют опасные химические элементы, характеризующиеся высокой токсичностью, летучестью и содержанием соединений галогенов (фтора, хлора, брома), азота, серы, тяжелых металлов (меди, цинка, свинца, кадмия, олова, ртути)[5].

Для управления и контроля за состоянием окружающей среды необходимо оценить объем и опасность загрязняющих веществ. Это возможно сделать путем учета источника и объекта негативного экологического воздействия.

В качестве метода эколого-экономической оценки представлен алгоритм, позволяющий провести последовательную оценку «экологизации» и определить пути совершенствования технологических систем утилизации твердых бытовых отходов, представленный на рисунке 3.

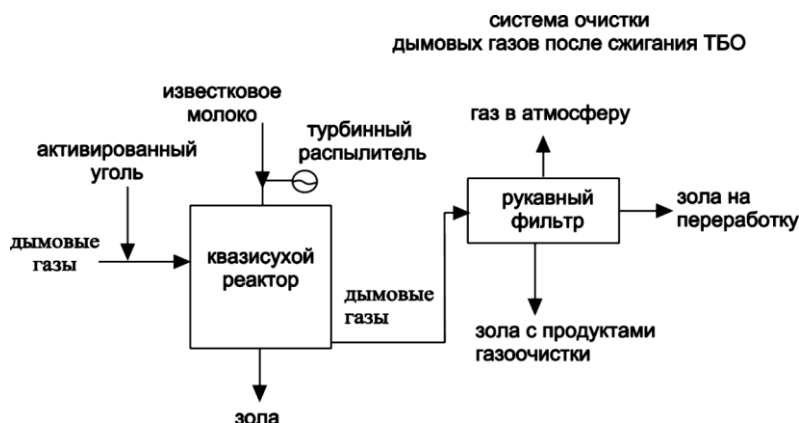


Рис. 2. Теплотехнологическая схема очистки дымовых газов после сжигания

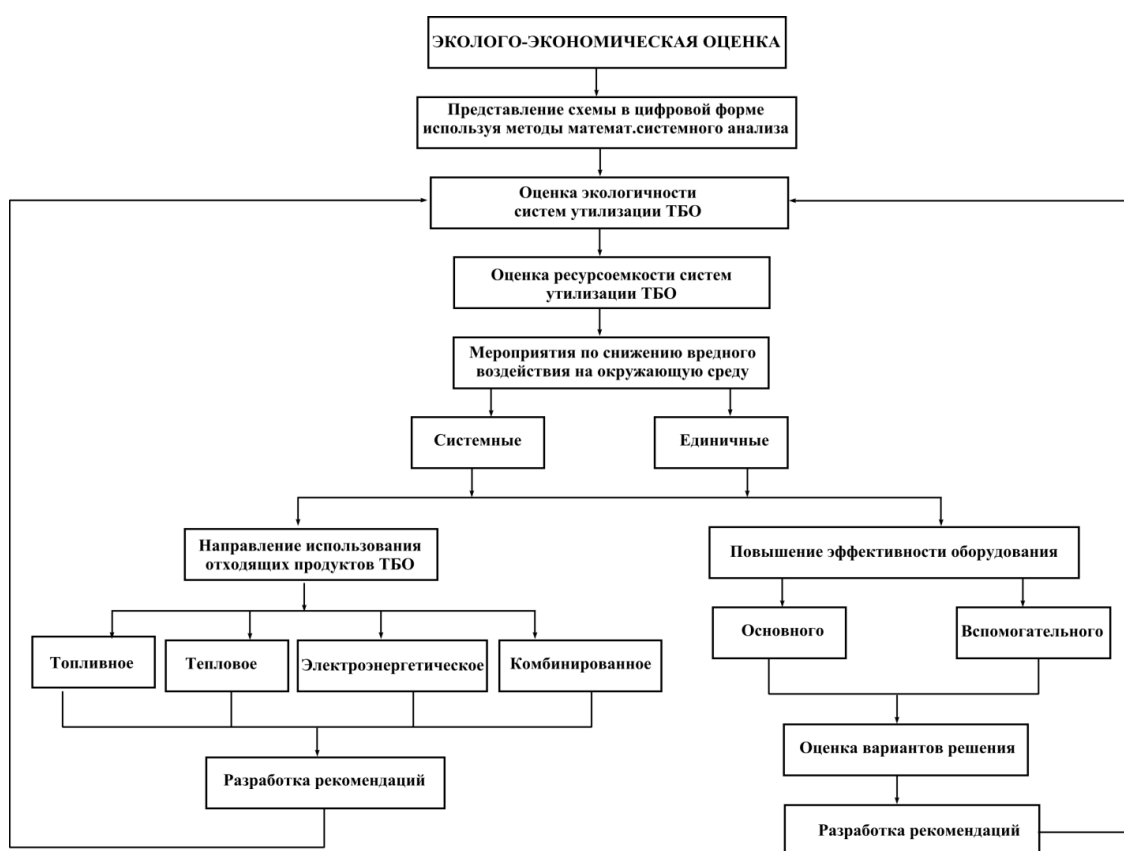


Рис. 3. Алгоритм проведения эколого-экономической оценки сжигания

\* Работа выполнена при финансовой поддержке стипендии Президента Российской Федерации молодым ученым и аспирантам, осуществляющим перспективные научные исследования и разработки по приоритетным направлениям модернизации российской экономики № СП-2401.2013.1

#### Список литературы:

1. Малышевский А.Ф. Обоснование выбора оптимального способа обезвреживания твердых бытовых отходов жилого фонда в городах России. – М.: 2012. - с. 29.
2. Балан Р.К. Термодинамический анализ огневой переработки твердых бытовых отходов. Диссертация. - Каракол.: 2010. - 150с.
3. Фридлан В.С., Щеголькова Н.М. Экологические и энергетические направления утилизации твердых бытовых отходов // Теплоэнергетика. –2008. - №12.С.13-19.

4. Гонопольский А.М., Дыган М.М., Кушнир К.Я.. Система очистки газов мусоросжигательного завода // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2010. - № 4. С. 42-45.
5. Свириденко А.И. Проблема выбора технологий утилизации твердых бытовых отходов // Симпозиум «Материальный и энергетический рециклинг твердых бытовых отходов». Гродно 2004. - С.4-9.

**Перспективы применения установок вентиляционных регенеративных компактных (УВРК)  
в учебных аудиториях**

**Назаревич В.В., Новоселов А.С.**

*Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, Россия, Кемерово  
[nc42@mail.ru](mailto:nc42@mail.ru)*

Рассматриваемая тема является очередным этапом выполнения плана по снижению энергозатрат в Кузбасском государственном техническом университете (КузГТУ). Свежий воздух является самым необходимым фактором жизнедеятельности любого человека. Ежедневно человек вдыхает около 20 тыс. литров воздуха. Наличие вентиляционных систем на сегодняшний день признаётся жизненно важным, в отличие от кондиционеров, которые всё же не являются предметами первой необходимости. Поэтому требования к вентиляции, к её техническим характеристикам имеют не только силу закона, но и прописаны в СНиП. Чем бы человек не занимался, будь то работа или отдых, в закрытых помещениях при отсутствии притока свежего воздуха возрастает концентрация различных вредных веществ (углекислого газа и многих др.). Всё это негативно сказывается на здоровье человека.

Поставленную проблему можно решить, проветривая помещение. Однако в черте города не всегда это удаётся. Вместе со свежим воздухом внутрь помещения попадает: пыль, газы, выбрасываемые промышленными предприятиями, особенно в черте города.

Проблема вентиляции помещений становится особенно острой в связи с использованием герметичных окон, которые экономят тепло, обеспечивают снижение шума и запыленность, однако исключают поступление свежего воздуха в помещение. В неветилируемом помещении повышается температура, скапливается большое количество вредных для организма газов, т.е. возникают дискомфортные условия для человека. Для полноценного решения всех этих вопросов необходимо применять системы вентиляции воздуха. В КузГТУ в программу на 2012-2020 г. были включены вопросы устройства вентиляции с использованием энергосберегающих технологий. Для решения этого вопроса на первом этапе была выбрана и использована установка вентиляционная регенеративная компактная (УВРК) (рис. 1).

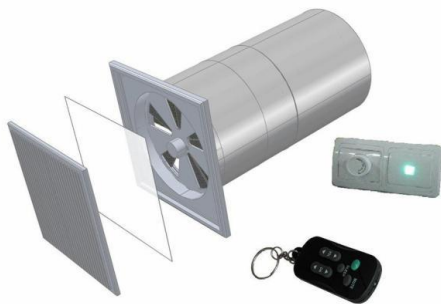


Рис. 1. Установка вентиляционная регенеративная компактная УВРК

На специально разработанном стенде (рис. 2) были исследованы эффективность и параметры рабочих режимов, подобран материал для регенеративной насадки.

Экспериментально определено что, за цикл работы установки, который равен сумме времени на удаление и приток воздуха, при наружной температуре  $T_n = 14,8^\circ\text{C}$ , скорость воздуха составила 0,17 м/с, расход воздуха 6,2 кг/ч. Подобранный насадка имеет пористость 87%, гидравлическое сопротивление 4 Па. Коэффициент аккумулирования теплоты за период одного цикла составил 99%. Анализ полученных результатов показывает, что если в условиях Кузбасса на нагрев воздуха в аудиториях на 30 человек при норме 40 м<sup>3</sup>/(час·чел.) требуется 11,3 Мкал/час,

то в системе с УВРК требуется всего лишь 5,3 Мкал/час, т.е. в 2 раза меньше. Расчетная эффективность энергосбережения при сбалансированной вентиляции составляет [1]:

$$e = (T_{п} - T_{н}) / (T_{в} - T_{н}) = 0,49 = 49\%$$

где  $T_{п}$  – температура приточного воздуха, °С;  $T_{н}$  – температура наружного воздуха, °С;  $T_{в}$  – температура воздуха в помещении, °С.



Рис. 2. Оборудованный стенд

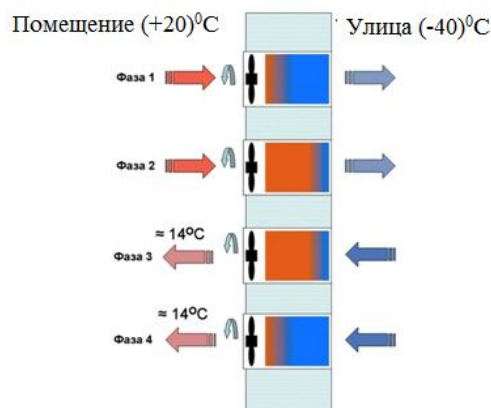


Рис.4. Рабочие фазы работы УВРК

Таким образом, исследования показали полную работоспособность установки с достаточно высоким снижением расхода тепла на вентиляцию. Принцип работы УВРК прост и естественен – напоминает дыхание человека в морозную погоду через шарф. При выдохе воздух нагревает шарф, при вдохе холодный воздух подогревается, проходя через ткань шарфа. Подобный принцип реализован во всех приборах УВРК. В приборе роль легких выполняет реверсивный вентилятор, а роль шарфа – высокоэффективный теплообменник – регенератор.

На рис. 3 показаны фазы работы установки. В фазах 1 и 2 теплый воздух (красная стрелка) из помещения вентилятором выбрасывается наружу, отдавая свое тепло насадке регенератора.

В фазах 3 и 4 холодный наружный воздух, подаваемый вентилятором в помещение, проходя через насадку регенератора установки, нагревается до определенной температуры и т.д.

Установка УВРК работает в 4 режимах:

- режим энергосбережения, с обеспечением притока свежего воздуха и удалением комнатного;
- режим проветривания (притока), как обычный приточный оконный вентилятор;
- режим вытяжки, как обычный вытяжной вентилятор;
- режим нерегламентированной естественной вентиляции, без включения вентилятора, как обычная форточка (типа приточного клапана – «альпийской форточки»).

Примеры установки УВРК показаны на рис. 4. Одной УВРК достаточно для обеспечения свежим воздухом одного помещения площадью до 30 м<sup>3</sup>.

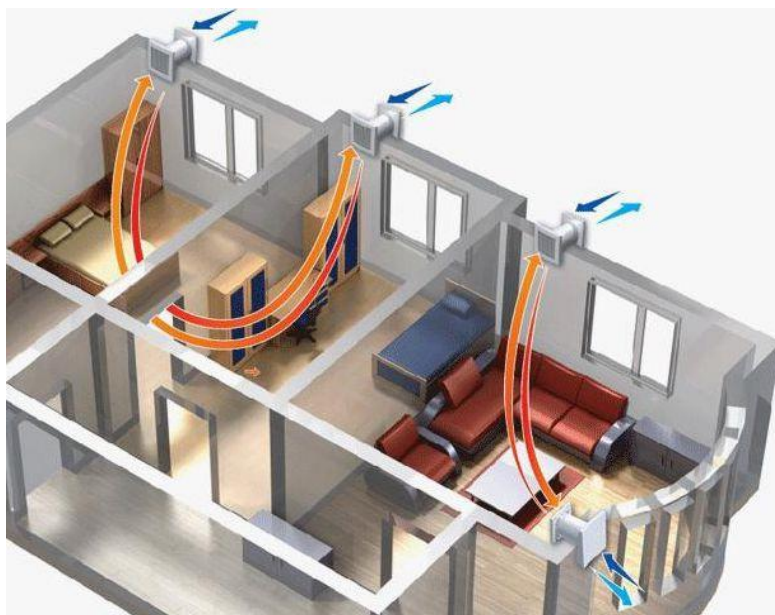


Рис. 4. Пример установки УВРК

Для эффективного проветривания двух помещений, между которыми есть сквозное отверстие, нужно установить УВРК в каждой комнате. Установленные в разных комнатах приборы работают синхронно в противофазе: когда один подает свежий воздух, второй удаляет из помещения отработанный воздух и наоборот. Горячий воздух, выходя на улицу через установку, отдает свое тепло насадке, а когда холодный воздух с улицы заходит в комнату он подогревается от насадки.



Рис. 5. Регенеративная вентиляционная установка в КузГТУ

Таким образом, использование УВРК позволяет получить не только экономическую эффективность, но и повысить комфортные условия в учебных аудиториях для студентов, что повысит их успеваемость. В настоящее время в КузГТУ производят монтаж и наладку первой регенеративной установки утилизации теплоты выбрасываемого вентиляционного воздуха, которая изображена на рис. 5.

#### Список литературы

1. Баскаков, А. М. Промышленные теплообменные процессы и установки / А. М. Бакластов, В. А. Горбенко, О. Л. Данилова [и др.]. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 328 с

**Влияние условий получения и длительности хранения на активность электровзрывных нанопорошков алюминия***Амелькович Ю.А., Назаренко О.Б., Сечин А.И.**Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск*

Нанопорошки (НП) металлов благодаря своим уникальным свойствам успешно применяются при получении композиционных материалов, керамики, сорбентов для очистки сточных вод и технологических газов, в качестве реагентов и катализаторов в химическом синтезе, при создании газовых сенсоров. Изменение свойств НП металлов по сравнению с грубодисперсными металлами обусловлено увеличением доли поверхностных атомов. С высокой реакционной способностью НП металлов связаны вопросы обеспечения пожаробезопасности технологических процессов их производства и переработки.

Нанодисперсные металлы являются метастабильными системами [1, 2]. Даже при условии хранения НП металлов в инертной атмосфере, в них одновременно протекают процессы рекристаллизации, диффузионного спекания, диффузии продуктов восстановления воды и др. С целью разработки мероприятий по безопасному обращению с НП металлов представляет интерес исследование химической активности нанопорошков при их длительном хранении.

Для оценки устойчивости НП металлов к окислению при нагревании может быть использован метод термического анализа [2, 3]. С помощью таких параметров как температура начала окисления и скорость окисления, определяющих начало процесса разогрева горючих порошков и его интенсивность, можно установить потенциальную пожароопасность технологических процессов, связанных с использованием НП металлов. Данные ИК-спектроскопии позволяют судить о процессах, происходящих на поверхности частиц НП металлов при их длительном хранении.

В данной работе представлены результаты исследования влияния условий получения и длительности хранения на устойчивость электровзрывных нанопорошков алюминия (НП Al) при нагревании в воздухе.

НП Al были получены методом электрического взрыва проводников [4] в водороде ( $H_2$ ), аргоне (Ar) и в смеси аргона с азотом (Ar+N<sub>2</sub>). Все исследованные НП хранились в условно герметичной таре при 20 °C и относительной влажности 60–80 % в течение длительного времени: НП Al ( $H_2$ ) – 27 лет, НП Al (Ar), НП Al (Ar+N<sub>2</sub>) – 10 лет.

Ранее было установлено [1], что НП алюминия, полученные методом ЭВП, способны к самовоспламенению при контакте с воздухом. Стабилизация НП в воздухе возможна с помощью пассивирования поверхности, т. е. создания оксидно-гидроксидной защитной оболочки на частицах после их получения медленным напуском воздуха в разрядную камеру. При пассивировании происходит дрейф электронов от металла к окислителю, образуется несколько монослоев оксида алюминия. Основным окислителем НП металлов является протон, который образуется при диссоциации воды, адсорбированной из воздуха. Протоны диффундируют через оксидный слой к поверхности раздела «металл – оксид», а на поверхности оксидного слоя образуются оксидно-гидроксидные слои, толщина которых для электровзрывных НП Al составляет от 2 до 8 нм, а массовое содержание оксида алюминия может превышать 10 %. Авторы работы [1] предполагают, что пассивированные порошки относительно устойчивы к окислению при хранении в условно герметичной таре.

Рентгенофазовый анализ (РФА) образцов НП проводили с помощью рентгеновского дифрактометра «Shimadzu» XRD-7000. Согласно данным РФА в НП Al ( $H_2$ ) и НП Al (Ar) присутствует только фаза металлического алюминия (рис. 1), рентгеноаморфные фазы оксидов при помощи РФА не фиксируются. НП Al (Ar+N<sub>2</sub>) содержит две кристаллические фазы: металлический алюминий (85 %) и нитрид алюминия (25 %).

Размер и форму частиц анализировали с помощью сканирующего электронного микроскопа «Hitachi» TM-3000. По данным электронной микроскопии НП Al являются полидисперсными системами. В НП Al ( $H_2$ ) и НП Al (Ar) (рис. 2, а и б) присутствуют частицы микрометрового и нанометрового диапазонов. Форма крупных частиц близка к сферической с гладкой поверхностью, имеются отдельные агломераты частиц. Добавка азота к аргону при получении НП Al приводит к формированию на поверхности частиц нитрида алюминия и уменьшению содержания металлического алюминия, при этом дисперсность продуктов взрыва повышается. Предполагается [1], что образующийся в процессе ЭВП на поверхности частиц нитрид алюминия при



пассивировании окисляется и гидролизуется, поэтому защитной пленкой в этом случае также является оксид алюминия.

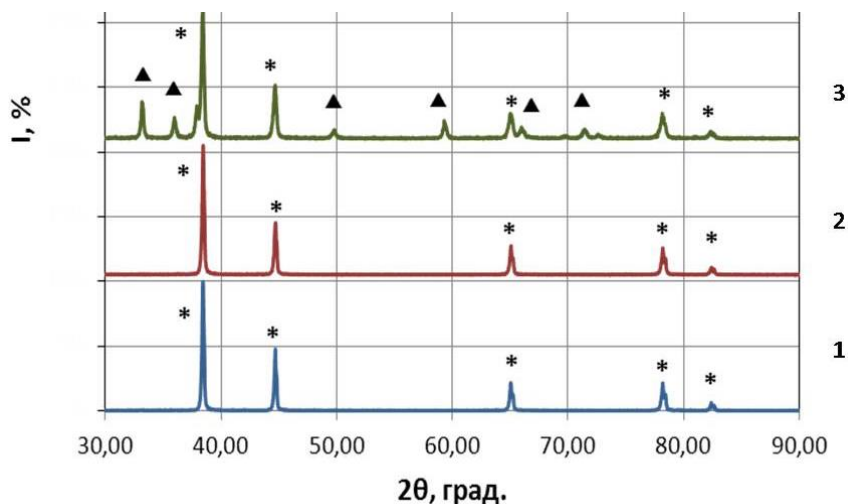


Рис. 1. Рентгенограммы нанопорошков алюминия, полученных в среде водорода – 1, аргона – 2, смеси аргона и азота – 3: Al (\*), AlN (▲)

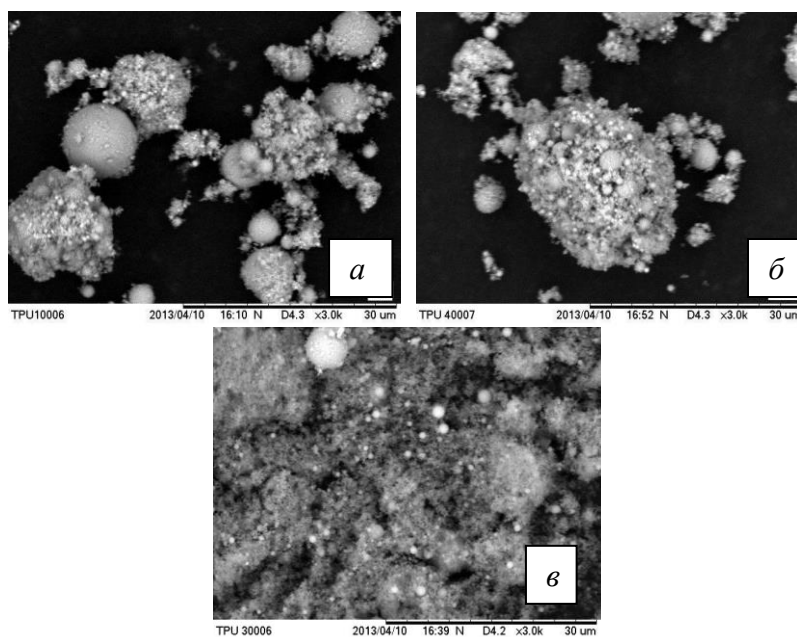


Рис. 2. Микрофотографии нанопорошков:  
НП Al (H<sub>2</sub>) – а, НП Al (Ar) – б, НП Al (Ar+N<sub>2</sub>) – в

Для оценки устойчивости НП Al к окислению при нагревании использовали совмещенный термоанализатор ТГА/ДСК/ДТА SDT Q600 в режиме линейного нагрева (10 °С/мин) в атмосфере воздуха в интервале температур 20...1000 °С. Масса исследуемых образцов составляла НП Al ~5·10<sup>-4</sup> г. Согласно данным термического анализа при нагревании в воздухе всех образцов происходит десорбция газообразных веществ, адсорбированных на поверхности частиц до 3 мас. %. Затем происходит резкое увеличение скорости роста массы и выделение теплоты. Интенсивное окисление образцов НП Al в воздухе начинается ниже стандартной температуры плавления алюминия (660 °С) и протекает в одну стадию для НП Al (Ar) и в две стадии для НП Al (H<sub>2</sub>) и НП Al (Ar+N<sub>2</sub>). НП Al (Ar) при нагревании в воздухе проявляет более высокую активность: увеличение скорости роста массы происходит резко, а выделение теплоты носит взрывоподобный

характер. Стадийность процессов окисления НП связана с полимодальным распределением частиц по диаметру и окислением сначала фракции более мелких частиц, а затем – более крупной.

Параметры химической активности исследуемых НП, необходимые для оценки устойчивости к окислению, представлены в табл. 1.

Таблица 1. Параметры химической активности электровзрывных нанопорошков

№	НП	Температура начала окисления, °С	Прирост массы по ТГ, %	Удельный тепловой эффект, Дж/г
1	Al (H <sub>2</sub> )	542	67,1	4127
2	Al (Ar)	510	61,9	6549
3	Al (Ar+N <sub>2</sub> )	531	48,8	3561

Для записи ИК-спектров в области 4000...400 см<sup>-1</sup> использовали ИК-Фурье спектрометр Nicolet 5700. В ИК-спектрах НП Al (рис. 3) присутствуют колебания ОН-связей в области 3000–3700 см<sup>-1</sup>, в большей степени проявляющиеся в спектрах образцов НП Al (H<sub>2</sub>) и Al (Ar+N<sub>2</sub>). Интенсивная полоса поглощения для образцов НП Al (H<sub>2</sub>) и Al (Ar) при ~935 см<sup>-1</sup> соответствует деформационному колебанию Al-ОН. Полосы поглощения в области 420–560 см<sup>-1</sup> обусловлены колебаниями Al-O. Полоса поглощения 755 см<sup>-1</sup> в спектре образца НП Al (H<sub>2</sub>) характерна для тетраэдрически координированного алюминия в составе  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Полосы поглощения 1430–1480 см<sup>-1</sup> связаны с образованием карбонатных структур в результате хемосорбции CO<sub>2</sub> на поверхности наночастиц.

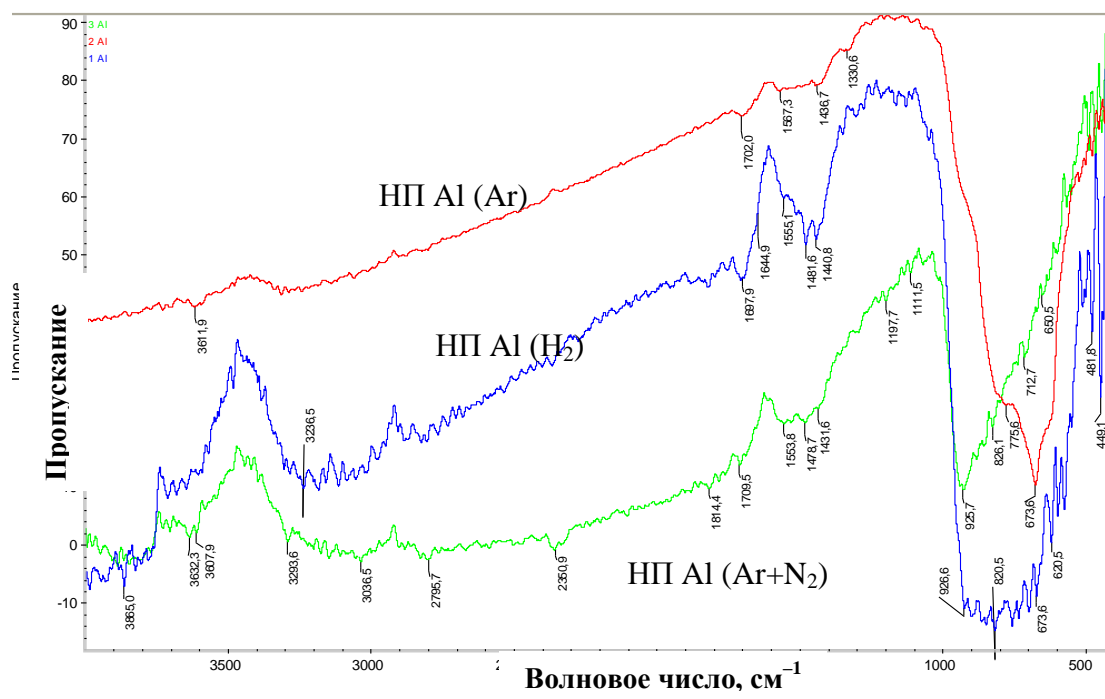


Рис. 3. ИК-спектры нанопорошков алюминия

Согласно [1, 5, 6] при обычных условиях на поверхности наночастиц алюминия формируется защитный рентгеноаморфный оксидно-гидроксидный слой, в состав которого входят гидроксиды: байерит  $\alpha$ -Al(OH)<sub>3</sub>, бемит  $\gamma$ -AlOOH. При длительном хранении протекает медленный процесс кристаллизации аморфных фаз, в результате которого, предположительно, аморфные гидроксиды кристаллизуются в низкотемпературную модификацию  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. ИК-спектроскопические исследования показали, что после длительного срока хранения (27 лет) кристаллизация поверхностных слоев частиц НП Al (H<sub>2</sub>) окончательно не завершена и оксидно-гидроксидные соединения сохраняют свою рентгеноаморфную структуру.

Результаты исследования химической активности и состояния поверхностного слоя наночастиц алюминия при помощи термического и ИК-спектроскопического методов анализа показали, что даже после длительного хранения НП Al остаются достаточно активными при нагревании, что объясняется наличием защитных оксидно-гидроксидных оболочек. Более высокой активностью характеризуются НП Al, полученные в среде аргона (длительность хранения – 10 лет). НП Al, полученные в водороде, даже после долгого времени хранения (27 лет) более активны, чем НП Al, полученные в смеси аргона и азота. Это объясняется тем, что водород характеризуется более высокой теплопроводностью и обеспечивает более эффективное охлаждение продуктов взрыва, а также водород как восстановитель обладает защитными для порошков металлов свойствами. Как известно [1], НП Al, полученные в водороде, содержат на 2–5 мас. % больше металлического алюминия, чем НП, полученные в других газах, и более устойчивы при их последующем хранении.

Исследования термической устойчивости нанопорошков металлов и закономерностей их окисления при нагревании в воздухе могут быть использованы для диагностики пожароопасности нанодисперсных металлов и стать основой для разработки мероприятий по безопасному обращению с ними.

*Работа выполнена в рамках реализации межинститутского исследовательского проекта ТПУ 2013 года, а также при поддержке грантов ФЦП ГК № 16.552.11.7063 и № 14.518.11.7017.*

#### Список литературы

1. Громов А.А., Хабас Т.А., Ильин А.П. и др. Горение нанопорошков металлов. – Томск: Дельтаплан, 2008. – 382 с.
2. Ильин А.П., Яблуновский Г.В., Громов А.А. Об активности порошков алюминия // Физика горения и взрыва. – 2001. – Т. 37. – № 4. – С. 58–62.
3. Назаренко О.Б. Особенности диагностики электровзрывных нанопорошков металлов // Контроль. Диагностика. – 2012. – № 11. – С. 42–45.
4. Ильин А.П., Назаренко О.Б., Тихонов Д.В. Особенности получения нанопорошков в условиях электрического взрыва проводников. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 223 с.
5. Радишевская Н.И., Чапская А.Ю., Львов О.В. и др. Состав и структура оксидно-гидроксидной оболочки на частицах нанопорошка алюминия // Известия Томского политехнического университета. – 2011. – Т. 318. – № 3. – С. 19–23.
6. Коршунов А.В. Влияние размеров и структуры частиц порошков алюминия на закономерности их окисления при нагревании на воздухе // Известия Томского политехнического университета. – 2009. – Т. 315. – № 3. – С. 5–11.

#### Использование нанопорошка нитрида алюминия в качестве пламягасящей добавки

*Ильин А.П., Назаренко О.Б., Баталова А.Ю.*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск*

**Введение.** Полимерные материалы широко используются в различных отраслях промышленности и в быту. В частности, полиолефины применяются для изготовления упаковочного материала, в строительстве в качестве гидроизоляционных пленок, напорных и безнапорных труб в системах водоснабжения и канализации, дренажных труб, санитарно-технических изделий, фитингов и т. д. Из класса полиолефинов наибольшее применение получили полиэтилен, полипропилен и сополимеры этилена и полипропилена. Основными недостатками полиолефинов и строительных материалов на их основе являются низкая термостойкость и повышенная пожарная опасность. Они относятся к легковоспламеняющимся материалам, разложение которых протекает без образования коксового остатка: кислородный индекс равен 17,4...18,2 %, температура воспламенения равна 325...345 °С, температура самовоспламенения – 345...390 °С [1].

Снижение горючести полимерных материалов является актуальной проблемой. Для улучшения свойств полимеров используются различные типы наполнителей: фосфор- и азотсодержащие соединения, полибромированные дифенилы и дифенилоксиды, оксиды сурьмы, гидроксиды металлов и др. При использовании наполнителей следует учитывать, что введенные в полимер добавки могут улучшать одни характеристики материала, но снижать при этом другие.

Трудность решения задачи снижения горючести полимеров связана с поиском эффективных наполнителей, не снижающих физико-химические и физико-механические свойства полимеров. Решением проблемы могут стать нанодисперсные пламягасящие добавки. Введение в полимер наночастиц приводит к изменению его структуры на молекулярном, топологическом и надмолекулярном уровнях. При введении в полимеры наночастиц в количестве от 0,1 до 10 мас. % наблюдается эффект экстремального изменения большинства физико-химических свойств полимерного материала.

Предварительные исследования показали перспективность использования электровзрывных нанопорошков как пламягасящих добавок к полиолефинам. В работе [2] представлены результаты исследований термостабильности полипропилена с добавками нанопорошков (НП) гидроксида алюминия  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , байерита  $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ , бемита  $\gamma\text{-AlOOH}$  и низкотемпературной модификации оксида алюминия  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ . Все добавки, за исключением  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ , кроме их устойчивости к окислению при нагревании до 400 °С, отщепляют воду в эндотермических процессах. Результаты исследований свидетельствуют об уменьшении скорости окисления полипропилена при наполнении полимера от 0,5 до 10 мас. % гиббситом и байеритом.

В работе [3] показана возможность применения НП, полученных методом электрического взрыва проводников (ЭВП), в качестве модификаторов полиэтилена высокого давления для изготовления композиционных материалов с повышенной стойкостью к растрескиванию. Исследования влияния малых добавок ( $\leq 1$  мас. %) наполнителей на основе электровзрывных НП  $\text{AlN}$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  на стойкость к растрескиванию полиэтилена высокого давления показали [4], что для материала, наполненного НП  $\text{AlN}$  (0,075 мас. %) со среднеповерхностным диаметром частиц 0,12 мкм стойкость к растрескиванию возросла в 7 раз в сравнении с полиэтиленом без добавок.

В данной работе исследована возможность применения нанодисперсного нитрида алюминия в качестве пламягасящей добавки к полиэтилену.

**Методики исследования.** Объектом исследования являлся полиэтилен высокого давления ПЭВД марки 10803-020 (ГОСТ 16377-77). Нанопорошки  $\text{AlN}$  получены методом ЭВП в атмосфере аргона и азота [5]. Площадь удельной поверхности НП составила  $S_{\text{AlN}} = 21,5 \text{ м}^2/\text{г}$ , среднеповерхностный диаметр –  $a_{\text{sAlN}} = 0,095 \text{ мкм}$ . Для улучшения адгезионной связи между полимерной матрицей и нанопорошками было проведено аппретирование поверхности нанопорошков стеариновой кислотой. Аппретирование приводит к уменьшению количества агломератов наполнителя и улучшению взаимодействия между макромолекулами полимера и частицами нанопорошка, при этом больший эффект получается от наполнения при меньшем количестве модификатора в смеси. Концентрация НП  $\text{AlN}$  в полиэтиленовой матрице составляла 0,1; 0,25; 0,75; 1,5 и 3,0 мас. %. Образцы наполненного полиэтилена были приготовлены с помощью экструдера ДСК 42/7.

Оценка эффективности добавок нанопорошков проводилась методами термогравиметрического анализа (Q-1500D) и оптической микроскопии (МБИ-6).

**Результаты и их обсуждение.** Термические характеристики образцов полиэтилена, модифицированного НП  $\text{AlN}$ , представлены в таблице:  $C_{\text{AlN}}$  – концентрация наполнителя, мас. %;  $T_{\text{н.пл.}}$  – температура начала плавления, °С;  $T_{\text{ок}}$  – температура начала окисления, °С;  $T_{\text{инт}}$  – температура начала интенсивной потери массы, °С.

Таблица. Термические характеристики полиэтилена, модифицированного нанопорошком нитрида алюминия

$C_{\text{AlN}}$ , мас. %	$T_{\text{н.пл.}}$ , °С	$T_{\text{ок}}$ , °С	$T_{\text{инт}}$ , °С
0	80	150	360
0,1	85	180	-
0,25	80	179	360
0,75	78	178	370
1,5	80	183	375
3	80	179	360

При наполнении полиэтилена НП  $\text{AlN}$  с концентрацией 0,1 мас. % наблюдался рост температуры начала плавления образца на 5 °С по сравнению с исходным образцом полиэтилена; температура начала окисления в этом случае увеличилась на 30 °С. Существенный рост температуры начала окисления на 33 °С наблюдался для образца НП  $\text{AlN}$  1,5 мас. %, также для

этого образца обнаружено увеличение температуры начала интенсивной потери массы на 15 °С по сравнению с полиэтиленом без добавок.

Введение НП в полимер характеризуется более существенным влиянием на термическую устойчивость образцов по сравнению с микропорошками, введенными в полимер в тех же самых концентрациях [3]. Значительный рост температуры начала интенсивной потери массы при нагревании свидетельствует о влиянии НП на структуру полиэтиленовой матрицы в процессе термической деструкции материала.

На рис. 1 показано изменение температуры начала интенсивной потери массы  $T_{\text{инт}}$  образцов полиэтилена в зависимости от концентрации НП AlN. Для сравнения представлены данные по влиянию на этот параметр добавок микропорошка (МП) AlN [3] с диаметром частиц 40 мкм. Для исходного полиэтилена  $T_{\text{инт}} = 360$  °С, а при содержании нитрида алюминия в полиэтилене 1,5 мас. %  $T_{\text{инт}} = 375$  °С. Повышение температуры начала интенсивной потери массы (деструкции) происходит за счет химического взаимодействия нитрида алюминия с гидропероксидами, снижение концентрации которых положительно влияет на скорость термоокислительной реакции. Данная закономерность связана с уменьшением степени кристалличности полиэтиленовой матрицы.

На рис. 2 представлены зависимости потери массы от температуры для исходного полиэтилена и образца, наполненного 1,5 мас. % НП AlN. Полученные результаты показывают, что добавление НП AlN улучшило термическую стабильность полиэтилена.

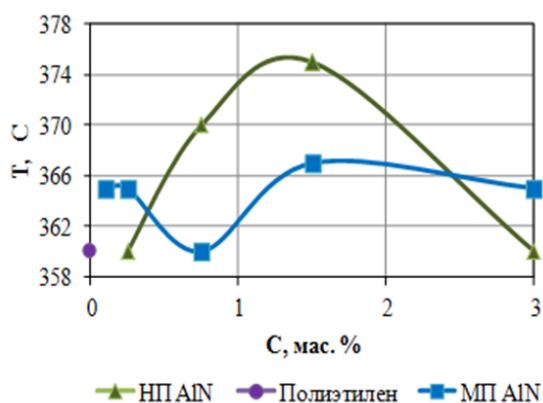


Рис. 1. Зависимость температуры начала интенсивной потери массы  $T_{\text{инт}}$  образцов полиэтилена от концентрации НП и МП AlN

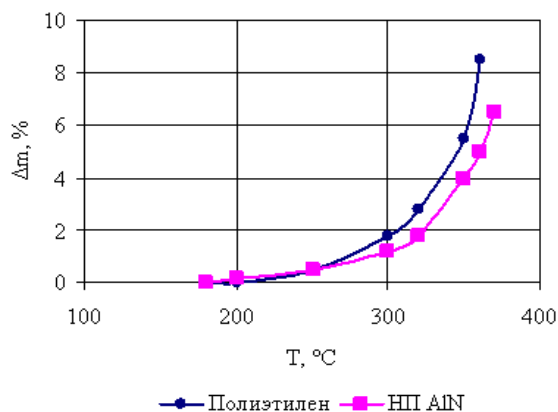
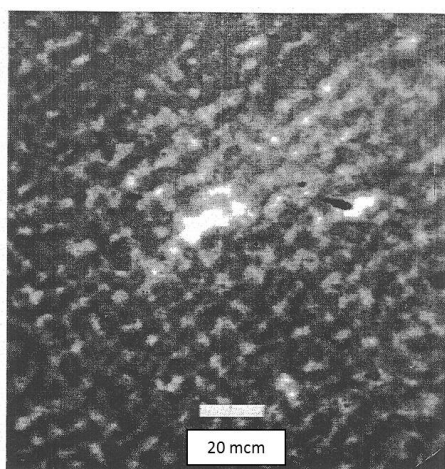
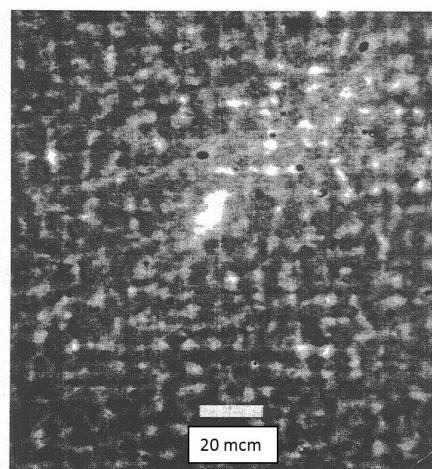


Рис. 2. Зависимость потери массы от температуры ( $C_{\text{AlN}} = 1,5$  мас. %)



а



б

Рис. 3. Микроструктура полиэтилена, наполненного НП AlN: а – 0,5 мас. %; б – 1,0 мас. %

Исследование структуры образцов показало, что НП AlN при малых концентрациях (< 1 мас. %) являются центрами кристаллизации и способствуют формированию мелкокристаллической структуры полиэтилена. При увеличении содержания наполнителя в полиэтиленовой матрице возрастает вероятность возникновения агломератов.

**Заключение.** Изучены термические параметры образцов полиэтилена, наполненного нанопорошками AlN. Термическая устойчивость выше для образцов полиэтилена с НП AlN концентрацией 0,1–3 мас. %. Результирующий эффект объясняется влиянием наночастиц на микроструктурные характеристики полиэтилена. Наночастицы являются центрами кристаллизации и участвуют в создании мелкокристаллической структуры. Таким образом, наночастицы нитрида алюминия могут быть использованы как наполнители полиэтилена для улучшения как механических свойств так и для снижения горючести.

Будущие исследования будут сфокусированы на более детальном исследовании параметров горючести полимерных материалов с различными нанодисперсными пламягасящими добавками.

*Работа выполнена в рамках реализации межинститутского исследовательского проекта ТПУ 2013 года, а также при поддержке грантов ФЦП ГК № 16.552.11.7063 и № 14.518.11.7017.*

#### Список литературы

1. Баратов А.Н., Андрианов Р.А., Корольченко А.Я. и др. Пожарная опасность строительных материалов. – М.: Стройиздат, 1988. – с.
2. Ильин А.П., Назаренко О.Б., Тихонов Д.В. и др. Гидроксидные и оксидные порошки – эффективные пламягасящие добавки в полимеры // Проблемы и перспективы развития Томского нефтехимического комбината: Тез. докл. 10-го отраслевого совещания. – Томск, 1996. – С. 37.
3. Филиппов П.В. Модифицирование полиэтилена высокого давления добавками ультрадисперсных порошков: Автореф. дис. ... канд. тех. наук. – Томск, 2003. – 19 с.
4. Ильин М.А., Верещагин В.И., Тихонов Д.В., Назаренко О.Б. Повышение стойкости к растрескиванию полиэтилена высокого давления, модифицированного ультрадисперсными порошками // Известия ТПУ. – 2007. – Т. 310. – № 1. – С. 99–101.
5. Назаренко О.Б. Электровзрывные нанопорошки: получение, свойства, применение / Под ред. А.П. Ильина. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2005. – 148 с.

#### Удаление фосфатов из сточных вод ОАО «Томское пиво»

*Нагорных Е.А., Зарубина Р.Ф., Назаренко О.Б.*

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

Сточные воды на предприятия ОАО «Томское пиво» представлены двумя типами: ливневые и хозяйственно-бытовые. Большое количество хозяйственно-бытовых сточных вод образуется на стадии мойки и замачивания ячменя, промывки дрожжей, мойки производственных емкостей, трубопроводов, помещений, тары, а также при сборе последних промывочных вод варочного цеха. На солодовенных и пивоваренных предприятиях основной объем сточных вод образуется при гидротранспортировке, замачивании, мойке сырья и оборудования. Количество хозяйственно-бытовых сточных вод составляет 2500 м<sup>3</sup>/сутки, максимальное количество – 120 м<sup>3</sup>/ч.

Сточные воды предприятия являются высококонцентрированными, в них большую долю загрязнителей составляют органические вещества, которые имеют, как правило, естественное происхождение, т. е. образуются в результате жизнедеятельности микроорганизмов или являются остатками сырья растительного происхождения. В составе сточных вод пивоваренного завода присутствуют остатки пивного суслу, дрожжи и остатки пива, которые поступают при мойке бутылок.

В табл. 1 представлены усредненные результаты анализа состава сточных вод за период 2007–2009 гг. Анализ проб сточных и природных подземных вод осуществляет аккредитованная гидрохимическая лаборатория ОАО «Томскгеомониторинг». Отбор проб производится не реже одного раза в квартал либо по необходимости. Результаты анализа оформляются в виде протоколов. Для сравнения в табл. 1 показаны значения допустимой концентрации, установленной распоряжением департамента городского хозяйства Администрации г. Томска 19.05.2010 г. Из представленных данных видно, что средние годовые значения большинства показателей, в том

числе фосфатов, превышают требования разрешительного документа. Таким образом, требуется разработка системы очистки сточных вод на предприятии.

В работах [1, 2] была показана возможность очистки воды от фосфат-ионов при использовании в качестве фильтрующей загрузки природного цеолита Бадинского месторождения. Установлено, что удаление фосфатов происходит в результате образования труднорастворимых соединений кальция. При скорости фильтрования 0,7 мл/мин удалось добиться эффективности удаления фосфатов 78 %. Целью данной работы являлось исследование возможности очистки от фосфатов сточных вод ОАО «Томское пиво».

Природные цеолиты находят все большее применение в практике очистки сточных и питьевых вод. Природные цеолиты представляют собой каркасные алюмосиликаты с трехмерной упорядоченной структурой, пронизанной микропористой системой каналов и полостей [3, 4]. Они обладают уникальной комбинацией физических, физико-химических, адсорбционных и ионообменных свойств. Цеолиты являются природными катионообменными материалами и успешно используются для очистки воды от катионов тяжелых металлов и аммонийного азота. Удаление анионов из воды с помощью цеолитов возможно после их предварительного модифицирования.

Таблица 1. Состав сточных хозяйственно-бытовых и производственных вод ОАО «Томское пиво» (2007–2009 гг.)

Показатель	Максимальный	Усреднённый годовой	ДК, мг/л
взвешенные вещества, мг/л	23333	1061	150
сухой остаток, мг/л	3069	2080	472
pH	8,6	7,7	8,5
ХПК, мгО/л	35333	3300	-
БПК <sub>5</sub> , О/л	11200	497	166,7
азот аммонийный, мг/л	23,4	9,98	10,0
нитриты, мг/л	54	0,17	0,17
железо общее, мг/л	1,91	1,3	1,095
хлориды, мг/л	345	41,9	60,0
сульфаты, мг/л	304	19,5	30,0
нитраты, мг/л	88	9,3	3,0
фосфаты, мг/л	59,25	2,62	2,0
фенолы, мг/л	2,64	0,02	0,002
нефтепродукты, мг/л	1,224	0,31	1,0
метанол, мг/л	0,363	0,363	0,5
формальдегид, мг/л	0,16	0,16	0,6
кремний, мг/л	24,3	11,97	10,0
мочевина, мг/л	73,4	20,3	50,0
цинк, мг/л	0,043	0,043	0,028
никель, мг/л	<0,01	<0,01	0,03

В работе для проведения экспериментов по очистке воды использовали цеолит Бадинского месторождения (Читинская обл.). Химический состав бадинского цеолита представлен в табл. 1. По химическому составу данная цеолитовая порода относится к высококремнеземистой, характеризуется высоким отношением Si/Al, общее содержание SiO<sub>2</sub> и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> составляет 79,4...84 %.

Таблица 2. Химический состав природного цеолита Бадинского месторождения

Компонент	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O
Состав, мас. %	68,0–72,0	0,6–0,8	11,4–12,0	0,16	2,1–3,7	0,6–1,7	2,6–4,8	0,4–1,5

Согласно результатам рентгенофазового анализа цеолит Бадинского месторождения состоит из клиноптилолита (70–80 %), а также примесных пород – кварца, монтмориллонита, полевого шпата и кристобалита [1, 2, 5]. С помощью термического анализа определено, что образец бадинского цеолита содержит в своем составе связанную и сорбированную воду [1, 5]. Потеря веса при нагревании образца бадинского цеолита до 1000 °С составила 10,0 %. причем

максимальная потеря адсорбированной воды ~6 % наблюдалась в температурном диапазоне от 80 до 300 °С. С помощью ИК-спектроскопии установлено наличие характерных для фазы клиноптилолита структурных групп.

В эксперименте использовался цеолит объемом 70 мл фракции 1–2 мм. Через колонку с цеолитом предварительно был пропущен модельный раствор ионов кальция  $\text{Ca}^{2+}$  (с концентрацией 10 мг/л) для перевода его в кальциевую форму. После этого цеолит промыли дистиллированной водой.

Фосфаты на предприятии ОАО «Томское пиво» используются для мойки оборудования, их добавляют к каусту (NaOH) при мойке бутылок. В период отбора стоков проходила мойка растворами каустической соды (концентрация щелочи 1–1,5 %) и азотной кислоты (концентрация 2 %) оборудования (емкостей хранения квасного сула квасного участка, емкостей отделения брожения квасного участка (бродильно-купажного танка)), слив дрожжей и другие технологические процессы.

Фильтрация через колонку с цеолитовой загрузкой производилась со скоростью 5–6 мл/мин. Последовательно производился отбор 500 мл фильтрата (последовательно в колбы по 50–100 мл). Отобранные пробы консервировались раствором хлороформа (2 мл раствора на 500 мл пробы). Определение фосфатов проводили по методике РД 52.24.382-2006 «Массовая концентрация фосфатов и полифосфатов в водах. Методика выполнения измерений фотометрическим методом».

Эффективность удаления фосфатов  $\mathcal{E}$  рассчитывали по формуле:

$$\mathcal{E} = \frac{C_{\text{исх}} - C_{\text{оч}}}{C_{\text{исх}}} \cdot 100\%,$$

где  $C_{\text{исх}}$  – концентрация фосфат-аниона в исходном растворе;  $C_{\text{оч}}$  – концентрация фосфат-аниона в очищенном растворе.

На рис. 1 показана зависимость эффективности удаления фосфатов из сточной воды при пропускании ее через цеолит. Эффективность очистки сточных вод от фосфатов составила 80 % при пропускании через фильтр 500 мл очищаемой воды.

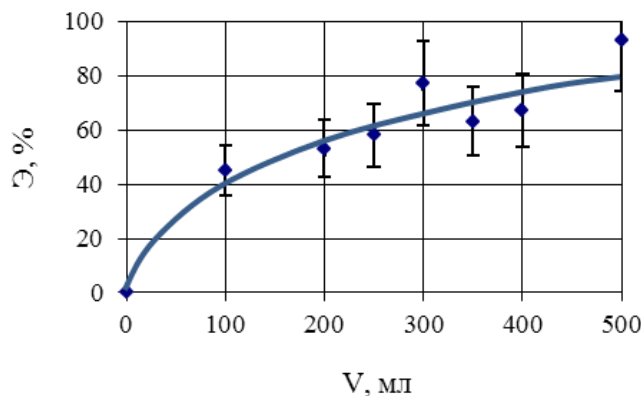


Рис. 1. Эффективность удаления фосфат-ионов в зависимости от объема фильтрата

Механизм очистки воды от фосфатов показан на схеме (рис. 2). Для обогащения цеолита ионами кальция предлагается использовать цеолитовый фильтр на стадии умягчения воды в процессе водоподготовки. В настоящее время для этих целей на ОАО «Томское пиво» воду пропускают через катионообменную смолу КУ-2-8 [6]. При этом жесткость воды снижается путем замены ионов натрия на катионообменной смоле на ионы  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  из фильтруемой воды. После прохождения через смолу определенного количества воды проводится регенерация фильтра в автоматическом режиме 8–12 % раствором NaCl. Смола заряжается новыми ионами натрия, а ионы кальция и магния в процессе регенерации удаляются в дренаж [6]. В случае умягчения воды с использованием цеолита после его насыщения ионами кальция можно осуществлять подачу на фильтр сточной воды после мойки оборудования с повышенным содержанием фосфатов.

В процессе фильтрации сточной воды через цеолит ионы кальция цеолита в ходе ионного обмена замещаются ионами натрия из раствора и поступают в обрабатываемую воду, где связывают фосфаты в труднорастворимые соединения, которые затем отфильтровываются.



Предположительно, при этом происходит образование труднорастворимого ортофосфата кальция  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ , который имеет произведение растворимости  $2,0 \cdot 10^{-29}$ .

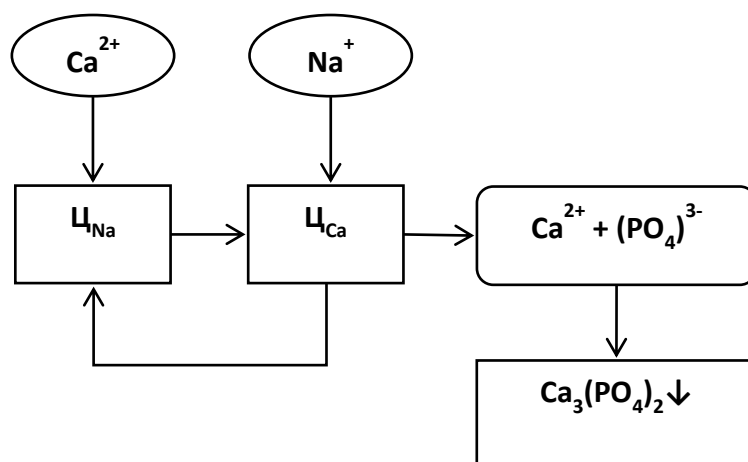


Рис. 2. Механизм удаления фосфатов из сточных вод при фильтровании через цеолитовую загрузку

Таким образом, в данной работе показана возможность использования природных цеолитов для очистки сточных вод предприятия ОАО «Томское пиво» от фосфатов, которые используются на стадии мойки оборудования. Показано, что эффективность очистки достигает 80 %. Для достижения высоких показателей очистки и выбора оптимальных условий необходимо проведение более детальных исследований.

#### Список литературы

1. Назаренко О.Б., Зарубина Р.Ф. Применение бадинского цеолита для удаления фосфатов из сточных вод // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 322. – № 3. – С. 11–14.
2. Вейсгейм А.С., Зарубина Р.Ф., Нагорных Е.А., Назаренко О.Б. Изучение возможности очистки воды от фосфатов на фильтре с цеолитовой загрузкой // Энергетика: эффективность, надежность, безопасность: материалы докладов восемнадцатой всероссийской научно-технической конференции (Томск, 5–7 Декабря 2012). – Томск: СПБ Графика, 2012. – С. 336–339.
3. Брек Д. Цеолитовые молекулярные сита. – М.: Мир, 1976. – 781 с.
4. Челищев Н.Ф., Володин В.Ф., Крюков В.Л. Ионнообменные свойства природных высококремнистых цеолитов. – М.: Наука, 1988. – 128 с.
5. Вейсгейм А.С., Зарубина Р.Ф., Назаренко О.Б. Удаление железа из скважинной воды на фильтре с загрузкой из Бадинского цеолита [Электронный ресурс] // Вестник науки Сибири. – 2012. – Т. 5. – № 4. – С. 23–30.
6. Богданова Я.Н., Назаренко О.Б. Анализ технологий производства питьевой бутилированной воды // Энергетика: экология, надежность, безопасность: Материалы докладов семнадцатой Всероссийской научно-технической конференции (Томск, 7–8 декабря 2011). – Томск: Изд-во СПБ Графика, 2011. – С. 309–312.

#### Исследование физико-химических свойств природных цеолитов Монголии

*Батдемберел Г. \*, Назаренко О.Б. \*\*, Татарнинова Е.Н. \*\**

*\*Монгольский университет науки и технологии, Монголия, г. Улан-Батор*

*\*\* Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск*

**Введение.** Природные минералы широко используются в качестве сорбентов для удаления вредных веществ из загрязненных вод. Все большее применение в практике очистки сточных и питьевых вод находят природные цеолиты – каркасные алюмосиликаты с трехмерной упорядоченной структурой, представляющую собой систему полостей, соединенных между собой

каналами [1, 2]. Природные цеолиты обладают уникальными адсорбционными и ионообменными свойствами, а также возможностью многократной регенерации.

Месторождения природных цеолитов со значительными запасами имеются в США, Японии, Южной Африке, России, Словакии, Болгарии, Турции, Италии и других странах. В Монголии геологические исследования цеолитовых месторождений начались с 1986 года и к настоящему времени выявлено несколько десятков разномасштабных геологических проявлений цеолитов, расположенных преимущественно на юге, юго-востоке и северо-востоке. Образованию цеолитовых месторождений способствовала тектоническая и палеогеографическая обстановка территории Южной Монголии. По данным [3] цеолиты образованы при взаимодействии нейтральных или слабощелочных слабоминерализованных вод палеозер с кислым или умереннощелочным вулканическим стеклом. Количество цеолитов в породах колеблется от 3 до 90 % объема породы. Максимальные содержания цеолитов (60–90 %) приурочены к прослоям кислых витрокластических туфов, меньше их в туффитах, туфопесчаниках и других породах. В прослоях осадочных пород цеолиты отсутствуют либо содержание их ничтожно мало. Большая часть объема цеолитосодержащих туфов представлена клиноптилолитом, также обнаружены феррьерит, шабазит и эрионит.

Целью данной работы являлось исследование физико-химических характеристик природных цеолитов Ургунского и Цагаанцавского месторождений, необходимое для обоснования возможности их использования в процессах очистки воды. Месторождения Ургун и Цагаанцав расположены в южной части Монголии (рис. 1) и являются перспективными объектами для развития экономики Монголии [4].



Рис. 1. Географическое расположение цеолитовых месторождений Ургун и Цагаанцав на территории Монголии

**Материалы и методики экспериментов.** Рентгенофазовый анализ (РФА) образцов природных цеолитов выполнен с помощью рентгеновского дифрактометра Shimadzu XRD-7000. Размер и форму частиц анализировали с помощью сканирующего электронного микроскопа Hitachi TM-3000. Для тестирования термической устойчивости образцов цеолитов использовали совмещенный термоанализатор ТГА/ДСК/ДТА SDT Q600 в режиме линейного нагрева (10 °С/мин) в атмосфере воздуха в интервале температур 20...800 °С. Для записи ИК-спектров в области 4000...400 см<sup>-1</sup> использовали ИК-Фурье спектрометр Nicolet 5700. Элементный состав образцов определяли методом рентгенофлуоресцентного анализа с помощью спектрометра Quant'X.

**Результаты и обсуждение.** С помощью РФА определен минералогический состав цеолитовых пород (рис. 2). Исследуемые образцы содержат в своем составе клиноптилолит, а также примесные породы – кварц, монтмориллонит, полевой шпат и кристобалит.

На рис. 3 показан внешний вид исследуемых пород, а также микрофотографии, полученные с помощью электронного микроскопа.

Спектры цеолитов, полученные методом рентгеновской флуоресцентной спектроскопии, показаны на рис. 4. В таблице приведен элементный состав образцов цеолитовых пород. Содержание элементов определяли по интенсивности аналитических линий определяемых элементов. Отношение основных составляющих катионов Si/Al составляет для цеолита Ургунского месторождения 4,32, а для цеолита месторождения Цангаавцав – 4,72. Эти данные говорят о высоком качестве цеолитов – их высокой термо- и кислотостойкости.

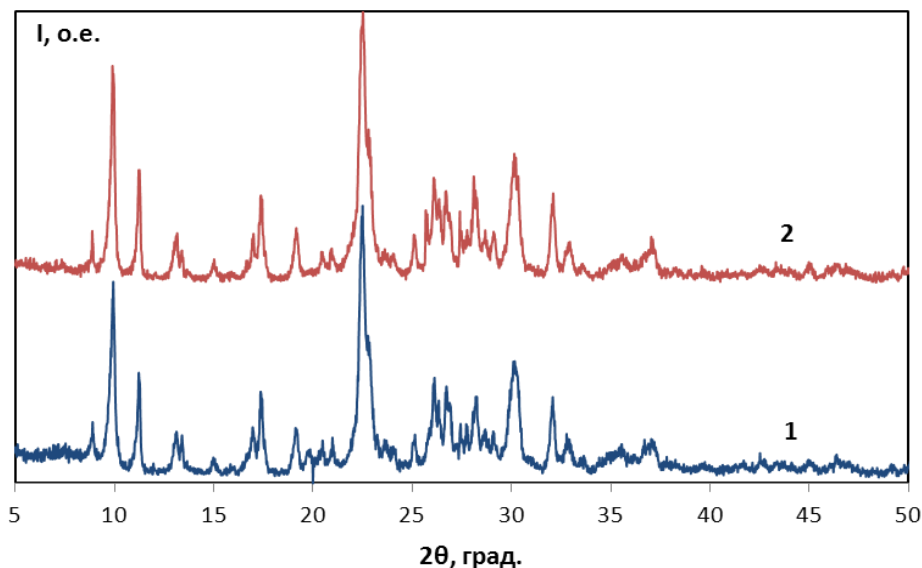


Рис. 2. Рентгенограммы образцов цеолитов месторождений Ургун (1) и Цагаанцав (2)

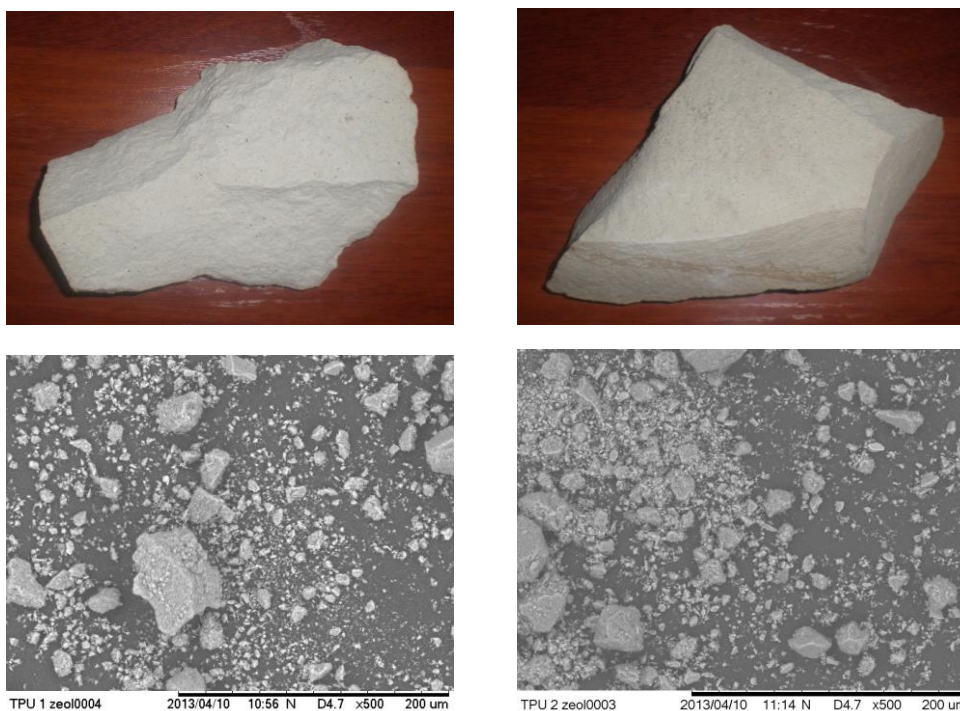


Рис. 3. Общий вид и микрофотографии природных цеолитов месторождений Ургун (а) и Цагаанцав (б)

Результаты исследования термической устойчивости монгольских цеолитов показали, что снижение веса при нагревании образцов до 1000 °С составило до 9,5 %, что позволяет для

улучшения сорбционных свойств использовать термическое модифицирование.

Наличие характерных для фазы клиноптилолита структурных групп в образцах цеолитов установлено методом ИК-спектроскопии. Наиболее интенсивная полоса поглощения наблюдается при  $1040\text{ см}^{-1}$  и отвечает колебанию связи Si–O–Si. Полосы поглощения  $800,5$  и  $780,5\text{ см}^{-1}$  связаны с валентными колебаниями связи Al–O, а  $473,2\text{ см}^{-1}$  – с деформационными колебаниями Al–O<sub>4</sub>. С наличием цеолитной воды связаны полосы поглощения в диапазоне  $3253\text{--}3734\text{ см}^{-1}$ ,  $1612,4\text{ см}^{-1}$  – полоса деформационных колебаний молекул воды.

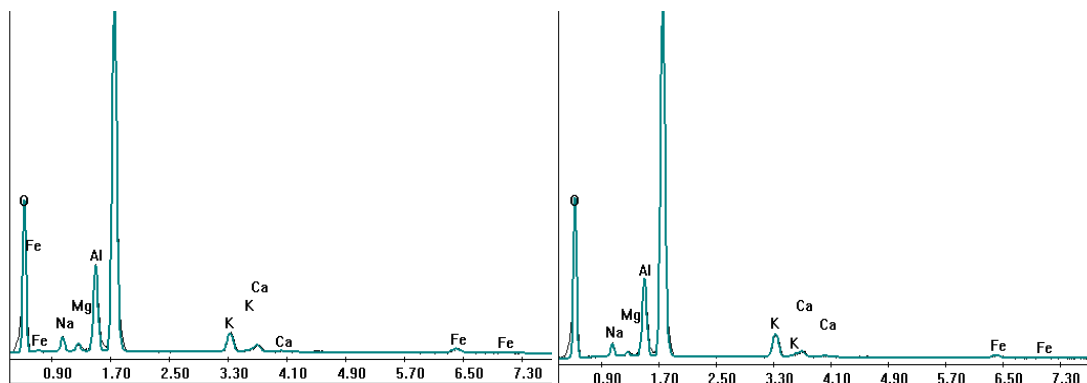


Рис. 4. Рентгенофлуоресцентные спектры образцов цеолитовых месторождений Ургун (а) и Цагаанцав (б)

Таблица. Элементный состав образцов природных цеолитов, мас. %

Элемент	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Месторождение								
Ургун	43,74	2,53	0,98	8,89	38,44	2,72	1,07	1,64
Цагаанцав	45,81	2,22	0,57	8,08	38,11	3,37	0,88	0,97

**Выводы.** В данной работе представлена характеристика физико-химических свойств монгольских природных цеолитов месторождений Ургун и Цагаанцав. Цеолиты обладают высокой термостойкостью и кислотостойкостью и удовлетворяют требованиям для использования в практических целях для обработки сточных вод. Выполненные исследования позволяют сделать вывод о возможности химического и термического модифицирования исследованных цеолитов для улучшения сорбционных свойств.

Работа выполнена при частичной поддержке ФЦП ГК № 16.552.11.7063 и № 14.518.11.7017.

#### Список литературы

1. Брек Д. Цеолитовые молекулярные сита. – М.: Мир, 1976. – 781 с.
2. Челищев Н.Ф., Володин В.Ф., Крюков В.Л. Ионнообменные свойства природных высококремнистых цеолитов. – М.: Наука, 1988. – 128 с.
3. Петрова В.В. Низкотемпературные вторичные минералы и их роль в литогенезе (силикаты, алюмосиликаты, гидроксиды) / (Тр. Геол. ин-та; вып. 525). – М.: ГЕОС, 2005. – 247 с.
4. Mavlet U., Enebish B. Mineral resources of Mongolian. – Ulaanbaatar, 1998. – 280 p.

#### Качественный анализ загрязнения воздуха методом лишеноиндикации

Кондратова А.А., Орлова К.Н

Юргинский технологический институт (филиал) Томского политехнического университета, г. Юрга

Email: [lestaks@rambler.ru](mailto:lestaks@rambler.ru)

Формирование и развитие природных экосистем напрямую зависит от степени воздействия техногенных факторов различной природы. Не менее важное значение имеют и адаптивные возможности биологических систем, которые на современном этапе позволяют выявить биоиндикационные исследования, ставшие важной частью экологического мониторинга.

**Цель работы:** Изучение качественного состояния атмосферы города Юрга методом лишеноиндикации.

**Задачи:**

- Выявить видовой состав лишайников, встречающихся в городе.
- Сделать вывод о степени загрязнённости воздуха в городе.

Одним из основных объектов глобального биологического мониторинга выбраны лишайники. Лишайники представляют собой весьма своеобразную группу споровых растений, состоящих из двух компонентов - гриба и одноклеточной, реже нитчатой, водоросли, которые живут совместно как целостный организм. При этом функция основного размножения и питания за счет субстрата принадлежит грибу, а функция фотосинтеза – водоросли.

Большинство лишайников состоят из образованной гифами плотной коры, в которой имеются необходимые для дыхания поры. Кора позволяет всасывать влагу из воздуха и защищает лишайник от переохлаждения или перегрева. Под корой гифы более рыхлые, между ними располагаются клетки водоросли. Обычно клетки фотобионта сконцентрированы по периферии – ближе к свету – образуя фотосинтезирующий слой. По анатомическому строению различают лишайники гомемерные (в которых водоросли распределены более или менее равномерно по всему телу) и гетеромерные (водоросли находятся только под слоем коры). Некоторые лишайники симбиотируют также с бактериями, за счёт чего получают азот прямо из воздуха, или паразитируют на мхах и других лишайниках.

Исследование проводилось на деревьях только одного вида: Тополь. Так как в результате проведенного анализа научных данных выявлена зависимость произрастания эпифитных лишайников от видового состава деревьев, так, к примеру лишайники могут активно распространяться на тополях и хвойных, а менее на березах. Таким образом, чтобы исключить погрешность связанную с видовым составом деревьев был выбран тополь.

Различают три группы эпифитных лишайников:

- **накипные (коркоподобные)** Если слоевища плотно прилегают к субстрату в виде зернистого либо пылистого налета или в виде чешуек и корочек разной формы, то такие лишайники называются накипными. Похожи на плоские корки, плотно срастающиеся с корой, камнями, почвой, они трудно отделяются на ощупь, бархатистые и влажные.

- **листоватые (листовидные)** Если слоевища лишайников имеют вид более или менее расчлененных пластинок (лопастей), они называются листоватыми. Имеют форму мелких пластинок, чешуек, прикрепляются к поверхности тонкими нитями гриба и довольно легко отделяются от нее.

- **кустистые.** Лишайники, которые имеют кустистое слоевище, состоящее из прямостоячих в разной степени разветвленных столбиков (подециев), называются кустистыми. которые либо растут вверх как маленькие кустики, либо свисают с дерева вниз подобно бороде. Не имея корней, лишайники довольно крепко прикрепляются к субстрату особыми выростами, расположенными на нижней стороне таллома.

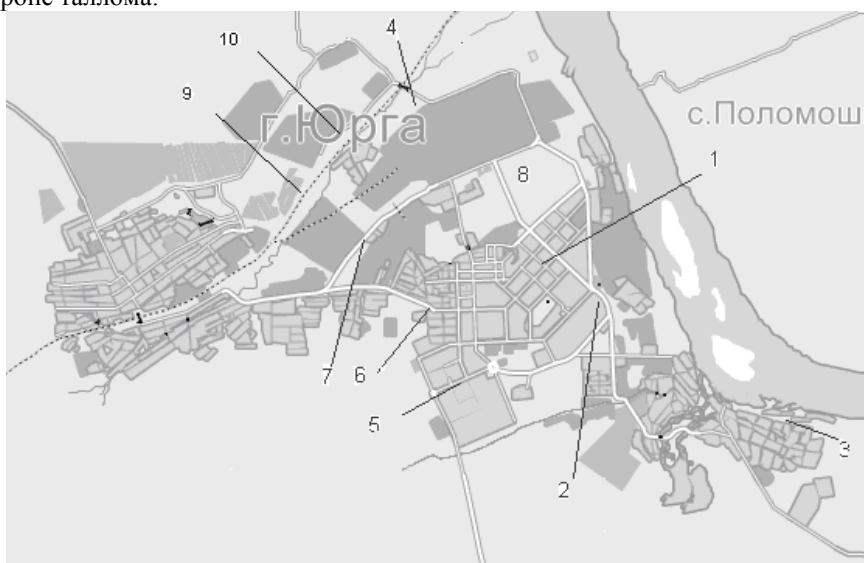


Рис. 1 – Карта Юрги с отмеченными точками проведения измерений

На территории города обнаружены следующие виды лишайников: Пармелия бороздчатая (*Parmelia sulcata*), Фисция звездчатая (*Phiscia stellaris*), Пармелиопсис сомнительный (*Parmeliopsis ambigua*), Ксантория настенная (*Xanthoria parietina*)

Таблица 1–Результаты качественного исследования состояния чистоты воздуха в г. Юрга.

Номер точки	Видовой состав
1	Листовые, накипные
2	Листовые, накипные
3	Листовые, накипные
4	нет
5	накипные
6	накипные
7	накипные
8	накипные
9	нет
10	Листовые, накипные

Изучение всех видов лишайников в крупнейших городах мира выявило ряд общих закономерностей: чем больше индустриализирован город, чем более загрязнен воздух, тем меньше встречается в его границах видов лишайников, тем меньшую площадь покрывают лишайники на стволах деревьев, тем ниже "жизненность" лишайников. Установлено, что при повышении степени загрязнения воздуха лишайники исчезают по следующей схеме в порядке убывания:

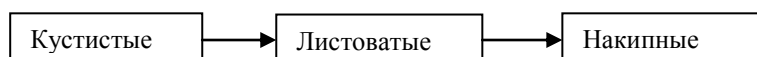


Рис. 2 – Исчезновение лишайников при возрастании загрязнения воздуха

**ВЫВОДЫ:** В результате качественного биомониторинга с помощью лишеноиндикации на территории города Юрги обнаружены две зоны лишайниковых пустынь. Зона наибольшего загрязнения воздуха предположительно связана с деятельностью заводов. Выделяются две зоны критического загрязнения в жилых районах. Предположительным загрязнителем являются выхлопы автомобилей. Выявлена необходимость дальнейших исследований загрязнения воздуха методом лишеноиндикации на территории города с применением иных методик и с привлечением дополнительных методов для составления лишеноиндикационной карты города Юрги.

#### Список литературы

1. Экологический мониторинг: Учебно-методическое пособие/ Под ред. Т.Я. Ашихминой. – М.: Академический Проект, 2006. —416 с.
2. Биологический контроль окружающей среды, биоиндикация и биотестирование/ под ред. О.П. Мелеховой и Е.И. Егоровой. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 288 с.

#### Философско-мировоззренческая составляющая при изучении общепрофессиональных дисциплин инженерно-технического направления

(на примере электротехники)

*Петуров В.И., Куркин К.О., Пешкова Ю.В.*

*Забайкальский институт железнодорожного транспорта, Россия, г. Чита*

[Peturov\\_vi@rambler.ru](mailto:Peturov_vi@rambler.ru)

Глобализация мировой экономики не проходит бесследно для национальных образовательных систем и, прежде всего для высшего профессионального образования. Россия на новом этапе своего развития активно включилась в процессы интернационализации образования,

присоединившись в 2003 г. к Болонскому процессу, в результате которого большинство европейских стран перейдет на двухуровневое обучение студентов в высших учебных заведениях. После подписания министром образования РФ 19 сентября 2003 г. Болонской декларации отечественной высшая школа активно участвует в создании единого образовательного пространства, сотрудничая в этой сфере с ведущими европейскими и мировыми державами.

С учетом сказанного перед Российской высшей школой вновь, на новом этапе исторического развития, возникают задачи улучшения качества подготовки теперь не только уже специалистов, но также и бакалавров и магистров, повышения уровня их профессионального образования, успешного освоения в рамках образовательной программы универсальных и профессиональных компетенций [1].

В процессе формирования мировоззрения студентов, превращения полученных знаний в убеждения, в жизненную позицию исключительно важная роль в технических вузах принадлежит общеинженерным и специальным техническим кафедрам. Каждая техническая дисциплина содержит не только чисто технические выкладки, формулировку законов и т. п., но и их философское истолкование, т. е. включает в себя и мировоззренческие проблемы.

В основе формирования мировоззрения лежит изучение философии, как науки, играющей ведущую методологическую роль. Важнейшие принципы и законы философии опосредованно выступают и как методы анализа технических наук. Они отражаются во всех видах инженерно-технической деятельности, таких как научно-исследовательская, проектно-конструкторская, производственно-технологическая, организационно-управленческая, монтажно-наладочная и сервисно-эксплуатационная. Овладение основами философских знаний воспитывает культуру мышления, умение творчески подходить к любому делу, правильно ориентироваться в любой новой для человека области знания и деятельности, способность смотреть в корень вещей и явлений, видеть их взаимосвязь и взаимозависимость, тенденции развития, скрытые от поверхностного взгляда.

Недопонимание исключительной важности методологического и мировоззренческого аспектов философии специалистом любого профиля и в особенности технического приводит к тому, что если человек лишь Homo Faber (человек делающий), тогда он крайне опасен. Homo Faber – полезная составная часть человека только в том случае, если человек желает воспринимать себя и быть признанным обществом как Homo Sapiens (человек разумный).

Технократическая реализация текущих экономических интересов без учета социальных аспектов делает инновационные проекты весьма конфликтными, основанными подчас на противоестественных решениях, не учитывающих возможности окружающей среды. Масштабы технических инноваций, покорение природы, исчерпание ее ресурсов часто свидетельствуют о неадекватности людей, просчетах и произволе, которые принесут вред многим поколениям на протяжении многих десятилетий. Поэтому для современного этапа развития экономики и производства требуется органичное взаимное переплетение законов технической среды обитания и природной реальности, гармоничная конвергенция всех типов систем [2].

В этой связи, в процессе подготовки будущих инженерно-технических кадров необходимо сформулировать основные требования, предъявляемые к техническим дисциплинам с целью более полного отражения мировоззренческих вопросов при подготовке специалистов, бакалавров и магистров по техническим направлениям и специальностям.

Преподавание любой технической дисциплины должно быть организовано так, чтобы, научить студента оценивать в едином комплексе широкий круг взаимосвязанных с техникой экономических, исторических, социальных и экологических проблем.

При изучении технических дисциплин должны быть отражены:

- системный подход к анализу научно-технического прогресса;
- важнейшие достижения отечественных и зарубежных ученых и инженеров в рассматриваемой области науки и техники;
- социально-экономические предпосылки решения той или иной проблемы, создания того или иного технического объекта;
- краткая история развития данного устройства и роль отечественных и зарубежных ученых и инженеров в его совершенствовании;
- роль научных абстракций в познании исследуемых процессов;
- основные закономерности научно-технического прогресса, проявляющиеся в процессе возникновения и развития данной отрасли техники: противоречия между потребностями производства и возможностью их удовлетворения; противоположность и

взаимобусловленность требований к данной конструкции (достоинства и недостатки, сочетание технического совершенства и простоты и т. п.); возврат к старым идеям на основе новейших достижений науки и техники;

- взаимосвязь таких важных качественных и количественных показателей, как КПД, эффективность, безопасность, экологичность, надежность и т.п.;
- роль новых материалов и технологий;
- особенности состояния и перспективы, прогнозная оценка развития данной отрасли, решение конкретных научно-технических проблем в Российской Федерации, других странах и в целом в мире.

Студент должен отчетливо понимать причины, вызывающие необходимость создания того или иного объекта техники, и условия, позволяющие решить эту проблему. При этом необходимо подчеркивать характерную закономерность научно-технического прогресса, в соответствии с которой для успешного решения крупной научно-технической проблемы всегда существуют объективные социально-экономические предпосылки.

К. Маркс указывал: «...человечество ставит себе всегда только такие задачи, которые оно может разрешить, так как при ближайшем рассмотрении всегда оказывается, что сама задача возникает лишь тогда, когда материальные условия ее решения уже имеются налицо, или, по крайней мере, находятся в процессе становления» [3]. Потребность, общества в тех или иных материальных благах выявляется в форме постоянно возникающего и постоянно разрешаемого противоречия между потребностями и возможностью их удовлетворения.

При любом способе материального производства потребности общества опережают техническую основу производства, вызывают необходимость в более совершенных технических средствах и тем самым стимулируют развитие науки и техники.

Иллюстрацию указанных выше положений для студентов технических специальностей удобно проводить на основе рассмотрения истории развития электротехники, и в частности, на примере истории развития трансформаторов и трансформаторостроения, поскольку трансформатор является важнейшим элементом современных систем электроснабжения, одним из наиболее распространенных видов электротехнического оборудования [4, 5].

В последней четверти XIX века в связи с бурным развитием промышленности все более остро ощущалась необходимость в экономичной передаче больших количеств электроэнергии на дальние расстояния. Исследования показали, что наиболее эффективный путь решения этой проблемы – повышение напряжения линий электропередач. Поэтому со всей остротой была поставлена задача создания высокоэкономичных трансформаторов. А возможность ее решения была обусловлена успехами научных исследований в области электротехники, огромным опытом инженерных и конструкторских разработок различных электротехнических устройств, достижениями электроизоляционной техники, металлургической промышленности и др. Почти полвека потребовалось для того, чтобы трансформатор превратился из лабораторного прибора в промышленную конструкцию, содержащую все основные элементы современного трансформатора [6].

История развития трансформатора – как и многих других важнейших электротехнических объектов – наглядная иллюстрация диалектики технического развития, путей преодоления противоречий инженерной мысли, логики и творческой методологии ученых и инженеров. Даже краткое знакомство с ней поможет студенту увлечься своеобразной романтикой инженерных поисков, приобрести умение творчески мыслить, понять сложные взаимосвязи научно-технического прогресса.

В заключение, считаем нужным, подчеркнуть, что, говоря о будущем развития техники, необходимо добиваться осознанного понимания студентами того факта, что какие бы уникальные технические решения и конструкции ни были созданы сегодня, они лишь являются ступенью на пути создания еще более совершенных объектов.

Освещение мировоззренческих вопросов требует серьезного подхода, в основе которого должна быть органическая связь изучаемого материала со знаниями, полученными студентами при изучении других наук и, прежде всего дисциплин гуманитарно-социального и естественнонаучного блоков, соответствующей направленности всех видов учебных занятий.

#### Список литературы

1. Серебрянников С.В. Новые образовательные стандарты и задачи УМО по обеспечению единства российского высшего профессионального образования в области энергетики. – Роль и задачи УМО в обеспечении единства российской системы высшего профессионального



- образования для энергетики. Материалы пленума Совета Учебно-методического объединения вузов России по образованию в области энергетики и электротехники. – Москва – Казань, 2008.
2. Хабибуллин К.Н., Коробов В.Б., Луговой А.А. Философия науки и техники. – М.: Высшее образование, 2008. – 192 с.
  3. Маркс К. К критике политической экономии. – Маркс К., Энгельс Ф. Сочинения. – 2-е изд. – Т. 13. – С. 7.
  4. Петуров В.И. Мировоззренческие проблемы обучения студентов направления 140200 «Электроэнергетика». – VI Всероссийская научно - практическая конференция «Энергетика в современном мире» (материалы конференции). – Чита: ЧитГУ, 2009. Ч. II. – С. 225–230.
  5. Пешкова Ю.В., Куркин К.О. Историко-методологические аспекты изучения общепрофессиональных дисциплин в техническом вузе (на примере электротехники). – МИКС-2013: Сборник трудов Межвузовской итоговой конференции студентов. – Иркутск: ИрГУПС, 2013. – С. 148 – 151.
  6. Шнейберг Я. А. Трансформации трансформатора. // Наука и жизнь, № 3, 1973. – С. 40–47.

#### **Определение коэффициента вертикальной диффузии при помощи метода мхов-биомониторов и математического моделирования**

*Рыжакова Н.К., Покровская Е.А.*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск  
[pokrelena@gmail.com](mailto:pokrelena@gmail.com)*

При контроле загрязненности атмосферного воздуха согласно ГОСТ 17.2.3.01-86 на опорных стационарных постах проводятся наблюдения за содержанием пыли, сернистого газа, окиси углерода, двуокиси азота. Однако особый интерес представляет содержание в воздухе тяжелых металлов и других химических элементов, так как даже в малых концентрациях, но при длительном воздействии они могут причинить существенный вред здоровью человека. Следует отметить, что повышенное содержание некоторых элементов в организме человека может привести к заболеванию раком (например, свинец - рак почек, желудка, кишечника).

Существует ряд способов определения степени загрязнения воздуха тяжелыми металлами и другими химическими элементами. Основные различия заключены на начальном этапе, то есть в момент отбора проб (например, фильтрация воздуха или использование искусственных или естественных планшетов). Последующие стадии существующих способов одинаковы и основаны на использовании таких наиболее распространенных методов определения химического состава проб, как атомно-абсорбционная атомно-эмиссионная спектроскопия, нейтронно-активационный анализ, рентгенофлуоресцентный метод, фотокolorиметрический метод.

При использовании воздушных фильтров или поглощающих материалов осуществляется прокачка через них воздуха. Отбор разовых проб проводят в зонах максимального загрязнения непосредственно в факеле выброса. Отбор проб осуществляется, как правило, в течение 20 минут, в каждой точке отбирают не менее 25 проб в течение нескольких дней на уровне 1,5 метра от земли (зона дыхания).

Более длительная экспозиция имеет место при контроле содержания химических элементов в воздухе с помощью анализа дождевых осадков или снегового покрова. Однако эти методы требуют сложной пробоподготовки и являются очень трудоемкими.

В последние десятилетия широкое распространение получили методы, основанные на использовании биомониторов для оценки и прогноза состояния окружающей среды. В качестве биомониторов часто используют мхи, которые играют роль естественных планшетов, так как обладают высокими аккумуляционными способностями, продолжительным жизненным циклом и широко распространены в природе. В ряде известных работ, в том числе и зарубежных, мхи применяют для оценки уровней загрязнения атмосферного воздуха тяжелыми металлами (ТМ) достаточно обширных территорий. В зависимости от длины прироста используемого в исследовании мха период наблюдения может составлять от 2-3 до 10-15 лет.

Метод мхов-биомониторов можно использовать не только для оценки загрязнения атмосферного воздуха ТМ, но и для изучения основных закономерностей распределения выбросов промышленных предприятий в приземном слое атмосферы. Как будет показано далее, применение метода математического моделирования для описания измеренных распределений концентраций химических элементов во мхах в зависимости от расстояния от источника загрязнения может

быть использовано для определения основных параметров переноса загрязняющей примеси. Моделирование осуществляется на основе диффузионно-конвективного уравнения, которое для средних значений концентраций примеси  $q$  для точечного источника загрязнения в приземном слое атмосферы имеет вид [1]:

$$u \frac{\partial q}{\partial x} + V_g \frac{\partial q}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} k_z \frac{\partial q}{\partial z} \quad (1)$$

Уравнение учитывает турбулентную диффузию в вертикальном направлении, характеризующуюся коэффициентом вертикальной диффузии  $k_z$ , перемещение по ветру в направлении оси  $x$  со скоростью  $u$  и гравитационное оседание со скоростью  $V_g$ .

Данная работа посвящена определению одного из основных параметров переноса примеси – коэффициента вертикальной диффузии  $k_z$  с помощью метода мхов-биомониторов.

В большинстве работ по переносу загрязняющей примеси в атмосфере используется прямая зависимость коэффициента вертикальной диффузии от высоты над поверхностью земли:

$$k_z = k_1 z,$$

где  $k_1$  – коэффициент пропорциональности вертикальной диффузии.

Для расчета коэффициента  $k_1$  к настоящему времени получено несколько формул, пригодных для некоторых определенных состояний атмосферы [2]. В связи с этим полученные по той или иной формуле значения  $k_1$  могут быть использованы только в расчетах разовых концентраций для соответствующих состояний атмосферы. Кроме того, возникают проблемы с определением содержащегося в формулах параметра шероховатости, который учитывает рельеф местности, где расположено предприятие: рельеф конкретной местности чаще всего нельзя отнести к какому-либо определенному типу. Следует отметить, что при оценке степени загрязнения тяжелыми металлами, концентрации которых в выбросах невелики, интерес представляют не разовые, а усредненные за длительные периоды наблюдения концентрации, когда реализуются различные состояния атмосферы.

В методе мхов-биомониторов определение коэффициента вертикальной диффузии основано на использовании аналитического решения уравнения (1), которое при степенной аппроксимации скорости ветра и коэффициента вертикальной диффузии от высоты  $z$  с учетом фоновых концентраций имеет вид [2]:

$$q(x) = \theta_1 x^{\theta_2} \exp\left(-\frac{\theta_3}{x}\right) + q_\phi \quad (2)$$

здесь  $q_\phi$  – фоновое (природное) содержание химического элемента во мхах, отобранных на территориях, где отсутствует техногенное загрязнение;

$x$  – расстояние от точки пробоотбора мхов до источника загрязнения;

$\theta_1$ ,  $\theta_2$ ,  $\theta_3$  – параметры пространственного распределения концентраций химических элементов, содержащихся во мхах. Численные значения данных параметров зависят от множества факторов: от мощности и высоты трубы промышленного предприятия, состояния атмосферы и свойств загрязняющей примеси.

Анализ литературы по переносу загрязняющей примеси в приземном слое атмосферы показал, что при расчете разовых концентраций используется следующее выражение для параметра  $\theta_3$  [3]:

$$\theta_3 = \frac{u_1 H^{1+n}}{(1+n)^2 k_1} \quad (3)$$

Где  $n$  – параметр, характеризующий изменение скорости ветра с высотой,  $n=0,1 \dots 0,25$ ;  $u_1$  – скорость ветра, измеряемая на высоте 1 м от поверхности земли;  $H$  – высота трубы источника загрязнения.

Формулу (3) при известном значении параметра  $\theta_3$  можно использовать для определения коэффициента пропорциональности вертикальной диффузии  $k_1$ . Значение  $\theta_3$  можно найти путем аппроксимации измеренных концентраций химических элементов во мхах, отобранных на разных расстояниях  $x$  от источника загрязнения, зависимостью вида (2) с помощью метода наименьших квадратов (МНК).

Для применения данного способа определения коэффициента вертикальной диффузии отбирали образцы эпифитного мха *Pyloisapolyantha* (Hedw.) B.S.G. с коры берез, осин и тополей на высоте 1,5-2 м в заданном направлении от ТЭЦ-5 ( $H=260$  м) на расстояниях от 1 до 5 км

(рис 1). Фоновый образец мха отобрали в ХМАО на расстоянии, значительно удалённом от основных населённых пунктов и предприятий, что практически исключает воздействие на них техногенного загрязнения. В данном исследовании брали зелёный прирост мха, что соответствует 2-3 годам накопления химических элементов в мхах. Пробоподготовка и измерения проводили в соответствии с запатентованной методикой [4]. В ходе исследования подготовлено и измерено 38 проб мха, в которых определено содержание следующих элементов: Ва, Hf, Eu, Fe, Yb, Co, La, Lu, As, Nd, Rb, Sm, Sc, Sr, Sb, Th, U, Cr, Cs, Ce, Zn. Измеренные распределения концентраций химических элементов в образцах, отобранных на разных расстояниях от источника загрязнения, аппроксимировали зависимостью вида (2); в качестве примера на рис. 2 показаны распределения концентраций Co и Sr. Коэффициент вертикальной диффузии определяли по формулам:

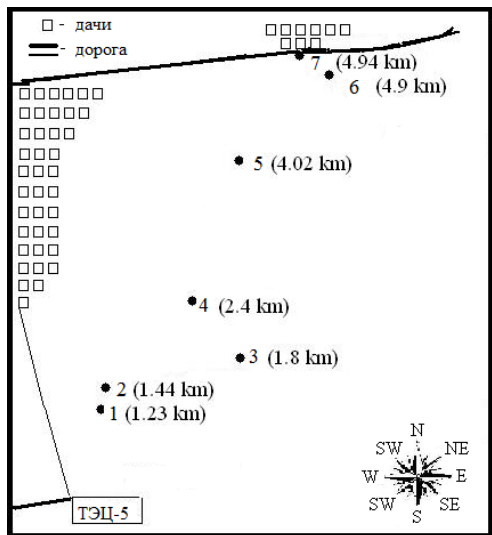


Рис. 1 Карта пробоотбора вблизи ТЭЦ-5 г. Новосибирска

$$k_z = k_1 z, k_1 = \frac{\langle u_1 \rangle H^{1+n}}{(1+n)^2 \theta_3},$$

где  $\langle u_1 \rangle$  – усредненная за период экспозиции скорость ветра.

В таблице 1 приведены значения параметра  $\theta_3$ , определенного с помощью МНК,  $k_1$  и коэффициенты вертикальной диффузии, рассчитанные для различных высот при  $n=0,2$  и  $\langle u_1 \rangle = 5 \text{ м/с}$ .

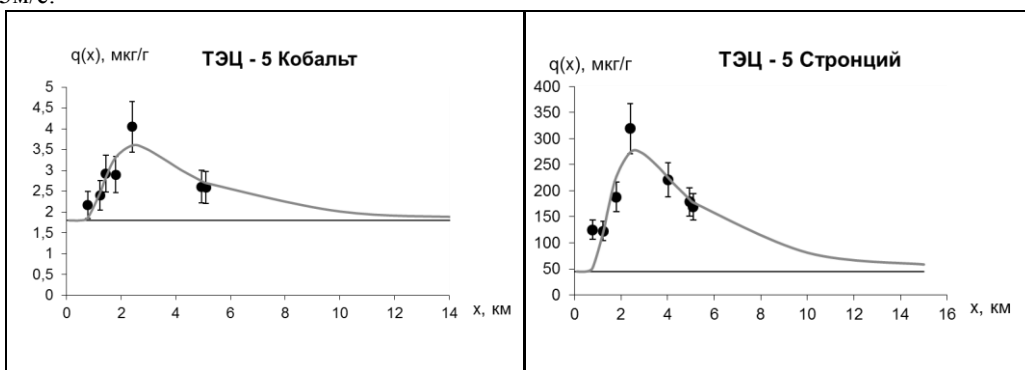


Рис. 2 Распределение химических элементов во мхах в зависимости от расстояния: сплошная кривая – результат аппроксимации функцией вида (2); горизонтальная прямая – фоновые концентрации

Следует отметить, что значения коэффициента вертикальной диффузии (табл.1), определенные в данном исследовании с помощью мхов-биомониторов, не противоречат данным, приведенным в литературе [5].

Таблица 1. Значения  $\theta_3$ ,  $k_1$  и коэффициента вертикальной диффузии  $k_z$ .

Элемент	$\theta_3$	$k_1$ , м/с	$k_z$ , м <sup>2</sup> /с				
			z=50 м	z=100м	z=150 м	z=200 м	z=250 м
Ba	8	0,09	4,5	9	13,5	18	22,5
Hf	5,9	0,12	6	12	18	24	30
Eu	5	0,14	7	14	21	28	35
Fe	10,4	0,07	3,5	7	10,5	14	17,5
Yb	8	0,09	4,5	9	13,5	18	22,5
Co	8	0,09	4,5	9	13,5	18	22,5
La	8	0,09	4,5	9	13,5	18	22,5
Lu	8	0,09	4,5	9	13,5	18	22,5
As	8	0,09	4,5	9	13,5	18	22,5
Nd	8	0,09	4,5	9	13,5	18	22,5
Rb	6,58	0,10	5	10	15	20	25
Sm	8	0,09	4,5	9	13,5	18	22,5
Sc	9,24	0,07	3,5	7	10,5	14	17,5
Sr	8	0,09	4,5	9	13,5	18	22,5
Sb	8	0,09	4,5	9	13,5	18	22,5
Th	8,57	0,08	4	8	12	16	20
U	7,13	0,10	5	10	15	20	25
Cr	8	0,09	4,5	9	13,5	18	22,5
Cs	8	0,09	4,5	9	13,5	18	22,5
Ce	6,5	0,11	5,5	11	16,5	22	27,5
Zn	8	0,09	4,5	9	13,5	18	22,5

Выводы:

Существующие методы определения коэффициента вертикальной диффузии используются при расчете разовых концентраций для некоторых определенных состояний атмосферы.

Метод мхов-биомониторов позволяет определять усредненные за длительные (от 2-3 до 10-15 лет) периоды наблюдения значения коэффициента вертикальной диффузии, которые учитывают реализацию различных состояний атмосферы, характерных для данной местности.

#### Список литературы

1. Берлянд М. Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. – Л.: Гидрометеоздат, 1975. - 448 с.
2. Гусев Н. Г., Беляев В. А. Радиоактивные выбросы в биосфере: справочник— 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергоатомиздат, 1991. — 256 с.
3. Берлянд М.Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы. – Л.: Гидрометеоздат, 1985. - 272 с.
4. Название изобретения: пат. №2463584 Рос. Федерация ,опубл. 10.10.12 г. Бюл. №28.
5. Лайхтман Д.Л. Физика пограничного слоя атмосферы. Л.: Гидрометеоздат, 1970. – 342 с.

#### Определение скорости гравитационного оседания частиц летучей золы при помощи метода мхов-биомониторов и математического моделирования

*Рыжакова Н.К., Покровская Е.А.*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск*

На сегодняшний день в результате производственной деятельности в атмосферу выбрасывается большое количество газообразных и твердых веществ. Наиболее крупные частицы выбросов промышленных предприятий улавливаются очистительными установками, в то время как мелкодисперсная часть попадает в атмосферный воздух. Именно она и представляет серьезную угрозу для здоровья человека, так как попадает в органы его дыхания. Тяжелые металлы, содержащиеся в мелкодисперсных частицах выбросов промышленных предприятий, могут накапливаться в организме и приводить к серьезным заболеваниям, включая рак [1].

Для оценок и прогнозирования загрязнения атмосферного воздуха выбросами промышленных предприятий широко используется математическое моделирование переноса загрязняющей примеси. Одним из основных параметров переноса вредных веществ в приземном

слое атмосферы является скоростью гравитационного оседания твердых частиц, содержащихся в выбросах промышленных предприятий. Необходимо отметить, что скорость гравитационного оседания применяют не только при математическом моделировании, но и при определении дисперсного состава частиц загрязняющей примеси, если известна их плотность.

Известные методы определения скорости гравитационного оседания частиц летучей золы выбросов промышленных предприятий можно разделить на две большие группы:

1) Отбор представительной пробы частиц летучей золы массой не менее 0,5 г, а затем определение ее плотности и скорости гравитационного оседания.

2) Выделение частиц из газового потока и определение скорости гравитационного оседания производится одновременно.

Большинство известных способов определения скорости гравитационного оседания частиц летучей золы, относящихся к первой группе, основано на седиментометрическом принципе [2]: скорость и время оседания частиц различного размера и массы неодинаковы: более крупные и, соответственно, более тяжелые частицы оседают быстрее. Данный способ включает две операции: а) отбор представительной пробы частиц летучей золы; б) диспергирование золы в жидкой или газообразной неподвижной среде. В зависимости от измеряемой величины существует несколько модификаций данного способа. Например, скорость гравитационного оседания частиц летучей золы определяют с помощью номограмм по массе дисперсной фазы, выпадающей на чашечку весов из столба суспензии и накопленной к заданным моментам времени. При электрофотоседиментрии скорость гравитационного оседания частиц летучей золы определяют с помощью калибровочной кривой по зависимости интенсивности пучка света, проходящего на заданном уровне столба суспензии по мере осаждения дисперсной фазы.

При применении выше перечисленных способов для определения скорости гравитационного оседания частиц летучей золы в атмосферном воздухе возникает ряд проблем. Во-первых, этими способами определяется скорость перемещения частиц за счет сил гравитации в неподвижной среде. В атмосфере, когда воздушные массы находятся в непрерывном движении, на скорость оседания влияют еще и аэродинамические свойства частиц. Во-вторых, скорость гравитационного оседания зависит от дисперсного состава пыли. А дисперсный состав уловленной пыли и пыли, содержащейся в атмосферном воздухе, могут сильно отличаться [3]. И, в-третьих, из-за сравнительно малых концентраций пыли в атмосферном воздухе время пробоотбора составляет не менее нескольких суток.

Ко второй группе относятся некоторые аэродинамические способы определения скорости гравитационного оседания частиц летучей золы, позволяющие проводить измерения непосредственно в пылегазовом потоке, то есть в воздушной среде. Эти способы также основаны на седиментометрическом принципе: разделение пылегазового потока на фракции с различными массами происходит за счет гравитационных или инерционных, чаще центробежных сил (для тонкодисперсной пыли с размерами частиц не более нескольких мкм). На этом принципе основано действие ротационных анализаторов, циклонных и струйных сепараторов. Однако, эти способы мало пригодны для измерения скорости гравитационного оседания непосредственно в атмосферном воздухе, так как их используют при достаточно высоких концентрациях пыли в потоке. Кроме того, аэродинамические свойства частиц, движущихся в турбулентной атмосфере и в пылегазовом потоке, могут сильно отличаться.

Таким образом, из анализа известных способов определения скорости гравитационного оседания частиц выбросов промышленных предприятий следует, что не существует надежного способа определения этой величины для частиц, движущихся в атмосферном воздухе.

Такую возможность дает использование мхов-биомониторов, которые аккумулируют содержащиеся в атмосферном воздухе частицы. В этом случае отсутствует искажение аэродинамических свойств частиц, а время экспозиции существенно возрастает и в зависимости от длины прироста используемого в исследованиях мха составляет от 2-3 до 10-15 лет [4].

Данная работа посвящена определению скорости гравитационного оседания частиц летучей золы промышленных предприятий непосредственно в приземном слое атмосферы с помощью метода мхов-биомониторов и математического моделирования, основанного на решении диффузионно-конвективного уравнения переноса загрязняющей примеси в приземном слое атмосферы (см. доклад «Определение коэффициента вертикальной диффузии при помощи метода мхов-биомониторов и математического моделирования»). Решение уравнения переноса для приземного слоя атмосферы имеет вид [5]:

$$q(x) = \theta_1 x^{\theta_2} \exp\left(-\frac{\theta_3}{x}\right) + q_{\phi}, \quad (1)$$

где  $q_{\phi}$  – фоновое (природное) содержание химического элемента во мхах, отобранных на территориях, где отсутствует техногенное загрязнение;

$x$  – расстояние от точки пробоотбора мхов до источника загрязнения;

$\theta_1, \theta_2, \theta_3$  – параметры пространственного распределения концентраций химических элементов, содержащихся во мхах.

Анализ литературы по переносу загрязняющей примеси в приземном слое атмосферы показал, что при расчете разовых концентраций используются следующие выражения для параметров  $\theta_2, \theta_3$  [6]:

$$\theta_2 = -\left[\frac{3}{2} + \frac{V_g}{k_1}(1+n)\right]; \quad \theta_3 = \frac{u_1 H^{1+n}}{(1+n)^2 k_1}, \quad (2)$$

где  $V_g$  – скорость гравитационного оседания частиц летучей золы выбросов промышленных предприятий;

$k_1$  – коэффициент пропорциональности вертикальной диффузии;

$n$  – параметр, характеризующий изменение скорости ветра с высотой,  $n=0,1 \dots 0,25$ ;

$u_1$  – скорость ветра, измеряемая на высоте 1 м от поверхности земли;

$H$  – высота трубы источника загрязнения.

Используя формулы (2) как систему двух уравнений, можно получить следующее выражение для скорости гравитационного оседания частиц летучей золы выбросов промышленных предприятий:

$$V_g = -\frac{(\theta_2 + \frac{3}{2})u_1 H^{1+n}}{(1+n)^3 \theta_3} \quad (3)$$

Параметры  $\theta_2, \theta_3$ , зависящие от состояния атмосферы, свойств загрязняющей примеси и высоты промышленного предприятия, могут быть найдены путем аппроксимации измеренных концентраций химических элементов во мхах, отобранных на разных расстояниях  $x$  от источника загрязнения, зависимостью вида (1) с помощью метода наименьших квадратов (МНК). Если в формулу (3) подставить среднюю скорость ветра  $\langle u_1 \rangle$ , рассчитанную за период экспозиции (в нашем случае за 2-3 года), то данное выражение можно использовать для определения скорости гравитационного оседания частиц летучей золы выбросов промышленного предприятия.

Таблица 1. Значения  $\theta_2, \theta_3$  и скорость гравитационного оседания  $V_g$  при  $n=0,2$ ;

$\langle u_1 \rangle = 5 \text{ м/с}$ .

Элемент	$-\theta_2$	$\theta_3$	$V_g, \text{ см/с}$
Ba	1,98	8	3,4
Hf	2,3	5,9	7,8
Eu	2,7	5	13,8
Fe	3,7	10,4	12,1
Yb	3,18	8	12,1
Co	3,26	8	12,6
La	2,65	8	8,3
Lu	2,64	8	8,2
As	3,11	8	11,6
Nd	3,24	8	12,5
Rb	2,2	6,58	6,1
Sm	3,7	8	15,8
Sc	3,15	9,24	10,3

Sr	3,06	8	11,2
Sb	3,14	8	11,8
Th	3,01	8,57	10,1
U	2,58	7,13	8,7
Cr	3,05	8	11,1
Cs	2,83	8	9,6
Ce	2,37	6,5	7,7
Zn	2,77	8	9,1

Для применения данного способа определения скорости гравитационного оседания частиц летучей золы в приземном слое атмосферы использованы образцы эпифитного мха *Pylaisia polyantha* (Hedw.) B.S.G., отобранные в заданном направлении от ТЭЦ-5 г. Новосибирска на разных расстояниях от 1 до 5 км. Методика проведения и обработки результатов эксперимента, в том числе карта пробоотбора, приведена в докладе «Определение коэффициента вертикальной диффузии при помощи метода мхов-биомониторов и математического моделирования».

В таблице 1 приведены значения параметров  $\theta_2$ ,  $\theta_3$ , найденные с помощью метода наименьших квадратов, а также скорости гравитационного оседания частиц летучей золы; расчет проведен при  $n=0,2$  и средней скорости ветра  $\langle u_1 \rangle = 5 \text{ м/с}$ .

Следует отметить, что значения скорости гравитационного оседания, определенные в данном исследовании с помощью мхов-биомониторов, не противоречат результатам определения этой величины другими способами [3].

Выводы:

Не существует надежного способа определения скорости гравитационного оседания частиц летучей золы выбросов промышленных предприятий непосредственно в приземном слое атмосферы.

Для определения скорости гравитационного оседания частиц летучей золы непосредственно в атмосферном воздухе можно применять метод мхов-биомониторов.

Использование мхов-биомониторов дает возможность проведения оценок и прогнозирования усредненных за длительные промежутки времени уровней загрязнения приземного слоя атмосферы тяжелыми металлами и другими токсичными элементами. Время усреднения определяется длиной прироста используемого в исследовании мха и может составлять от 2-3 до 10-15 лет.

#### Список литературы

1. Беспалов В.Г. Питание и рак. Диетическая профилактика онкологических заболеваний. - М., 2008. - 176 с.
2. Коузов П.А., Скрыбина Л.Я.. Методы определения физико-химических свойств промышленных пылей. Л.: Химия. 1983. – 131 с.
3. Коузов П.А. основы анализа дисперсионного состава промышленных пылей и измельченных материалов. – 3-е изд. Перераб. – Л.: Химия, 1987 – 264 с.
4. Рыжакова Н.К., Борисенко А.Л., Меркулов В.Г., Рогова Н.С. Контроль состояния атмосферы с помощью мхов-биоиндикаторов //Оптика атмосферы и океана, 2009 – т. 22, – №1. с. 101 – 104.
5. Гусев Н. Г., Беляев В. А. Радиоактивные выбросы в биосфере: справочник— 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергоатомиздат, 1991. — 256 с.
6. Берлянд М.Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. - 272 с.

#### Саманные дома как образец экологичного строительства

**Прунскас В.В., Федюк Р.С.**

Дальневосточный федеральный университет, Россия, г. Владивосток  
[roman44@mail.ru](mailto:roman44@mail.ru)

Глина - прекрасный материал для строительства домов; причём домов больших, качественных, тёплых, удобных для проживания. В Европе дома из глины - саманные дома - стоят

столетиями. И такие дома строились не только в Европе; Афганистан - страна, где саманный дом - традиция.

Кто сомневается в крепости такого дома - отбросьте сомнения: участники афганской войны вспоминают, что попадание из танка прямой наводкой в стену такого дома не разрушало его, а просто оставляло след. Саманный дом крепок и будет стоять столетия, если соблюсти технологию его строительства.

Саман - это не глина. Саман - это композитный материал, состоящий из смеси земли, воды, соломы, глины и песка. Саман при строительстве укладывается вручную, поэтому есть возможность вылепить дом любой формы. Перегородки дома также лепятся сразу же. В саманном доме окна и дверные проёмы могут быть любой формы.

В состав материала входят каолинит, свободная алюмокремневая кислота в виде тонких пластинок и чешуек и серицит - разновидность мусковита. В глине встречаются минералы с промежуточными свойствами между серицитом и каолинитом - гидрослюды.

Второстепенными минералами глины являются: кварц в виде мельчайших зёрен, иногда в весьма большом количестве, лимонит в коллоидальном состоянии или в виде мелких зёрен, пирит, рутил, турмалин, углистые вещества, гипс, известковый шпат, конкреции фосфоритов, ванадиевые минералы.

Глины образуются путём выветривания изверженных и метаморфических горных пород. Их химический состав показывает генетическое родство с главнейшими породообразующими минералами - полевыми шпатами.

При переносе глины водами рек, ледниками или морскими течениями, они смешиваются с кварцевым песком или кварцевой пылью, с карбонатными породами, иногда с вулканическим материалом.

Когда к глине примешаны кварцевый песок и кварцевая пыль в значительном количестве (свыше 40%), её называют суглинком; суглинок ледникового происхождения называется валунным [1].

Когда к глине в значительном количестве примешаны карбонатные породы, её называют глинистым мергелем. Глины морского дна, смешанные с организмами планктона, носят название ила.

Глина находит применение в строительном деле и в технических производствах. Из технических свойств глины особенно важны: пластичность - способность в увлажнённом виде принимать и сохранять придаваемую ей форму после высыхания; способность отвердевать при удалении кристаллизационной воды после обжига при надлежащей температуре.

Сухая глина - жирна на ощупь, легко растирается в порошок, липнет к языку, жадно поглощает влагу.

В зависимости от примеси окисей марганца, железа и органических веществ глины различно окрашены. Примеси окислов железа и углекальциевой соли уменьшают огнеупорность глины.

В зависимости от количества песка и углекислого кальция глина подразделяется на жирную и тощую глину. Первые - жирны на ощупь, жадно поглощают воду, причём, увеличиваются в объёме до двух раз; при просушке, увлажнённая предварительно глина сильно уменьшается в объёме и растрескивается. Тощие глины на ощупь - не жирны, при растирании между пальцами ощущается примесь песка, с водой дают незначительное увеличение объёма, тесто мало пластично, при высыхании незначительно изменяются в объёме и не трескаются [2].

И по стоимости, и по времени, и по расходу материала на штукатурные и шпаклевочные операции приходится наибольшая доля во всех работах, а стоимость может достигать трети от стоимости внутренней отделки. Даже в новых зданиях, не говоря уж о домах типовой застройки, допуски кривизны стен, полов и углов сравнительно велики. То есть качественно наклеить обои или положить плитку без выравнивания стен не удастся. А ведь чем больше видов работ, тем дороже стоимость ремонта.

Большинство строительных и ремонтных фирм могут предложить подробно расписанный план проведения работ, разработанный с учетом уровня отделки. Градации у каждой фирмы свои, но, как правило, выделяются несколько основных уровней. Чаще всего это простая, улучшенная (снятие старых обоев и краски вплоть до бетона, выравнивание стен) и высококачественная отделка.

Чтобы узнать, достаточно ли в почве глины, сделайте из почвы пасту, возьмите кусочек пальцами и сожмите его. Если пальцы хоть немного слипаются, когда вы пробуете их



разъединить, в почве есть глина. Сделайте мокрый шар размером с шар для гольфа и расплющите его на ладони. Затем поверните руку ладонью вниз, открывайте и закрывайте её. Если процент глины высокий, вы сможете открыть ладонь минимум раз пять прежде чем шар упадёт, а часть глины останется на ладони - рука будет в земле.

Разомните образец как пластилин. Раскатайте стержень толщиной с карандаш, оберните его вокруг пальца. Чем больше глины - тем сильнее он изогнётся не трескаясь. Сделайте совсем мокрый шарик, сдавите его в кулаке, оставив небольшую щель между двумя пальцами. Если глины много - выдавится лента мокрой глины, если нет - вы выдавите воду.

Сделайте мокрый шар размером с яйцо и расплющите его. Похлопайте, пока на поверхности не появится вода. Глина сохраняет блеск, когда ладонь открыта, или тускнеет по мере впитывания воды.

Глина слипается и затвердевает при засыхании. Если сухая почва легко распадается в руках - скорее всего в ней достаточно глины. Сухие глинистые почвы очень тяжело копать, они разваливаются на куски, которые невозможно раздробить в руках. Но при размачивании глина всегда размягчается.

Глина часто имеет заметный цвет - красный, охра, сине-серый и т.п. Она может быть разных цветов. Большинство глин водонепроницаемы. Хороши для поиска места, где вода выходит на поверхность - у родников, например. Указатели - водяной кресс, осоки, мята и некоторые виды ивы. Болотистая лесистая местность тоже может быть богата глиной. Трещины и расщелины на земле в сухую погоду - указатели глины. Проскальзывание колёс - указатель залежей глины. Куски глины иногда выглядят как гравий - полейте их водой: если получилась клейкая смесь - перед вами глина.

Песок более мелкий чем грубый сахар делает саман не очень крепким, поэтому его можно оставить для структурной работы над тонкими деталями. Чтобы сэкономить на песке, для традиционного английского самана использовали крошку сланца, но она обрабатывалась при смешивании копытами, а не ступнями ног. Иногда, если есть сложности с песком, можно использовать гравий.

Саман - композитный материал, состоящий из смеси земли, воды, соломы, глины и песка. Для хорошего результата нужно хорошо перемешать смесь. В большинстве случаев глина (или глинистая почва) должна быть сначала тщательно замочена, прежде чем добавлять в неё песок и солому. Сухая глинистая почва может быть твёрдой и комковатой, с ней сложно работать.

Для идеальной смеси важна пропорция глины и песка. Нужно достаточно глины, чтобы сделать пластичную, клейкую смесь, но не слишком много, чтобы смесь не сжималась слишком сильно и не трескалась при высыхании. В результате смесь - саман - обычно содержит всего от 5 до 25% глины.

Чтобы определить подходящую смесь, смешайте глину и песок в разных пропорциях: 3:1, 2:1, 1:1, 2:3, 1:2, 1:3. После перемешивания добавьте воды, чтобы образцы слипались, когда вы сжимаете их ладонями. Они должны быть относительно сухими - суше корки пирога. Образец не должен ломаться - он не должен быть влажным или рассыпчатым. При падении с высоты в метр на мягкую землю шарик (размером со снежок) должен сохранить свою форму. Если он рассыпался - слишком много песка. Если расплющился - слишком много глины.

Для сравнения полезно сделать несколько тестовых кирпичей, высушить их и посмотреть, как они трескаются, крошатся и ломаются. Сделайте для этих кирпичей замесы без соломы. Полное высыхание кирпичей может занять несколько дней. Потрескавшаяся поверхность указывает на слишком большое количество глины. При царапании гвоздём не должно оставаться глубоких борозд. Сделайте один кирпич с соломой и попробуйте после высыхания сломать его, скручивая кирпич: хорошую смесь таким способом сломать почти невозможно.

Смешивать саман можно при помощи куска брезента (топча смесь и приподнимая углы брезента), или в специальной яме, или при помощи трактора или бетономешалки. Бетономешалки, правда, не смешивают солому. Если вы пользуетесь бетономешалкой - положите в смесь песка, глины и воды пару 10-кг камней, чтобы они крутились вместе с саманом. Камни, крутясь, будут разбивать глину и вмуровывать в неё песок. Солому можно домешать в смесь, вылив её из мешалки, ногами.

Если смесь прилипает к ногам или брезенту - добавьте песка. Если саман распадается - добавьте глины и/или воды. Или в смеси слишком много соломы. Мокрые куски самана рвутся - добавьте соломы. Или просто смесь слишком влажная. Тестовые кирпичи трескаются при высыхании - добавьте песка. Тестовые кирпичи при высыхании мягкие и рассыпчатые - добавьте

глины. Тестовые кирпичи легко ломаются - добавьте соломы, лучше длинной. Солома должны быть сухой.

Солома облегчает саман и добавляет изоляцию, удерживая воздух в полых стеблях. Лучшая для самана солома должна иметь прочные волокна и быть длинной. В земляной стене солома не гниет - она мумифицируется в стене.

Прекрасный саман получается из соломы овса, ржи, озимой пшеницы. Ячменная солома тоже подойдет. Озимая солома наилучшая. Избегайте весенней пшеницы. Рисовую солому хорошо использовать с пшеницей 1 к 1. Ржаная трава хуже т.к. саман к ним не прилипает. Другие типы соломы, которые нужно избегать - люцерна, конопля, пшено, гречиха, соя, сорго, лён и кукуруза.

Соломы обычно занимает 10-15% смеси при условии, что она останется той же плотности что и в кипе. Готовьте материалы с запасом! Избыток пригодится для сидений, подмосток и т.п.

Необходимые материалы:

- для фундамента: камни, кирпичи, урбанит (бетонные куски разбитых плит и тротуаров - можно найти бесплатно), гравий;

- для саманных стен: грубая песчаная почва или песок, глинистая почва, солома, вода;

- для крыши, перекрытий, проёмов: пиломатериалы, столбы и доски.

- а также: стёкла для окон, крыша, изоляция, гвозди, шпагат, трубы, провода, розетки.

Стекло для встроеного окна должно быть листовым, закалённым, толщиной 4-6 мм, или автомобильным стеклом. Не используйте тонкое гнутое стекло, если у него нет рамы. Стекло может быть и целым, и разбитым, любой формы - оно встраивается в саман. Окна с рамами могут быть очень полезны, можно использовать и старые. Состояние рам не очень важно - их частично можно вмуровать в саман.

Саман - один из самых дешёвых строительных материалов, которые можно вообразить. Зачастую хватает той земли, что выкапывается из ямы под фундамент. При наличии изобретательности и предусмотрительности стоимость остальных компонентов (дверей, окон, полов и так далее) может быть существенно снижена. Общие затраты зависят от размера, дизайна, вашего творчества и организованности и от того, насколько вы готовы заплатить другим за строительство дома. Кроме того, мы платим кредитным учреждениям за заём, а потом строим с их ограничениями. Поскольку здесь вы сам себе подрядчик, вы можете использовать собственные материалы; продвигаясь медленно и аккуратно, можно построить дом за одну десятую той стоимости, по которой они продаются.

#### Список литературы

1. Минке Г. Глинобетон и его применение. – Калининград: ФГУИПП «Янтарный сказ», 2004. - 232 с
2. Fathy, H. Natural Energy and Vernacular Architecture. Chicago /London, 1986

#### Биоиндикация маркеров производства ядерно-топливного цикла, на примере Сибирского химического комбината

*Рогова Н.С., Рыжакова Н.К., Борисенко А.Л. \*, Меркулов В.Г.*

*Томский политехнический университет, Россия, г. Томск*

*\*Томский государственный университет, Россия, г. Томск*

Масштабы строительства и прогнозы развития атомных электростанций, теплоэлектроцентралей и станций теплоснабжения во многих странах свидетельствуют о возрастающей, а для некоторых стран и решающей роли ядерной энергетики в электроснабжении и выработке тепла [1]. В соответствии с нормативной документацией при контроле за выбросами продуктов ядерно-топливных производств измеряют только содержание радионуклидов в почве, донных отложениях, природных водах и биоте [2]. В то же время очень опасными могут быть газоаэрозольные выбросы, содержащие токсичные тяжелые металлы. Системы очистки газоаэрозольных отходов на таких предприятиях многоступенчаты, сопровождаются дозиметрическим контролем. Но выбросы из вентиляционных труб смешиваются с большими объемами воздуха и рассеиваются на большой площади, следовательно, концентрации загрязняющих веществ малы. В данном случае традиционные методы контроля атмосферного воздуха, основанные на анализе фильтров, через которые прокачивается воздух в течение непродолжительного времени – от нескольких часов до нескольких суток – непригоден.

В настоящее время для определения содержания большого количества химических элементов и металлов в атмосфере активно развиваются биофизические методы наблюдения. В качестве депонирующих загрязнения объектов чаще всего используют мхи и лишайники, которые обладают хорошими аккумуляционными свойствами и широко распространены в природе [3, 4]. В Европе на протяжении последних 30 лет используется метод мхов-биоиндикаторов, который позволяет выявлять наиболее загрязненные территории, отслеживать динамику загрязнения атмосферного воздуха. Каждые 5 лет под эгидой комиссии ООН по трансграничному переносу атмосферных выпадений в Европе (UNECE ICP Vegetation) издается Европейский атлас атмосферных выпадений тяжелых металлов [5-7]. Метод контроля загрязнения атмосферы с помощью мхов-биоиндикаторов основан на сравнении концентраций химических элементов во мхах, отобранных на исследуемой территории, с фоновыми значениями, что дает возможность избежать определения предельно допустимых концентраций, что является непростой и нерешенной до конца задачей [8, 9]. Метод контроля загрязнения атмосферного воздуха с помощью мхов-биоиндикаторов позволяет оценивать даже незначительное содержание химических элементов в воздухе, так как время экспозиции в зависимости от используемого прироста мхов составляет от нескольких до пятнадцати лет [10].

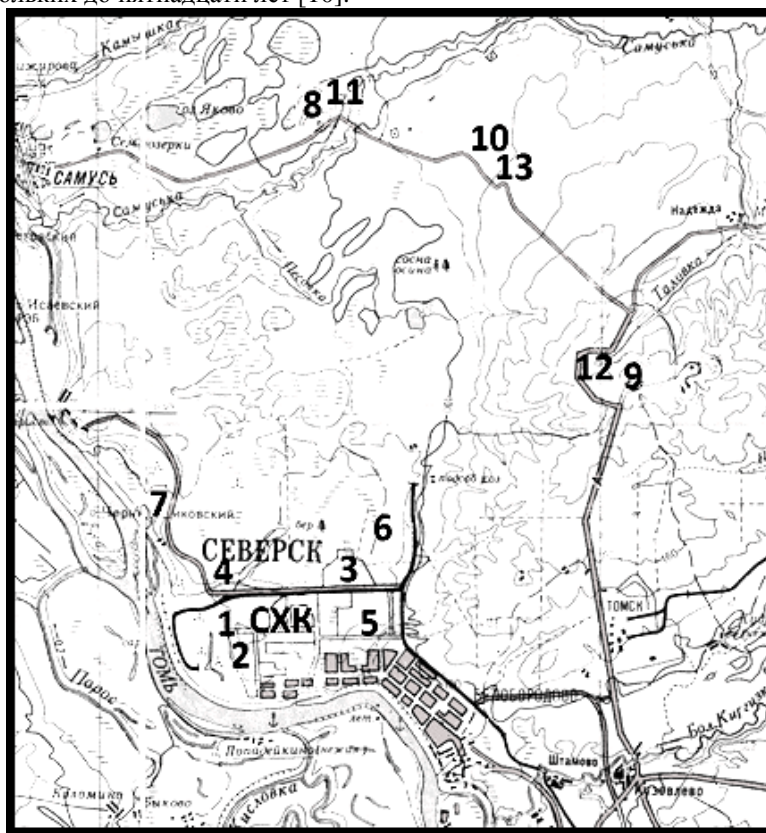


Рис. 1 Карта пробоотбора (пробы 1-10 отобраны в 2011г., 11-13 – в 2005 г.)

Целью данного исследования является изучение загрязнения атмосферного воздуха предприятиями ядерно-топливного цикла с помощью метода мхов-биоиндикаторов на примере Сибирского химического комбината. Данный комплекс предприятий ядерно-топливного цикла расположен в непосредственной близости от г. Томска. Основу комбината составляют заводы по обращению с ядерными материалами: завод по разделению изотопов; сублиматный завод; радиохимический завод; химико-металлургический завод и теплоэлектроцентраль, которая в настоящее время реконструируется; реакторный завод, работу которого остановили в 2008 г. Таким образом, в зоне действия данного комплекса кроме ряда редкоземельных металлов следует оценивать наличие продуктов реакции деления (Ba, Rb, Cs, Sr, Co), а также U, Th. Образцы эпифитного мха *Pylaisia polyantha*, произрастающего на коре осин и тополей, отобрали на разных расстояниях от СХК (рис.1). Трехлетний прирост мха отбирали в 2005 (3 образца) и 2011 (10 образцов) гг. на высоте 1,5-2 м. Фоновые пробы мха отобраны также в 2005 и 2011 гг. в

Сибирском регионе на большом расстоянии от промышленных центров. Отобранные образцы мха предварительно очищали от земли и различных примесей, затем производили промывку дистиллированной водой, далее высушивали до постоянного веса при температуре 80°-100°. После высушивания образцы подвергали процессу гомогенизации и прессовали по 2 параллельные пробы в таблетки массой 0,2-0,3 г и диаметром 1 см.

Содержание химических элементов определяли с помощью нейтронно-активационного анализа на реакторе ИРТ-Т ТПУ г. Томск. В вертикальном экспериментальном канале реактора пробы облучали в потоке тепловых нейтронов плотностью  $5,5 \cdot 10^{13}$  нейтрон/см<sup>2</sup>\*с в течение пяти часов. Для определения содержания химических элементов в пробах мха использовали относительный метод, когда исследуемый образец и образец сравнения (эталон) с известным содержанием определяемых элементов, облучают одновременно. В качестве образцов сравнения использованы стандарты МАГАТЭ –FFA (пыль летучая) и Табак-5. Измерение удельных активностей химических элементов в пробах проводили с помощью гамма-спектрометра на базе особо чистого германия и спектрометрической системы Genie 2000 (Cauberga, USA); время измерения составляло 300-900 сек. В каждой пробе определено содержание 27 химических элементов по долгоживущим изотопам: Sm, Mo, Ce, Ca, Lu, U, Tb, Th, Cr, Yb, Hf, Ba, Sr, Nd, Br, As, Sb, Cs, Rb, Fe, Zn, Sc, Co, Na, Eu, K, La; погрешность измерений составила 10-15 %.

Для анализа результатов измерения проведено усреднение концентраций химических элементов по образцам, отобраным на сравнительно небольших расстояниях 0,5-4 км (точки 1-7), по образцам, отобраным на расстояниях 14-15 км (точки 8-10), и по образцам, отобраным примерно в тех же точках, что и образцы 8-10, но в 2005 г (точки 11-13) (рис. 1 и таб.1).

Таблица 1. Усредненные значения концентраций, мкг/г

точки усреднения элем-т	1-7 (2011г)	8-10 (2011г)	11-13 (2005г)	фон	точки усреднения элем-т	1-7 (2011г)	8-10 (2011г)	11-13 (2005г)	фон
Sm	0,69	0,29	0,38	0,46	Br	8,7	9,6	9,7	7,1
Mo	0,40	0,23	0,14	0,07	As	0,65	0,33	0,49	0,28
Ce	13,5	4,6	6,4	3,2	Sb	0,54	0,27	0,26	0,13
Ca	20148	30370	20695	20961	Cs	0,89	0,35	0,69	0,28
Lu	0,094	0,039	0,064	0,046	Sc	2,1	0,8	1,3	0,7
U	1,43	0,37	0,48	0,28	Rb	15	7	15	8
Tb	0,07	0,03	0,04	0,032	Fe	4155	1854	2430	1563
Th	0,83	0,43	0,67	0,33	Zn	187	153	239	178
Cr	9,5	8,1	6,4	4,8	Co	5,7	2,9	3,5	1,8
Yb	0,55	0,27	0,38	0,04	Na	584	280	496	408
Hf	0,82	0,47	0,61	0,12	Eu	0,18	0,13	0,17	0,11
Ba	381	536	384	320	K	3057	1626	2344	3498
Sr	174	191	288	237	La	2,2	1,3	1,4	1,4
Nd	0,65	0,31	0,38	0,55					

Из полученных данных по содержанию химических элементов в образцах эпифитного мха *Ryalsia polyantha* сделаны следующие выводы:

1) Концентрации большинства элементов уменьшаются с расстоянием от СХК; исключением являются Ca, Ba, Sr, Br, концентрации которых сравнимы с фоновыми значениями;

2) Концентрации U, Th, Cs, Rb, Co в пробах мха, отобранных в 2005 г, в 1,5-2 раза выше, чем в пробах, отобранных в 2011 г. Уменьшение концентраций данных элементов со временем объясняется сокращением производственных мощностей СХК за 2002-2011 гг., в том числе остановкой реакторного завода в 2008г.

Необходимо отметить, что полученные результаты являются достаточно очевидными. Однако, это свидетельствует о достоверности и надежности определения химических элементов в

атмосферном воздухе с помощью эпифитных мхов и доказывает возможность использования данных видов мхов для контроля выбросов предприятий ядерно-топливного цикла.

#### Список литературы

1. Макдональд А. Ядерная энергетика: положение дел в мире. Взгляд на производство электроэнергии на АЭС во всем мире и его будущие перспективы. Бюлл. МАГАТЭ 49-2. Март, 2008. С. 45-48.
2. Санитарные правила проектирования и эксплуатации атомных станций. СП АС-83/93. 2003г. № 69.
3. Рогова Н.С., Рыжакова Н.К., Борисенко А.Л., Меркулов В.Г. Изучение аккумуляционных свойств мхов, используемых при мониторинге загрязнения атмосферы // Оптика атмосферы и океана. – 2011. – Т. 24. – № 1. – С. 79-83.
4. Карташев А.Г. Биоиндикация экологического состояния окружающей среды. Томск: Изд-во Водолей, 1999. - 192 с.
5. European Atlas: Spatial and temporal trends in heavy metal accumulation in mosses in Europe (1990-2005), UNECE ICP Vegetation. Centre for Ecology & Hydrology, University of Wales Bangor, United Kingdom, July 2008.
6. Buse A., Norris D., Harmens H., Büker P., Ashenden T., Mills G. Heavy metals in European mosses: 2000/2001 survey, UNECE ICP Vegetation Coordination Centre, CEH Bangor, UK, 2003. – 45 p.
7. Nikodemus O., Brūmelis G., Tabors G., Lapina L., Pope S. Monitoring of air pollution in Latvia between 1990 and 2000 using moss // Journal of Atmospheric Chemistry. – 2004. – P. 521-531.
8. Lead W.A., Steinnes E., Jones K.C. Atmospheric deposition of PCBs to moss (*Hylocomium splendens*) in Norway between 1997 and 1990 // Environmental Science and Technology. – 1996. – V. 30. – P. 524-530.
9. Vačeva K., Stafilov T., Šajin R., Tănăselia C. Moss biomonitoring of air pollution with heavy metals in the vicinity of a ferronickel smelter plant // Journal of Environmental Science and Health, Part A. – 2012. – V. 47. – P. 645-656.
10. Способ оценки загрязнения атмосферного воздуха тяжелыми металлами и другими химическими элементами с помощью эпифитных мхов: пат.2463584 Рос. Федерация. № 2011117784/28; заявл. 03.05.2011; опубл. 10.10.2012, Бюл. №28.

#### Радиоэкологический паспорт промышленных объектов города Юрга

*Семенов А.А., Орлова К.Н.*

*Юргинский технологический институт (филиал) Томского политехнического университета, г. Юрга*

*E-mail: lestaks@rambler.ru*

По данным Международной комиссии по радиологической защите, в большинстве стран вклад техногенных источников, которые внесли свой вклад суммарную дозу в результате выбросов на предприятиях атомного цикла и атомных электростанциях, или в результате испытаний ядерного оружия, не превышает сотых долей процентов от общего годового облучения человека. Облучение человека в процессе его жизнедеятельности происходит как от естественных источников радиации, так и в процессе рабочей деятельности на обычных промышленных предприятиях.

При проведении геоэкологического радиационного мониторинга на территории города Юрги наблюдалось повышение максимальной дозы облучения [2]. В результате чего был сделан вывод о необходимости более детального исследования территории прилегающей к заводам.

Перед исследователями ставилась цель: определить вклад производственной деятельности промышленных объектов в годовую дозу облучения человека.

Для достижения поставленной цели решались задачи:

- [1] Определить мощность дозы гамма-излучения на территории, прилегающей к промышленным объектам города Юрги, и на территории, свободной от промышленных объектов на расстоянии 1 км.
- [2] Рассчитать годовую дозу облучения человека
- [3] Произвести оценку дозы и мощности дозы гамма-излучения в различных районах города Юрги
- [4] Рассчитать вклад промышленных объектов в общее облучение человека.

[5] Проанализировать полученные данные, установить предположительные причины повышения или понижения фона в тех или иных местах.

В ходе работы исследовалась мощность дозы гамма-излучения. Гамма-излучение - это коротковолновое излучение, с энергией  $E_\gamma = 0,01-10$  МэВ. . Прибор, используемый для определения мощности дозы гамма-излучения дозиметр «Грач» — измеряет дозу или мощность дозы гамма-излучения, полученную прибором (и тем, кто им пользуется) за некоторый промежуток времени.

Детектором дозиметра «Грач», служащим для преобразования явлений, вызываемых ионизирующими излучениями в электрический или другой сигнал, легко доступный для измерения, является ионизационный счетчик, по типу счётчика Гейгера, определяющий чувствительность дозиметра в 20000 имп/мкЗв. Дозиметр гамма-излучения «Грач» имеет два измерительных канала: для измерения мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения и для измерения дозы с независимым перезапуском этих величин. Измерение происходит непрерывно с постоянным уточнением результата, причем статистическая погрешность высвечивается на дисплее, т.е. можно получить результат с необходимой статистической точностью. Измерения проводились при статистической погрешности не более 8%.

Проведение измерений дозиметрических характеристик производилось преимущественно в ясную погоду и на одинаковом расстоянии 1 м. от грунта, строго в горизонтальном положении. На карте-схеме города Юрги (рис. 1) пронумерованы точки, в которых производились измерения уровня гамма-излучения. Были выбраны районы с самыми крупными промышленными предприятиями и три жилых района города. Замеры производились по периметру каждого предприятия по три замера в каждой точке. В таблице 1 отражены полученные численные значения мощности дозы гамма-излучения с рассчитанной годовой дозой гамма-излучения.



Рис. 1. Карта-схема города Юрги

Таблица 1. Карточка регистрации мощности эквивалентной дозы гамма-излучения

Место измерения (номер точки на карте-схеме)	Дополнительная характеристика места измерения	Мощность дозы, Н, мкЗв/ч, среднее значение	Годовая доза облучения, мЗв
1	Химическая промышленность	0,11	0,93
2	Машиностроительная промышленность	0,14	1,23
3	Металлургическая промышленность	0,11	0,93
4	Пищевая промышленность	0,15	1,31
5,6,7	Жилой район	0,10	0,91

Согласно санитарным правилам СанПин 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)», утвержденным 1 сентября 2009 года вместо НРБ-99, максимальная мощность эффективной дозы гамма-излучения на рабочем месте - 2,5 мкЗв/ч. При проведении

обследований и оценке по показаниям дозиметра опасности облучения необходимо помнить, что последствия облучения определяются не мощностью дозы, а суммарной полученной дозой, т.е. мощностью дозы, умноженной на время, в течение которого облучается человек. Например, если мощность дозы составляет 0,11 мкЗв/ч, то облучение в течение года (8760 ч) создаст дозу ~1 мЗв – по СанПин 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)» предел, который не должен превышать при техногенном облучении населения. Небольшие превышения характерны для всех исследуемых заводов. Значения, превышающие норму 1 мЗв, определены для двух точек. Эта местность является близлежащей к машиностроительному предприятию, точнее к ТЭЦ и к металлургической промышленности.

Высокие значения можно объяснить используемым топливом в ТЭЦ, находящимися неподалеку шлаковыми насыпями. Для металлургической промышленности превышения характерны в основном для местности, где находятся хранилища для осаждения шлама.

**ВЫВОДЫ:**

1. Результаты исследования показывают несомненную актуальность проведения радиационного мониторинга промышленных предприятий.
2. Согласно оценке дозиметрических характеристик значения дозы гамма-излучения, превышающие норму характерны для территорий машиностроительной и металлургической промышленности.
3. Повышения фоновое значения годовой дозы гамма-излучения вероятнее всего обусловлены используемым топливом и расположением хранилищ отходов промышленности.
4. Вклад данных промышленных объектов в общую годовую дозу облучения оценивается  $\approx 0,17$  мЗв/год

Полученные результаты составляют радиоэкологический паспорт промышленных объектов города Юрга.

#### Список литературы

1. СанПиН 2.6.2523-09 «Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009» от 7 июля 2009 года, N 47: Зарегистрировано в МинЮсте РФ 14 августа 2009 года, N 14534. 2009.
2. Федеральный закон ФЗ «О радиационной безопасности населения» от 9 января 1996 года, N 3: Принят Государственной Думой 5 декабря 1995 года. 1996.
3. Орлова К.Н. Исследование уровня радиационной безопасности на территории города Юрги // Вестник Кузбасского государственного технического университета [Вестник КузГТУ] / Кузбасский государственный технический университет (КузГТУ) . — 2011. № 6. С. 35-37

#### Взаимодействие объектов железнодорожного транспорта с окружающей средой Серегина С.Ю.

*Инновационный Евразийский университет, Республика Казахстан, г. Павлодар*  
[swetik-90@inbox.ru](mailto:swetik-90@inbox.ru)

Согласно Концепции по переходу Республики Казахстан к «зеленой экономике», которая закладывает основы для глубоких системных преобразований с целью перехода к экономике новой формации посредством повышения благосостояния, качества жизни населения Казахстана и вхождения страны в число 30-ти наиболее развитых стран мира при минимизации нагрузки на окружающую среду и деградации природных ресурсов.

Ссылаясь на то, что одной из основных приоритетных задач по переходу к «зеленой экономике», стоящими перед страной, является повышение благополучия населения и качества окружающей среды через рентабельные пути смягчения давления на окружающую среду исходя из этого характер воздействия транспорта на окружающую среду определяется составом техногенных факторов, интенсивностью их воздействия, экологической весомостью воздействия на элементы природы [1].

Для оценки уровня воздействия объектов транспорта на экологическое состояние природы используют интегральные характеристики:

- абсолютные потери окружающей среды, выражаемые в конкретных единицах измерения состояния биосферозов (флоры, фауны, людей);
- компенсационные возможности экосистем, характеризующие их восстанавливаемость в естественном или искусственном режиме, создаваемом принудительно;
- опасность нарушения природного баланса, возникновение неожиданных потерь и локальных экологических сдвигов, которые могут вызвать экологический риск и кризисные

ситуации в окружающей природной среде;

- уровень экологических потерь, вызываемых воздействием объектов транспорта на окружающую среду.

Данные характеристики и позволяют определить экологическую безопасность в регионах расположения транспортных объектов.

Любое воздействие объектов транспорта на природу вызывает ответную реакцию, которая проявляется в следующих формах: адаптационной - с локальным или статическим смещением равновесия; восстанавливающейся или самовосстанавливающейся, характеризующейся полным возвратом экосистемы в исходное состояние; частично восстанавливающейся, когда экосистема восстанавливает только часть своих свойств и характеристик; невосстанавливаемой, когда в экосистеме образуются необратимые сдвиги от исходного ее состояния.

Успешное функционирование и развитие железнодорожного транспорта зависят от состояния природных комплексов и наличия природных ресурсов, развития инфраструктуры искусственной среды, социально-экономической среды общества. При этом с каждым из элементов системы железнодорожного транспорта имеются прямые и обратные связи, а также определенные ограничения по использованию природных комплексов, природных, трудовых и финансовых ресурсов.

Состояние окружающей среды при взаимодействии с объектами железнодорожного транспорта зависит от развития инфраструктуры по строительству железных дорог, производству подвижного состава, производственного оборудования и других устройств, интенсивности эксплуатации подвижного состава и других объектов на железных дорогах, результатов научных исследований и их внедрения на предприятиях и объектах отрасли [2].

Каждый элемент системы имеет прямые и обратные связи друг с другом. При развитии и функционировании объектов железнодорожного транспорта следует учитывать свойства природных комплексов - многосвязность, коммутативность (переместимость), аддитивность, инвариантность, устойчивость, многофакторную корреляцию.

Многосвязность выражается в разнохарактерном (физическом, химическом, биологическом, техногенном и антропогенном) воздействии транспорта на природу, которое может вызвать в ней трудно учитываемые изменения.

Аддитивность - это возможность многопараметрического сложения различных источников техногенного и антропогенного воздействий на природу, что может привести к непредсказуемым изменениям в природе.

Инвариантность является свойством экосистем сохранять стабильность в границах регламентированных техногенных и антропогенных воздействий.

Устойчивость - способность экосистем сохранять исходные параметры при естественном, техногенном, антропогенном воздействиях.

Многофакторная корреляция характеризует экосистемы с позиций их предопределенности к случайным и неслучайным событиям с аналитическими связями между ними.

Железнодорожный транспорт постоянно воздействует на природную среду. Уровень воздействия может лежать в допустимых равновесных и кризисных границах.

Воздействие объектов железнодорожного транспорта на природу обусловлено строительством дорог, производственно-хозяйственной деятельностью предприятий отрасли, эксплуатацией железных дорог и подвижного состава, сжиганием большого количества топлива, применением пестицидов на лесных полосах и др.

Загрязнения от объектов железнодорожного транспорта накладываются на фоновые загрязнения от хозяйственно-бытовой, культурной, производственной деятельности общества, от объектов теплоэнергетики, промышленности, сельскохозяйственной и других видов деятельности. Часто в районах станций и узлов, железных дорог фоновые загрязнения равны или превышают допустимые нормы.

Строительство и функционирование железных дорог требуют изъятия из природной среды земли, почв, недр, флоры, фауны, ландшафтов.

Объекты железнодорожного транспорта потребляют воду, воздух, топливно-энергетические, минеральные ресурсы. Так, для прокладки одного километра двух путного полотна требуется 4 км рельсов массой 300 т, до 4 000 деревянных или железобетонных шпал, тысячи тонн песка и щебня.

Строительство и функционирование железных дорог связано и с загрязнением природных комплексов выбросами, стоками, отходами, которые не должны нарушать равновесие в



экологических системах. Равновесие экосистемы характеризуется свойством сохранять устойчивое состояние в пределах регламентированных антропогенных изменений в окружающих транспортное предприятие природных комплексах [3].

Самоочищающаяся способность природной среды снижается из-за уничтожения и истощения природных комплексов. Линии железных дорог, прокладываемые на сложившихся путях миграции живых организмов, нарушают их развитие и даже приводят к гибели целых сообществ и видов.

Объекты железнодорожного транспорта потребляют большое количество различных видов топлива (угля, газа, дизельного топлива, бензина и др.), используемого для обеспечения производственных процессов, отопления и работы подвижного состава. Количество топлива, потребляемого подвижным составом, зависит от вида используемых энергетических установок, их мощности, режимов работы, технического состояния.

Факторы воздействия объектов железнодорожного транспорта на окружающую среду можно классифицировать по следующим признакам: механические (твердые отходы, механическое воздействие на почвы строительных, дорожных, путевых и других машин); физические (тепловые излучения, электрические поля, электромагнитные поля, шум, инфразвук, ультразвук, вибрация, радиация и др.); химические вещества и соединения (кислоты, щелочи, соли металлов, альдегиды, ароматические углеводороды, краски и растворители, органические кислоты и соединения, антисептики для шпал и др.), которые подразделяются на чрезвычайно опасные, высоко опасные, опасные и малоопасные; биологические (макро- и микроорганизмы, бактерии, вирусы, простейшие и их производные). Эти факторы могут действовать на природную среду долговременно, сравнительно недолго, кратковременно и много временно. Время действия факторов не всегда определяет размер вреда, наносимого природе. Например, взрывы, транспортные катастрофы происходят быстро, но ущерб от них может исчисляться миллиардами гривен и гибелью сотен людей.

Основными направлениями снижения величины загрязнений окружающей среды являются: рациональный выбор технологических процессов для производства готовой продукции и ее транспортирования; применение экологически чистого производственного оборудования и подвижного состава, своевременное их обслуживание и ремонт; использование средств защиты окружающей среды и поддержание их в исправном состоянии.

Для повышения экологической безопасности функционирующих объектов железнодорожного транспорта ужесточаются требования к обеспечению достоверности проектных решений как предприятия в целом, так и его подразделений; обеспечивается строгое выполнение работ по техническому обслуживанию и ремонту оборудования, транспортных, газовых и других видов магистралей, предупредительного и аварийно-восстановительного оборудования; совершенствуется структура сбора и обработки информации о функционировании производственных и транспортных систем; внедряются автоматизированные системы контроля технического состояния объектов и экологической обстановки; в процессе испытаний производственного и энергетического оборудования, а также строительных конструкций ужесточаются режимы нагрузок с целью выявления до критических дефектов.

#### Список литературы

1. Автомобильный транспорт Республики Казахстан ч. 1. 2008 г. /Агентство по статистике. - Астана, 2009.
2. Инициатива Астаны «Зеленый мост»: Партнерство стран Европы, Азии и Тихого океана по реализации «зеленого» роста», утвержденная шестой Конференцией министров по окружающей среде и развитию в Азиатско-Тихоокеанском регионе 2 октября 2010 года.
3. План мероприятий Правительства Республики Казахстан по реализации Концепции по переходу Республики Казахстан к «зеленой экономике».

#### **Мобильное устройство для прогрева грунта и дорожного покрытия при аварийно-ремонтных и восстановительных работах**

*Синицын А.А., Тюкин Н.Н., Ильичев Е.А.*

*Вологодский государственный университет, Россия, г. Вологда*

[nee-energo@yandex.ru](mailto:nee-energo@yandex.ru)

Поиск новых технологических решений и систем подготовки грунта при ремонтно-строительных и аварийных работах является важной задачей в нашей стране в связи с ее суровыми

природно-климатическими условиями. Повышенная механическая прочность мерзлых грунтов препятствует их разработке обычными техническими средствами, что вызывает необходимость предварительной подготовки таких грунтов. Применяют следующие основные методы подготовки грунта в зимних условиях: оттаивание с последующей разработкой талого грунта, предварительное механическое рыхление и разработка мерзлого грунта. Механизированные методы в настоящее время наиболее распространены, однако применение специальных средств рыхления или резания на отдельные куски в условиях сложного городского подземного хозяйства затруднено, а иногда - невозможно по техническим требованиям и соображениям безопасности. В городских условиях проблема разработки мерзлых грунтов возникает, в первую очередь, перед аварийными, коммунальными и энергоснабжающими службами и организациями. Большое число аварийных ситуаций в зимний период связано с разрывами трубопроводов различного назначения. Время восстановления работоспособности участка напрямую зависит от скорости вскрытия ремонтной бригадой поврежденного трубопровода. Еще одним важным аспектом поднятой выше проблемы является подготовка грунта перед строительством - задача, возникающая перед строительными организациями, ведущими работы в зимний период. Применение специальных средств рыхления или резания грунта не позволяет использовать полученную смесь без достаточного количества талого грунта для возведения насыпей, засыпки траншей и пазух котлованов из-за невозможности качественного уплотнения, поскольку приводит к просадкам грунта после оттаивания. В таких условиях применение альтернативных способов подготовки грунта при ремонтно-строительных и аварийных работах расширяет технические возможности организации и позволяет обеспечить эффективность проводимых работ. Эти задачи могут быть решены с помощью организации оттаивания грунта [1].

Оттаивание мерзлых грунтов по большинству показателей менее эффективно по сравнению с использованием механизированных методов. Но при небольших объемах работ, в стесненных условиях сложного городского подземного хозяйства, труднодоступных местах и в тех случаях, когда невозможно использовать более экономичные и менее энергоемкие способы прибегают к оттаиванию мерзлых грунтов. Существует большое количество способов отогрева грунта в зависимости от источника тепла (электроэнергии, пара, газа, мазута, кокса, горячих шлаков и пр.) и принципа действия. При этом сущность метода оттаивания заключается в том, что теплота, передаваемая в слой мерзлого грунта, растапливает лед в его порах и обращает грунт в талое состояние [2]. Существующие методы оттаивания имеют ограниченное применение вследствие высоких энергетических и временных затрат или неприемлемы из соображений безопасности при раскопке инженерных коммуникаций (газовых, электрических сетей). Так оттаивание мерзлого грунта с применением открытого огня и электрического поля ограничено при проведении некоторых видов работ, к примеру, отогрев площадки с замерзшими газопроводами необходимо производить только нагретым теплоносителем. В связи с этим возникает необходимость поиска наиболее эффективного, технически безопасного и экономически оправданного метода оттаивания мерзлого грунта [3].

Обобщая приведенные аргументы, можно заключить, что поставленная задача, а именно - создание энергоэффективной мобильной установки для быстрого оттаивания мерзлых грунтов при проведении ремонтно-строительных и аварийных работ, является актуальной.

Разрабатываемое устройство относится к теплоэнергетике и строительству и может быть использовано в качестве источника тепловой энергии для нагрева любых рабочих тел, обнаружения внутренних дефектов в рабочих телах тепловым методом неразрушающего контроля, при аварийных и ремонтно-строительных работах для обогрева, отогрева мерзлого грунта, бетона, дорожного покрытия и других строительных материалов. Устройство может применяться при энергетических и технических обследованиях различных строительных элементов зданий, сооружений, строений.

Выбор оптимального варианта установки. Обзор современного состояния технического уровня развития средств и методов оттаивания мерзлых грунтов показал большое их разнообразие. Конкурентная продукция представлена на рынке технических средств следующими устройствами: аппараты для прогрева почвы и бетона WACKER NEUSON, парогенераторы STEAM MATE, жидкотопливные инфракрасные нагреватели Master XL, термоэлектрические маты ТЕРМОМАТ и др.

На фиг.1 изображена принципиальная схема установки, состоящей из теплоизолированной снизу платформы 1, на которой размещен электрогенератор 2 и теплогенератор, включающий в себя теплоизоляционный корпус 3, вентиляторный блок 4, горелочное устройство 5, камеру

сгорания 6, воздушную решетку 7, систему регулирования мощности 8 и систему подачи газового топлива 9. От теплогенератора отходит поворотный патрубок 10, проходящий через круглый проем в платформе 1, на конце которого размещен завихритель 11. Электрогенератор 2 снабжен крышкой для заполнения жидким топливом 12, трубой отвода выхлопных газов 13 и патрубком подачи воздуха 14. Платформа 1 устанавливается на неровную поверхность земли при помощи меняющих высоту ног 15, при этом по всему периметру платформы до поверхности земли размещена защитная юбка 16. Для снабжения газовым топливом предусмотрен отдельно стоящий баллон 17. Для перемещения платформы 1 устроены рукоятки 18. Для защиты оборудования платформы 1 устроен съемный тент 19.

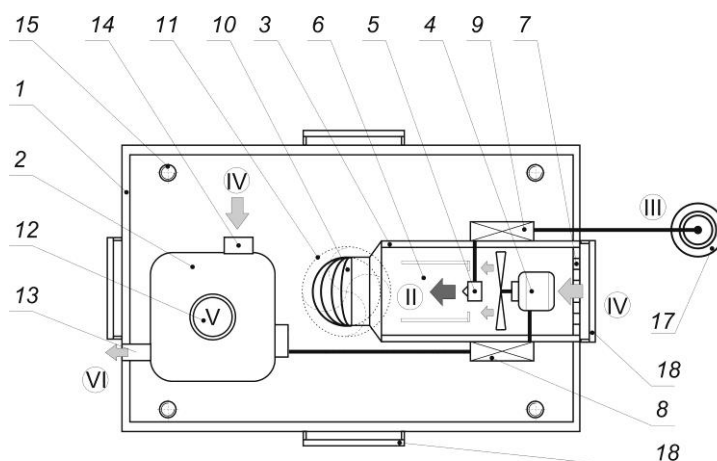


Рис. 1. Принципиальная схема устройства

Для создания горячего теплоносителя I, состоящего из дымовых газов II от сгорания газового топлива III и воздуха IV в электрогенераторе 2 предусмотрено сжигание жидкого топлива V с отводом выхлопных газов VI.

Устройство работает следующим образом. Платформу 1 переносят с помощью рукояток 18, устанавливают строго горизонтально с помощью ног 15 на поверхности земли в зоне прогрева F. Баллон 17 размещают на расстоянии не менее 1 метра от базовой части и соединяют с ней газовым резиновым или резино-полимерным шлангом (условно не показан), после чего открывают газовый редуктор баллона (условно не показан).

Заправка электрогенератора 2 осуществляется через крышку для заполнения жидким топливом 12. Запуск выполняется с помощью блока управления (условно не показан). За счет сгорания топливно-воздушной смеси, состоящей из жидкого топлива V и воздуха IV вырабатывается электрическая энергия, которая обеспечит бесперебойную работу теплогенератора. Образующиеся продукты сгорания удаляются через трубу отвода выхлопных газов 13.

После запуска электрогенератора и выхода его на стационарный режим производят включение теплогенератора и выбирают режим нагрева через систему регулирования мощности 8 и систему подачи газового топлива 9. Включается вентиляторный блок 4, нагнетающий воздух IV из окружающей среды через воздушную решетку 7 к горелочному устройству 5. Одновременно к нему через систему подачи газового топлива 9 из баллона 17 подается газовое топливо III, где смешивается с воздухом, образуя газо-воздушную смесь, которая горит в камере сгорания 6. При этом выделяются дымовые газы II, которые направляются вдоль камеры сгорания на выход из теплогенератора, смешиваются с воздухом IV, образуя горячий теплоноситель I.

Посредством поворотного патрубка 10 горячий теплоноситель I направляется под платформу 1, при этом на выходе расположен завихритель 11, в котором поток горячего теплоносителя I закручивается, тем самым создается циркуляционное движение среды в пространстве, ограниченном защитной юбкой 16. После выхода теплогенератора на стационарный режим контролируется производительность установки с помощью системы регулирования мощности 8.

Достоинством предложенного устройства является то, что, по сравнению с другими средствами нагрева, отогрева, обогрева рабочих тел, например, мерзлого грунта, бетона, дорожного покрытия, предложенное устройство работает автономно без подключения к системам энергоснабжения, не зависит от качества поверхности размещения установки (вплоть до 30%-ном

уклоне поверхности) и ее состояния (лед, вода, песок). При этом осуществляется быстрая скорость и большая глубина прогрева рабочего тела. Предложенное устройство мобильно и может обслуживаться бригадой в количестве двух человек.

Таким образом, предложенное устройство позволяет решить задачу нагрева, отогрева, обогрева рабочих тел (мерзлого грунта, бетона, дорожного покрытия) радиационно-конвективным способом при аварийных и ремонтно-строительных работах, повысить качество, надежность и эффективность устройств подобного класса, применяемых для нагрева любых рабочих тел, проводить энергетические и технические обследования различных строительных элементов зданий, сооружений, строений, проводить дефектоскопию рабочих тел.

Как показали расчетно-экспериментальные исследования устройства для конвективного оттаивания мерзлого песчаного грунта, проводимые кафедрой «Теплогазоснабжение и вентиляция» при ФГБОУ ВПО «Вологодский государственный технический университет», глубина оттаивания увеличивается по зависимостям, сходным с зависимостями, определяемыми аналитическими и численными расчетами по различным известным математическим моделям и экспериментальным данным. При этом конвективный способ нагрева позволяет в несколько раз быстрее осуществить оттаивание рабочих тел по сравнению с другими известными способами.

По таким показателям, как удельная мощность отогрева на 1 м<sup>2</sup> грунта, время оттаивания на глубину 0,5 м, затраты на оттаивание, выраженные в денежном эквиваленте - руб./ч\*м<sup>2</sup>, а также температуре нагрева, предлагаемая установка является более эффективной. Рассматривая такие показатели, как габариты и масса установки, более привлекательным с точки зрения перемещения и транспортировки является термомат, однако принимая в расчет его малую эффективность при оттаивании (порядка 30 час.), данные преимущества отодвигаются на второй план. В виду того, что второй аналог - устройство для прогрева почвы и бетона Е700М – рассчитано на большие площади отогрева (до 400 м<sup>2</sup>), для наших условий подобное устройство неэффективно и нерационально.

Работа поддержана грантом имени выдающихся организаторов нефтяной и газовой промышленности (Байбакова Н.К., Динкова В.А., Картунова А.К., Мальцева Н.А., Муравленко В.И., Оруджева С.А., Филановского В.Ю., Шашина В.Д., Щербины Б.Е.) Международной Топливо-Энергетической Ассоциации (IFPA) и Министерством образования и науки Российской Федерации.

Проект удостоен золотой медали XIV Московского международного салона изобретений и инновационных технологий «Архимед», 2011 г. Лауреат молодежного конкурса Russia Power и HydroVision Russia 2011 («PennWell», Великобритания).

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы.

#### Список литературы

1. Sinitsyn, A.A. The calculation of the characteristics and of the geometrical sizes of power devices / A.A. Sinitsyn // European Applied Sciences, April, 2013, №4, vol. 1 - pp. 151-154.
2. Yang, M. The soil moisture distribution, thawing-freezing processes and their effects on the seasonal transition on the Qinghai-xizang (Tibetan) Plateau / M. Yang, T. Yao, X. Gou, T.Koike, Y.He // Journal of Asian Earth Sciences. 2003. T. 21. № 5. С. 457-465.
3. Sinitsyn, A.A. Simulation of fire engineering processes in energy devices aimed at their optimization and improvement of reliability / A.A. Sinitsyn // Life Science Journal, the Acta Zhengzhou University Oversea Version. Marsland Press: New York, 2013;10(8s). p. 442-447.

#### Основная проблема пожаровзрывобезопасности в шахтных технологических объемах и оценка уровня безопасности рабочего персонала в них

*К.С Скорюпина*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск  
krisrox2@mail.ru*

Шахта - промышленное предприятие, осуществляющее добычу пластовых полезных ископаемых подземным способом и отгрузку их потребителю или на горно-обогательную фабрику. Добыча угля в шахтах самый популярный способ, но и в то же время самый опасный.

Проблема обеспечения безопасности в шахтах, разрабатывающих метаноносные пласты угля, продолжает оставаться актуальной в России и за рубежом.

В угольных пластах выделяются разные газы, но наиболее часто метан (СН<sub>4</sub>). Для предупреждения взрывов метана и угольной пыли в угольных шахтах необходимо вести непрерывный контроль за содержанием метана в воздухе и обеспечивать удаление пыли из шахтных вентиляционных каналов.

Техническое перевооружение угольной промышленности, внедрение прогрессивных технологических схем выемки угля, повышение культуры производства способствовали в последние годы снижению аварийности в угольных шахтах. Однако, недостаточная изученность горнотехнических условий добычи угля, потенциальная возможность газовыделения в горные выработки и наличие в них мелкодисперсной пыли, нарушение технологии очистных и проходческих работ могут быть причиной возникновения аварий.

Взрывы газа и угольной пыли относятся к авариям с наиболее тяжкими последствиями в социальном и экономическом плане. Нередко они сопровождаются групповыми несчастными случаями [2].

К сожалению, взрывы газа и пыли на угольных шахтах России в последние годы стали доминирующими травмирующими факторами по сравнению с другими видами аварий с групповыми несчастными случаями. Существует нормативная база, регламентирующая безопасность ведения горных работ на угольных шахтах по пылегазовому фактору [4]. Однако за прошедший период существенно изменилась технология подземной угледобычи, что отрицательно сказалось на факторах риска взрывов газа и угольной пыли.

В целом мероприятия по предупреждению взрывов в угольных шахтах малоэффективны и в определенных условиях не гарантируют безопасность [5].

Целью работы является рассмотрение проблемы пожаровзрывобезопасности шахтных технологических объемов для оценки уровня безопасности в них.

Для достижения цели в работе решались следующие задачи:

Изучить литературные источники о проблемах пожаровзрывобезопасности шахтных технологических объемов;

Выявить уровень безопасности горняков в шахтах.

Горнодобывающая промышленность имеет целью добычу и первичное обогащение полезных ископаемых. Она поставляет минеральное топливо – уголь, торф, нефть, газ, и другое полезное сырье, что является значительной частью экономики государства и определяет его самостоятельность и обороноспособность.

Для горнодобывающей промышленности характерны:

огромное влияние на окружающую среду;

постоянное перемещение рабочего места, что предъявляет особые требования к средствам механизации и автоматизации производства;

постоянное увеличение глубины горных работ, что обуславливает ухудшение горно-геологических условий разработки, возможность возникновения газодинамических явлений, рост температуры рудничной атмосферы.

Все это создает предпосылки к снижению комфортности и повышению опасности труда.

Взрывы газа и угольной пыли относятся к авариям с наиболее тяжкими последствиями в социальном и экономическом плане.

Как показывает практика, обеспечение надежной пылевзрывозащиты – это сложная организационно-техническая задача, решение которой зависит от объективной оценки факторов опасности взрыва. Основные из них:

1. чувствительность системы, как отложившейся пыли в виде геля, так и взвешенной к источникам зажигания;

2. масса отложившейся пыли на единицу поверхности выработки и горношахтного оборудования;

3. способы и параметры профилактических мероприятий по предупреждению образования опасных концентраций метана и аэрозоля из отложившейся пыли;

4. способы локализации взрыва пылегазовоздушных смесей в выработках.

Совершенствование системы локализации вероятных взрывов газа и угольной пыли – составная часть проблемы взрывозащиты шахт, решение которой одна из важнейших задач в области техники безопасности и охраны труда на ближайшие годы.

В настоящее время на большинстве шахт в России для локализации взрывов применяются пассивные заслоны, в которых в качестве гасящего материала используется инертная пыль или

вода. Сланцевые заслоны, применяемые на угольных шахтах с момента их внедрения, не претерпели существенных изменений.

Основное требование к инертной пыли – способность легко переходить во взвешенное состояние после длительного пребывания во влажной атмосфере. Это требование губительно сказывается на эффективности сланцевых заслонов, т.е. с увеличением расхода воздуха и сечений выработок резко возрастает локальная турбулентность вентиляционной струи, обуславливающая унос свежей пыли с полок, а при нахождении в атмосфере с относительной влажностью более 80%, пыль слеживается, что требует ее частую замену. В целях увеличения срока пригодности допускалось полки заслона загружать расфасованной в мешки инертной пылью. После аварии на шахте «Ульяновская» такая загрузка запрещена, так как сланцевая пыль не перешла во взвешенное состояние, осталась в мешках, т.е. заслоны не выполнили свои функции – не локализовали взрыв и допустили распространение его по сети горных выработок. Как результат – гибель горняков.

Исследования, выполненные Главным институтом горного дела (г. Катовице, Польша) и МакНИИ (г. Макеевка, Украина) в экспериментальных штольнях, показали, что пассивные сланцевые заслоны эффективны только при подавлении балансирующих и слабых взрывов [3].

Таким образом, пассивные заслоны как громоздкие стационарные сооружения не способны локализовать взрыв в выработках с многочисленными и относительно подвижными потенциальными источниками воспламенения из-за сложности в производственных условиях, которые должны постоянно поддерживать допустимые расстояния их установки. Надежность действия заслонов в допустимом диапазоне скоростей горения зависит от качества изготовления и установки полок, соблюдения норм загрузки заслона инертной пылью или заполнения водой и сохранения этих норм в процессе эксплуатации.

В шахтных условиях трудно выполнить эти нормы, поэтому практика свидетельствует о повседневном нарушении действующих требований и как результат частые взрывы на шахтах и гибели шахтеры.

По указанным причинам применение, как водяных, так и сланцевых заслонов на практике оказывается неэффективным. Вместе с тем дальнейшее развитие угольной промышленности сопряжено с разработкой более глубоких горизонтов, применением более производительных технологий и механизмов с увеличивающейся их энерговооруженностью, что приводит к повышению интенсивности газо- и пылевыведения в шахтах, а также к росту вероятности появления различных источников воспламенения, т.е. к усилению факторов, способствующих возникновению взрывов. Это обстоятельство вызывает необходимость совершенствовать весь комплекс взрывозащиты угольных шахт, в том числе и средств локализации взрывов (вспышек) метана и угольной пыли, что позволило бы исключить сопряженные с ними травматизм горнорабочих и материальный ущерб.

Во всем мире широко проводились научные исследования по созданию автоматических средств локализации взрывов метана и угольной пыли специальными ингибиторными порошками. На основании результатов испытаний опытных образцов автоматических систем в последних редакциях ПБ в угольных шахтах стран СНГ предписывается применять сланцевые заслоны только до внедрения автоматических систем. Автоматические системы снабжаются независимым от внешних условий источником энергии, служащим для принудительного диспергирования и подачи в зону воспламенения взрывоподавляющего вещества по сигналу датчика, реагирующего на какое-либо физическое явление, сопровождающее вспышку (взрыв). Такие устройства представляют собой постоянно функционирующие системы, срабатывающие при возникновении вспышки или ударно-воздушной волны от взрыва метана и (или) угольной пыли. Гашение пламени взрыва осуществляется значительно меньшим количеством гасящего вещества. Устройства имеют небольшие габариты и массу, что позволяет их легко перемещать по выработке по мере развития горных работ, не загромождая свободное пространство горной выработки.

Наиболее удачной разработкой в этой области является автоматическая система взрывоподавления и локализации взрывов АСВП-ЛВ (Россия), которая срабатывает от воздействия ударно-воздушной волной (УВВ) с быстродействием 15-20 м/с - это лучший в мире показатель для таких устройств [1]. Система работает в ждущем режиме и приводится в действие УВВ, образованной в результате взрыва метано-пылевоздушной смеси. УВВ воздействует на приёмный щит, приёмный щит формирует механический импульс и через выносные штанги передаёт его на устройство срабатывания. После срабатывания этого устройства сжатый, находящийся в рабочей полости устройства воздух, поступает в промежуточную камеру и бункер УЛВ, где происходит выбрасывание в пространство горной выработки пламегасящего порошка. В

результате в объёме горной выработки по всему её сечению на пути распространения фронта пламени формируется надежный заслон в виде долгоживущего облака пламегасящего порошка во взвешенном состоянии. Этот заслон ликвидирует подошедший фронт пламени и прекращает процесс распространения взрывов по сети горных выработок.

В настоящее время вопрос безопасности шахтеров на угольных шахтах состоит на особом контроле, т.к. всегда существует вероятность взрыва, поэтому необходимы разработка и установка в шахтах автоматических систем взрывоподавления, которые имели бы высокие технические характеристики по быстрдействию и параметрам создаваемого локализирующего облака взрывоподавляющего порошка, а также соответствовали горнотехническим условиям добычи угля. Это поможет заранее вывести горняков из шахты и сохранить их бесценные жизни.

Таким образом: в результате проведенного исследования было установлено, что необходимо совершенствовать автоматические системы взрывоподавления и локализации взрывов, развивать представления о начальных стадиях развития аварийной ситуации, что бы предотвращать их еще на уровне технологического процесса. Тогда можно ожидать, что уровень безопасности горняков в шахтах будет удовлетворительным.

#### Список литературы

1. Джигрин А.В., Горлов Ю.В., Чигрин В.Д. Автоматическая система взрывоподавления – локализации взрывов метановоздушной смеси и угольной пыли в подземных горных выработках угольных шахт// Безопасность труда в промышленности. – 2003. – № 8. – С. 22-26.
2. Левкин Н.Б. Предотвращение аварий и травматизма в угольных шахтах Украины. – Макеевка: МакНИИ, 2002. – 392 с.
3. Либецкий К. Пылевые опасности в горнодобывающей промышленности// Главный институт горного дела, Польша. – Катовице, 2004. – 486 с.
4. ПБ 05-618-03. Правила безопасности в угольных шахтах. – Сер. 5. – Вып. 11/ Колл. авт. – М.: ГУП «НТЦ «Промышленная безопасность», 2003. – 296 с.
5. Правила безопасности в угольных и сланцевых шахтах. – М.: Недра, 1973. – 510 с.

#### О влиянии инфракрасного отопления на организм человека

*Ю.С. Солнышкова, А.И. Погодиин, Н.А. Хан, М.Н. Мечтаева, В.В. Галчинская*

*Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина, Россия, г. Иваново  
yusoln@mail.ru*

В настоящее время в связи с повышенным вниманием к проблеме сбережения энергетических ресурсов, а также обязательности проведения энергетических обследований для большинства юридических лиц, необходимым является внедрение типовых и не типовых энергосберегающих мероприятий. Одним из мероприятий, получившим распространение в основном для помещений производственных зданий с высотой потолков более 4 м, является установка систем лучистого (инфракрасного) отопления. Системы радиационного отопления зданий обладают рядом преимуществ перед традиционными системами отопления, которые были подробно изложены в [1]. Однако данные системы отопления имеют и недостатки, которые необходимо учитывать при рассмотрении возможности установки излучателей в конкретном помещении. Например, с особой осторожностью необходимо предлагать данное мероприятие в общественных помещениях из-за особенности влияния инфракрасного излучения (ИК-излучения) на организм человека.

Инфракрасное излучение представляет собой электромагнитное излучение в диапазоне волн  $\lambda = 0,76 \dots 1000$  мкм. Источником ИК-лучей служит любое нагретое тело, в том числе и организм человека. Тепловое излучение глубоко проникает в организм, вызывая его максимальный прогрев. Именно на этом свойстве основан эффект теплового лечения, широко используемого в физиотерапии.

Важная характеристика ИК-излучения – длина волны излучения. Лучи коротковолнового диапазона (лучи Фохта) с длиной волны  $\lambda = 1,5 \dots 2,4$  мкм обладают способностью проникать в ткань человеческого организма на несколько сантиметров. Такое ИК излучение легко проникает через кожу и черепную коробку в мозговую ткань и может воздействовать на клетки головного мозга, вызывая его тяжелые поражения, симптомами которых являются рвота, головокружение, расширение кровеносных сосудов кожи, падение кровяного давления, нарушение кровообращения и дыхания, судороги, иногда потеря сознания. Длинные инфракрасные лучи с

длинной волны  $\lambda = 2,4 \dots 2000$  мкм не проникают глубоко в кожу человека и оказывают благоприятный для человека тепловой эффект.

Вопросом влияния инфракрасного излучения на организм человека ученые начали интересоваться еще в начале XX века. Инфракрасные лучи для лечения болезней начали использоваться довольно давно. Считалось, что инфракрасные лучи не оказывают никакого химического, биологического или прямого физиологического действия на ткани. Эффект, производимый данными лучами, основан на проникновении и поглощении их тканями, вследствие чего инфракрасные лучи играют в основном тепловую роль. Воздействие инфракрасных лучей сводилось к их косвенному проявлению — изменению теплового градиента в коже, либо на ее поверхности. Позднее было доказано, что инфракрасные лучи оказывают одновременно болеутоляющее, антиспазматическое, противовоспалительное циркуляторное, стимулирующее и отвлекающее действие. ИК-излучение также позволяет ослабить действие ядохимикатов, способствует повышению неспецифического иммунитета. Также замечено, что хирургическое вмешательство, проведенное при инфракрасном излучении, обладает некоторыми преимуществами – переносятся легче послеоперационные боли, быстро происходит и регенерация клеток.

Однако в 30 – 40 гг. XX века использование ИК-лучей не получило широкого распространения в медицинской практике из-за установленного отрицательного действия его коротких лучей, которые вызывают выраженные повреждения глаза и особенно хрусталика.

Доктором медицинских наук Л.А. Гвозденко [2] были проведены экспериментальные исследования по влиянию ИК – излучения на здоровье человека (патология сердечно-сосудистой системы, заболевания центральной нервной системы, желудочно-кишечного тракта, аллергических заболеваний и заболеваний органов зрения) в зависимости от состава излучения и его интенсивности. В зависимости от состава излучения автором статьи [2] выделено четыре группы источников: группа Ia ( $t = 35 \dots 300^\circ\text{C}$ ,  $\lambda = 5,8 \dots 9$  мкм – темное свечение), группа Ib ( $t = 300 \dots 700^\circ\text{C}$ ,  $\lambda = 3,5 \dots 5$  мкм – темно-красное свечение), группа Iv ( $t = 700 \dots 1000^\circ\text{C}$ ,  $\lambda = 2,5 \dots 3,5$  мкм – красное свечение) и группа Ig ( $t = 1000 \dots 1500^\circ\text{C}$ ,  $\lambda = 0,76 \dots 2,5$  мкм – белое свечение). Эксперимент по облучению спектральным составом для всех четырех групп был выполнен на добровольцах. В результате своей работы Л.А. Гвозденко приводит данные о величине допустимой облученности при двух параметрах тепловой защиты человека, указанные в таблице 1.

Таблица 1. Допустимая облученность

$\lambda_{\text{max}}$ , мкм	Интенсивность облучения ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ )	
	Тепловая защита, кло	
	0,6 – 0,8	> 1
1,5	35,0	65,0
3,0	50,0	100,0
4,5	75,0	140,0
6,0	100,0	120,0

В исследованиях отечественных гигиенистов доказано, что ИК-излучение, в отличие от конвективного тепла, имеет специфические особенности формирования реакции организма, которые в значительной степени связаны с особенностями физической природы этого фактора.

Биологическое действие энергии излучения зависит не только от спектрального диапазона электромагнитных волн, но и от интенсивности и времени действия излучения. Санитарные правила и нормы (СанПиН [3]) регламентируют допустимую интенсивность ИК-облучения поверхности тела человека, указанную в таблице 2.

Защита временем предусматривает ограничение времени пребывания работающего в зоне действия излучения. Безопасное время пребывания человека в зоне действия ИК излучения зависит от его интенсивности (плотности потока) и приведено в таблице 3.

Таблица 2. Допустимая интенсивность ИК-облучения,  $\text{Вт}/\text{м}^2$ 

Площадь облучаемой обнаженной поверхности тела, $\text{м}^2$	Длина волн максимума энергии излучения источника ( $\gamma_{\text{max}}$ ), мкм			
	1,5	3,0	4,5	6,0
до 0,4	35	50	75	50
до 0,2	65	100	140	100



Таблица 3. Время безопасного пребывания людей в зоне ИК излучения

Плотность потока ИК излучения, Вт/м <sup>2</sup>	до 350	500	700	1200	2000	2100
Время пребывания, мин	не ограничено	20	15	10	5	4,5

Необходимо отметить, что температура окружающих человека предметов так же играет весьма существенную роль в обеспечении комфортных условий, как в быту, так и общественных и промышленных зданиях, поэтому при установлении санитарно-гигиенических норм необходимо учитывать окружение человека не только воздушной средой, но и твердыми ограждениями, температура которых существенно влияет на микроклимат в помещениях всех типов: жилых, общественных и производственных.

Выводы.

1. При установке системы лучистого отопления в помещении следует учитывать влияние инфракрасных лучей на организм человека.
2. Для работы в условиях повышенной облученности следует применять средства индивидуальной защиты или сокращать время пребывания в рабочей зоне.
3. В расчете систем лучистого отопления необходимо учитывать окружение человека не только воздушной средой, но и твердыми ограждениями, температура которых существенно влияет на микроклимат в помещениях всех типов.

#### Список литературы

1. Бухмиров В.В. Обоснование разработки современной методики расчета лучистого отопления [Текст] / Погорядин А.И., Найденко В.А., Бухмиров В.В., Солнышкова Ю.С. // Научное обеспечение жилищно-коммунального хозяйства: Сборник материалов I международной научно-практической конференции/Т.С. Рахимбеков, Д.А. Егизбаев, Н.Ж. Муслимов – Астана, 2012. - С. 60 - 63.
2. Гвозденко Л.А. Обоснование допустимых нормативов облученности инфракрасным излучением в зависимости от его спектрального состава [Текст] / Л.А. Гвозденко // Медицина труда и промышленная экология. – М.: Учреждение РАМН НИИ медицины труда РАМН, 1999, №12. – С. 13-18.
3. СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений».

#### Оценка гидроэнергетических ресурсов Казахстана

*Сопруненко Э.Е., Назаренко О.Б.*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск*

В современных развитых странах параметры качества жизни выдвигаются на первый план. В связи с чем такие экологически безопасные виды электроэнергетики как гидро-, ветро-, био- и геотермальная энергетика становятся особо актуальными.

Современная гидроэнергетика по сравнению с другими традиционными видами электроэнергетики является наиболее экономичным и экологически безопасным способом получения электроэнергии. Малая гидроэнергетика способствует снижению нагрузки электроэнергетики на окружающую среду. Строительство и эксплуатации малых гидроэлектростанций (ГЭС) позволит сохранить природный ландшафт, окружающую среду как при строительстве, так и в процессе эксплуатации. При последующей эксплуатации отсутствует отрицательное влияние на качество воды. Вода практически полностью сохраняет первоначальные природные свойства, может использоваться для водоснабжения населения.

В соответствии со стандартом ГОСТ Р 51238-98 «Нетрадиционная энергетика. Гидроэнергетика малая. Термины и определения» к малым ГЭС относятся агрегаты единичной мощностью от 100 кВт до 30 МВт, а в случае установки нескольких гидроагрегатов – станции суммарной установленной мощностью от 1000 кВт до 30 МВт.

Мировым лидером в малой гидроэнергетике считается Китай, где к концу 2008 г. мощность малых ГЭС превысила 50000 МВт [1]. В настоящее время почти половина территории Китая и четвертая часть населения страны обеспечены электроэнергией за счет малых ГЭС. В Индии установленная мощность введенных в эксплуатацию к 2010 г. малых ГЭС превысила 200 МВт и намечено строительство еще 4000 станций с общей проектной мощностью 8370 МВт. Эффективно

работают малые ГЭС в ряде Европейских стран, в том числе в Австрии, Финляндии, Норвегии, Швейцарии и др.

В Республике Казахстан имеется огромный запас энергоресурсов малых рек. Гидроэнергетический потенциал Казахстана составляет более 170 млрд. кВт·ч в год, из которых в настоящее время используется около 26 % [2]. Для повышения надежности энергоснабжения и улучшения экологической обстановки в Казахстане необходимо развивать гидроэнергетическое строительство, прежде всего строительство малых ГЭС, снижающих антропогенное воздействие на природную среду в процессе производства электроэнергии и использования водных ресурсов [3].

По территории республики гидроэнергетические ресурсы распределены крайне неравномерно. Большая часть гидроэнергетических ресурсов Казахстана сосредоточена в двух областях – Восточно-Казахстанской и Алматинской.

Гидроэнергетические ресурсы Восточно-Казахстанской области представлены рекой Иртыш и ее притоками, протекающими в горах Восточного Алтая, и являются наиболее перспективными для строительства ГЭС. В целом потенциальные ресурсы рек Восточного Казахстана составляют 42,7 млрд. кВт·ч, из них технически возможные – 29,2 млрд. кВт·ч, а экономически целесообразные к практическому использованию – 17,2 млрд. кВт·ч [4]. Среди них реализовано около 8 млрд. кВт·ч.

Сама река Иртыш в гидроэнергетическом отношении в значительной степени освоена трехступенчатым каскадом, состоящим из Бухтарминской ГЭС (675 МВт), Усть-Каменогорской ГЭС (331 МВт) и Шульбинской ГЭС (702 МВт). Последней, завершающей ступенью каскада должна стать Булакская (бывшая Семипалатинская) ГЭС, являющаяся контррегулятором Шульбинской ГЭС, предназначенная для выравнивания неравномерностей расхода воды, возникающих при работе мощной станции. Мощность Булакской ГЭС – 68 МВт, среднегодовая выработка – 348 млн. кВт·ч, кроме того, на Шульбинской ГЭС высвобождается 432 МВт пиковой мощности. По проекту готово ТЭО, однако начало строительства задерживается по причине проблем с землеотводом – в зоне затопления имеются особо охраняемые природные территории. Также возможно строительство второй очереди Шульбинской ГЭС после 2017 года.

Гидроэнергетические ресурсы Алматинской области представлены рядом рек бессточного Алаколь-Балхашского бассейна.

Река Тентек, стекает со склонов Джунгарского Алатау, впадает в оз. Сасыкколь. Среднегодовой расход – 42 м<sup>3</sup>/с. Верхнее и среднее течение реки имеют горный характер, слабозаселены и перспективны для гидроэнергетического освоения. Запланировано создание каскада ГЭС, включающего в себя Джунгарскую (68 МВт, 210 млн. кВт·ч), Тунгурузскую (32 МВт, 115 млн. кВт·ч) и Константиновскую ГЭС (100 МВт, 340 млн. кВт·ч). Из ограничений – в районе верховьев расположены два заказника, в дельте реки – Алакольский заповедник.

Река Каратал с притоками, стекает с горных хребтов Джунгарского Алатау, впадает в озеро Балхаш. Среднегодовой расход – 68 м<sup>3</sup>/сек. Используется в гидроэнергетическом отношении – уже эксплуатируются 4 малых ГЭС общей мощностью 22,6 МВт, причем три ГЭС построены с 2007 года, и строительство каскада продолжается (планируется порядка 10 ГЭС общей мощностью 50 МВт). Значительный интерес составляют притоки, характеризующиеся большим падением, такие как Коксу и Чиже. Так, на Коксу планируется строительство Кызылкунгейской ГЭС (150 МВт, 530 млн. кВт·ч), Кызылбулакской ГЭС (40 МВт, 240 млн. кВт·ч), Токтышак ГЭС-1 и ГЭС-2 (19,5 МВт, 118 млн. кВт·ч), Бондаревской ГЭС (32 МВт, 140 млн. кВт·ч), на реке Чиже – каскада из 4 ГЭС общей мощностью 49,6 МВт.

Крупнейшая река Балхаш-Алакольского бассейна – Или. На реке имеется Качагайская ГЭС мощностью 364 МВт, находящаяся в государственной собственности. Ниже нее запланировано создание контррегулятора – Кербулакской ГЭС мощностью 49,5 МВт, среднегодовой выработкой – 277 млн. кВт·ч, кроме того, на Капчагайской ГЭС высвобождается 112 МВт пиковой мощности. Проект находится в довольно продвинутой стадии, хотя строительные работы пока не начаты.

Весьма интересны в гидроэнергетическом плане притоки Или – Чарын, Чилик, Турген, Исык. В частности, на Чарыне в настоящее время завершается строительство Крупной Мойнакской ГЭС мощностью 300 МВт и среднегодовой выработкой 1,27 млрд. кВт·ч. Данная ГЭС имеет много общего с Зарамагской ГЭС-1 – деривационная схема, близкая мощность, высокий напор, использование двух ковшовых турбин. В целом, на Чарыне планируется каскад из трех ГЭС общей мощностью 380 Мвт [4]. На Чилике предварительно запланированы три ГЭС общей мощностью 39 МВт. Реки, стекающие с Заилийского Алатау, при относительно небольших

расходах имеют значительные падения, что позволяет строить на них высоконапорные малые ГЭС – так, на не очень крупной реке Большая Алматинка еще в советское время был создан каскад из 10 ГЭС общей мощностью 49 МВт.

При современных подходах к использованию энергии малых рек и водотоков имеются широкие возможности для строительства мини- и малых ГЭС при существующих гидротехнических сооружениях эксплуатируемых ГЭС, ТЭС и АЭС; на существующих и строящихся гидроузлах неэнергетического назначения; на высокогорных водотоках в непосредственной близости от селений и сельскохозяйственных построек; в составе технического водоснабжения на промышленных предприятиях.

Согласно результатам работы [4], в настоящее время в Казахстане ГЭС являются основными маневренными энергоисточниками, способными покрывать пиковые нагрузки энергосистем, таковыми они и останутся в ближайшем будущем. Анализ показателей Алматинской и Алтайской энергосистем свидетельствует о высокой экономичности действующих ГЭС. Себестоимость электроэнергии на ГЭС по данным [4] в 10–20 раз ниже, чем на ТЭС. Например, в Алматинской энергосистеме на долю Капчагайской ГЭС приходится около 20 % выработки электроэнергии и около 50 % прибыли, а в Алтайской энергосистеме на долю Иртышских ГЭС – около 80 % выработки электроэнергии и практически вся получаемая прибыль.

Степень освоения экономически эффективных гидроэнергоресурсов в Республике Казахстан составляет 26 %. В экономически развитых странах этот показатель составляет следующие значения: 50–55 % в США и Канаде, от 60 до 90 % в странах Западной Европы и Японии. Интенсивное освоение гидроэнергетических ресурсов, как было отмечено ранее, ведется в Китае и Индии. В Российской Федерации доля объектов гидроэнергетики уже длительное время продолжает оставаться на уровне 20 %.

Наличие значительного неосвоенного гидроэнергетического потенциала, являющегося экономически и экологически эффективным, позволяет создать в Казахстане масштабную программу гидроэнергетического строительства из наиболее эффективных объектов регионального и межрегионального значения, прежде всего в энерго- и топливно-дефицитных районах с учетом реальных оценок будущего спроса и возможностей его удовлетворения.

В целях обеспечения эффективного использования возобновляемых ресурсов и источников энергии как фактора устойчивого развития экономики в Казахстане принята Стратегия эффективного использования энергии и возобновляемых ресурсов Республики Казахстан в целях устойчивого развития до 2024 года [5].

Для финансирования мероприятий могут быть задействованы средства Банка Развития Казахстана, Инвестиционного фонда Казахстана, Национального инновационного фонда.

#### Список литературы

1. Родионов В.Г. Энергетика: проблемы настоящего и возможности будущего. – М.: - ЭНАС, 2010. – 352 с.
2. Чокин Ш.Ч., Сартаев Т.С., Шкрет А.Ф. Энергетика и электрификация Казахстана. – А.: Гылым, 1990. – 336 с.
3. Кариев Д.А. Гидроэнергетический потенциал рек Казахстана и уровень его использования // Вестник ТарГУ. – 2002. – № 2.
4. Кариев Д.А. Модернизация гидроэнергетических установок и использование возобновляющихся источников энергии в энергообеспечении (на примере Республики Казахстан): Автореферат дисс. ... д.т.н. – СПб, 1999. – 40 с.
5. Постановление Правительства Республики Казахстан от 24 января 2008 года № 60 «О Стратегии эффективного использования энергии и возобновляемых ресурсов Республики Казахстан в целях устойчивого развития до 2024 года» – Астана, 2008.

#### Реформа в методологии оценки условий труда

*Э.Е. Сопруненко, Н.А. Чулков*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск  
[soprunenko.elina@yandex.kz](mailto:soprunenko.elina@yandex.kz)*

Существующее на данный момент правовое регулирование вопросов по предоставлению гарантий и компенсаций работникам, занятым на тяжелых работах, работах с вредными и (или) опасными и иными особыми условиями труда, является неполноценным и достаточно противоречивым.

Порядок аттестации рабочих мест по условиям труда, который имеет место быть сейчас, был утвержден на основании статьи 209 Трудового кодекса Российской Федерации приказом Минздравсоцразвития России [1]. Однако, в этих условиях формируется неоднозначная судебная практика по вопросам предоставления гарантий и компенсаций работникам, занятым на тяжелых работах, работах с вредными и (или) опасными и иными особыми условиями труда.

В настоящее время гарантии и компенсации работникам, занятым на рабочих местах с вредными и опасными условиями труда предоставляются на основании следующих нормативных документов:

- списка производств, цехов, профессий и должностей с вредными условиями труда, работа в которых дает право на дополнительный отпуск и сокращенный рабочий день, утвержденного постановлением Госкомтруда СССР и Президиума ВЦСПС от 25.10.1974 № 298/П-22, а также Типового положения об оценке условий труда на рабочих местах и порядке применения отраслевых перечней работ, на которых могут устанавливаться доплаты рабочим за условия труда, утвержденного Постановлением Госкомтруда СССР и Секретариата ВЦСПС от 03.10.1986 № 387/22-78;

- списков № 1 и № 2 производств, работ, профессий, должностей и показателей, дающих право на льготное пенсионное обеспечение, утвержденных постановлением Кабинета Министров СССР от 26.01.1991 № 10 (Список № 1 производств, работ, профессий, должностей и показателей на подземных работах, на работах с особо вредными и особо тяжелыми условиями труда, занятость в которых дает право на пенсию по возрасту (по старости) на льготных условиях; Список № 2 производств, профессий, должностей и показателей с вредными и тяжелыми условиями труда, занятость в которых дает право на пенсию по возрасту (по старости) на льготных условиях).

Данная схема предоставления гарантий и компенсаций работникам была сформирована еще во времена СССР, однако функционирует и сейчас. Схема списочного компенсирования причиняемого работникам вреда была обусловлена тем, что единственным работодателем было государство, которое обеспечивало (должно было обеспечивать) одинаковые ( типовые) условия труда и производственные процессы в зависимости от профессий, должностей и видов выполняемых работ. Схема давала работникам государственные гарантии компенсации причиненного вреда здоровью в процессе трудовой деятельности, а также гарантированный государством доход в случае утраты способности самостоятельного заработка. Большим минусом применения данной схемы в наше время является тот факт, что если в данных списках отсутствуют виды работ, профессии и должности, имеющиеся у работодателя, компенсации работникам не предоставляются.

В настоящее время обеспечиваемые работодателями условия труда в рамках одного и того же вида деятельности могут иметь значительные различия [3,4]. Однако указанный выше списочный подход не позволяет методологически провести экономически справедливую дифференциацию затрат как работодателей, так и государства (в части пенсионной системы) в зависимости от степени реальной вредности и опасности условий труда на конкретном рабочем месте. Как следствие, работодателям невыгодно вкладывать средства в улучшение условий труда, поскольку никакие мероприятия по данному направлению не снизят их затраты по указанным выше направлениям.

На данный момент фактически две методики оценки условий труда на вредных и опасных рабочих местах, а именно:

- аттестация рабочих мест, осуществляемая на основании статьи 209 ТК РФ [5], с целью установления сокращенной продолжительности рабочего времени, продолжительности ежегодного дополнительного оплачиваемого отпуска, размера повышения оплаты труда;

- специальная оценка условий труда, которая должна осуществляться на основании отдельного федерального закона во исполнение статьи 58.3 Федерального закона от 24 июля 2009 г. № 212-ФЗ в целях освобождения от уплаты дополнительных страховых взносов в Пенсионный фонд Российской Федерации.

Таким образом, указанные выше две процедуры, по сути, должны быть объединены и унифицированы с двумя главными целями. Во-первых, однократного проведения работодателем исследование рабочего места своих работников. Во-вторых, результаты данного исследования должны использоваться как в целях уплаты страховых взносов в Пенсионный фонд Российской Федерации, так и в целях предоставления иных гарантий и компенсаций в процессе осуществления работником его трудовой деятельности.

Такой методологический подход позволит, с одной стороны, максимально объективно решать вопрос о необходимости компенсации вредных (опасных) условий труда конкретному работнику на конкретном рабочем месте, и, с другой стороны, экономически простимулировать работодателей вкладывать средства в улучшение условий и в охрану труда в целях оптимизации своих дальнейших издержек (по предоставлению гарантий и компенсаций и по уплате дополнительных страховых взносов в Пенсионный фонд Российской Федерации).

Однако, разработка методики проведения специальной оценки условий труда должна осуществляться не самостоятельно, а в пакете с иными законодательными инициативами и подзаконными актами, и представлять собой целостный, комплексный законопроект, направленный на улучшение условий труда и замещение рабочих мест с вредными (опасными) условиями труда.

В состав вышеуказанного нормативного «пакета» вошли:

- а) собственно законопроект федерального закона о специальной оценке условий труда;
- б) поправки в ТК РФ, предусматривающие процедуру специальной оценки условий труда как основание для решения вопроса о предоставлении работнику гарантий и компенсаций в связи с работой во вредных и опасных условиях труда; подзаконные акты, конкретизирующие порядок, условия и размеры предоставления соответствующих гарантий и компенсаций, выдачи средств индивидуальной защиты (нормативный правовой акт Правительства Российской Федерации, вносящий изменения в постановление от 20 ноября 2008 г. № 870, и акты Минтруда России);
- в) поправки в законодательство о страховых взносах в Пенсионный фонд Российской Федерации, направленные на дифференциацию тарифов дополнительных страховых взносов в Пенсионный фонд Российской Федерации в зависимости от выявленного по результатам специальной оценки условий труда класса профессионального риска (класса условий труда);
- г) поправки в пенсионное законодательство, регулирующие учет пенсионных прав и условия пенсионного обеспечения работников, за которых осуществляется уплата дополнительных взносов в Пенсионный фонд Российской Федерации, а также особенности сохранения, учета и конвертации (при необходимости) прав работников, осуществляющих трудовую деятельность на рабочих местах, включенных в Списки № 1 и № 2 производств, работ, профессий, должностей и показателей, дающих право на льготное пенсионное обеспечение, утвержденные постановлением Кабинета Министров СССР от 26.01.1991 № 10;
- д) поправки в законодательство об обязательном социальном страховании, направленные на постепенный переход возмещения так называемого «досрочного» периода выплаты пенсии из системы обязательного пенсионного страхования в систему обязательного социального страхования с установлением процедуры индивидуальной оценки риска приобретения профессионального заболевания при условии продолжения работы и, соответственно, индивидуальной оценки нуждаемости в выплате страхового обеспечения досрочно.

По результатам специальной оценки условий труда на конкретном рабочем месте сроком на 5 лет устанавливается тариф дополнительных взносов в Пенсионный фонд Российской Федерации, соответствующий присвоенному классу вредности (классу профессионального риска).

Таким образом, работодатель, имеющий рабочие места, отнесенные, например, к Списку № 1, будет освобожден от уплаты дополнительных взносов, только в случае снижения на этих рабочих местах класса вредности, подтвержденный специальной оценкой условий труда. В этом случае тариф дополнительных страховых взносов за эти рабочие места также снизится.

При этом уплата дополнительного тарифа страховых взносов осуществляться по правилам только в отношении работников, занятых на рабочих местах, предусмотренных Списками № 1 и № 2. За иных работников уплата страховых взносов по дополнительному тарифу не осуществляется вне зависимости от установленного по итогам специальной оценки класса условий труда.

Применение «списочного» подхода к формированию пенсионных прав граждан предлагается сохранить в отношении всех лиц, которые по состоянию на определенную дату будут иметь хотя бы один день трудового стажа работы во вредных и опасных условиях. Дату целесообразно установить с соблюдением конституционного принципа «разумного переходного периода» и «возможности адаптации действий и поведения граждан к меняющемуся правовому регулированию». С учетом изложенного представляется правильным установить после вступления закона в силу переходный период.

Оценка условий труда [6] методологически должна быть единым комплексом последовательно выполняемых мероприятий по идентификации потенциально вредных и (или)

опасных факторов производственной среды и трудового процесса и оценке уровня их воздействия на организм работника с учетом отклонения их фактических значений от утвержденных нормативов, а также от комплексного применения средств защиты. Оценка важна как для государств, так и для работников с целью обоснования компенсаций за вредные условия труда.

#### Список литературы

1. Приказ Минздравсоцразвития России от 26 апреля 2011 г. №342н «Об утверждении порядка проведения аттестации рабочих мест по условиям труда».
2. Законопроект № 337970-6 «О специальной оценке условий труда», 03.09.2013 г.
3. Деренок, А. Н., Морозова В. В., Чулков Н. А. Особенности трудовых отношений в организациях энергетики в постреформенный период // Энергетика: экология, надежность, безопасность. — Томск: Изд-во ТПУ, 2009. — с. 151-152.
4. Чулков Н.А. К стратегии по развитию системы управления охраной труда в отрасли //Всероссийское совещание руководителей учреждений профессионального образования и председателей профсоюзных комитетов по обеспечению здоровых и безопасных условий труда и учебы в подведомственных Рособразованию учреждениях высшего и среднего профессионального образования: Сборник материалов - Москва, 28 мая 2008. - Москва: Возрождение, 2008. - с. 108-111.
5. Трудовой кодекс РФ – М.: Юрайт-М, 2002.
6. [www.regulation.gov.ru,ID:00/03-5934/08-13/28-9-5](http://www.regulation.gov.ru>ID:00/03-5934/08-13/28-9-5).

УДК 622.648.24

#### Повышение экологической и промышленной безопасности предприятий угольной отрасли путем переработки водноугольных отходов

*А.В. Неведров, А.В. Папин, А.И. Сечин\**

*ФГБОУ ВПО Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово, Россия,*

*\*НИ Томский политехнический университет, г. Томск, Россия,*

Одним из главных негативных факторов ведения угледобычи является значительный ущерб, наносимый окружающей среде, в том числе и водному бассейну. В связи с этим все острее встает проблема охраны водных ресурсов ряда районов Кемеровской области и соседних регионов. Это обусловлено сбросами в прилегающие к промышленным предприятиям поверхностные водоемы и водотоки больших объемов шламовых вод, содержащих, как правило, взвешенные и растворенные примеси.

За длительное время эксплуатации угольных предприятий накопилось значительное количество водноугольных отходов (шламовых вод) и угольных шламов, в которых содержатся до 40-80% органической массы угля, причем, в будущем проблема будет стоять еще более остро, так как угольными предприятиями требуется подвергать обогащению практически весь добываемый уголь. При длительном хранении угольных шламов происходит окисление органической массы и возникает угроза их самовозгорания.

Перевод угольных шламов в технологически приемлемую продукцию позволит не только улучшить экологическую обстановку в регионе, но и получить существенный экономический эффект, повысить их промышленную безопасность.

Для решения этой задачи нами была разработана технология комплексной переработки шламовых вод предприятий угольной отрасли.

Согласно данной технологии первоначальным этапом утилизации шламовых вод является отделение угольной составляющей (твердой фазы) от жидкой фазы, путем сгущения. В результате получают два полупродукта – сгущенный угольный шлам, представляющий собой суспензию с содержанием твердой фазы 60-75% мас., и техническая вода.

Отделенный угольный шлам подвергали обогащению. На выходе получали концентрат с зольностью  $A^d$  до 10 % мас., выходом летучих веществ  $V^{daf}$  = 26-28 % и влажностью  $W^a$  = 7-12 %.

Хвосты обогащения могут использоваться в технологиях извлечения ценных, редких рассеянных элементов, строительных материалов и т.п.

Техническую воду отстаивали, отделяли от остатков твердой фазы и очищали физико-химическими методами.

Кроме взвешенных нерастворимых веществ в оборотных водах угольных предприятий велико содержание растворимых солей. Снизить содержание растворимых веществ можно методами химической или физико-химической водоподготовки, это особенно необходимо делать, если в дальнейшем планируется применение воды в теплообменных системах, так как велика вероятность образования накипи.

Для защиты теплообменного и теплофикационного оборудования систем оборотного водоснабжения и водяного отопления, использующих в качестве теплоносителя или хладагента очищенную от механических и органических примесей шламовую воду (техническую воду) возможно использовать стабилизационную обработку воды постоянным электрическим током.

Были проведены исследования по определению противонакипного эффекта обработки технической воды электрическим полем при различных его параметрах. Исследования проводились на технической воде ЦОФ «Березовская», имеющей общую жесткость 2,6 ммоль/л, ХПК 5,84 мгО/л, рН=7,96, сухой остаток 430 мг/л. Обработка технической воды электрическим полем осуществлялась при плотности электрического тока на катоде в пределах 5-15 А/м<sup>2</sup>. Количество накипи, отложившейся на нагревательном элементе, определялось гравиметрическим методом.

Результаты проведенных экспериментов на технической воде ЦОФ «Березовская» представлены в табл.1.

Из данных, представленных в табл.1, видно, что с повышением плотности анодного и катодного тока, происходит увеличение противонакипного эффекта обработки технической воды электрическим полем. Достижимый противонакипный эффект обработки воды электрическим полем позволяет обеспечить надежную защищенность водогрейного оборудования от накипи.

Таблица 1. Противонакипные эффекты обработки воды электрическим полем

№ п/п	Плотность электрического тока, А/м <sup>2</sup>		Противонакипный эффект, %
	на аноде	на катоде	
1	10	5	63
2	20	10	74
3	30	15	78

Главным преимуществом антинакипной обработки воды электрическим полем является то, что данный метод водоподготовки позволяет отказаться от применения химикатов для водоподготовки. Применение этого метода водоподготовки исключает загрязнение окружающей среды вредными стоками водоподготовительных установок.

Осадок, выделяемый на различных стадиях водоподготовки также можно использовать в технологиях извлечения ценных элементов и для производства строительных материалов.

Полученные данные показывают эффективность технологии комплексной переработки шламовых вод с получением ряда ценной продукции из отходов предприятий угольной отрасли: малозольного концентрата, сырья для рудоперерабатывающих предприятий, строительных материалов и технической воды для водооборотного цикла и систем теплоснабжения предприятий угольной отрасли.

Таким образом, внедрение данной технологии комплексной переработки шламовых вод предприятий угольной отрасли позволит повысить экологическую и промышленную безопасность этих предприятий и их экономическую эффективность.

#### Список литературы

1. Лазаренко С.Н., Потапов В.П. Концепция стратегии развития угольной отрасли Кузбасса как основы экономической самодостаточности региона // Финансово-экономическая самодостаточность регионов. Материалы межрегиональной научно-практической конференции – Кемерово, 2003.-С.163-166.
2. Папин А.В., Солодов Г.А., Заостровский А.Н., Папина Т.А. Процесс формирования структуры высококонцентрированных водоугольных суспензий приготовленных из обогащенных угольных шламов методом масляной агломерации // Вестн. КузГТУ. 2003. № 4. С. 96-99.

УДК 662.815

**Технология переработки отходов коксохимических производств****Солодов В.С., Папин А.В., Сечин А.И., Неведров А.В.**

ФГБОУ ВПО Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово, Россия,

\*НИИ Томский политехнический университет, г. Томск, Россия,

Количество образующихся промышленных отходов в России составляет более 3,9 млрд. т. Значительная масса отходов (в основном угольной отрасли) не перерабатывается и складывается в отвалах, свалках, шламо- и хвостохранилищах. Еще один техногенный отход – коксовая пыль на коксохимических предприятиях, получается в процессе любых технологических операций связанных с коксом (рассортировки валового кокса, сухого тушения кокса, перегрузках кокса и т.д.). Размер кусков 0-5 мм. Коксовая пыль (около 18-20 тыс. т в год на каждом предприятии) практически не находит применения из-за тонкодисперсного состояния и высокой зольности, сложности с разгрузкой и транспортировкой.

Основными проблемами на пути переработки также являются: высокая зольность исходного сырья; отсутствие научно обоснованных рекомендаций и процессов физико-химического воздействия на исходный уголь с учетом его свойств [1].

Для решения проблемы утилизации отходов необходимо было разработать нетрадиционную технологию их комплексной переработки на месте с получением ряда товарной продукции.

Данная разработка относится к технологии брикетирования коксовой пыли. Особенность данной технологии заключается в обогащении коксовой пыли методом масляной агломерации с применением в качестве оптимальных связующих реагентов карбамида и жидких отходов коксохимии, что позволяет селективно отделять минеральные частицы от органической части коксовой пыли при его обогащении с получением концентратов, приемлемых для энергетики и коксования [2].

Отличием предлагаемой технологии от аналогов является использование новой технологической схемы, увеличивающей выход продукта, использующей дешевых и эффективных связующих компонентов (также отходов коксохимического производства), что обеспечивает получение качественного товарного продукта.

Полученные брикеты обладают следующими технологическими характеристиками:

Таблица 1. Преимущества композитных топливных брикетов перед аналогами

Технические показатели (наименование и единицы измерения)	Наименование инновационной продукции
	Композитные топливные брикеты
Сернистость, % мас.	0,025-0,4
Зольность, % мас.	5,4-8,0
Прочность на сжатие, кг/см <sup>2</sup>	60-90
Прочность на истирание, % содержание кусков размером >25 мм	80-99
Прочность на сбрасывание, % содержание кусков размером >25 мм	85-99
Теплота сгорания, ккал/кг	8900-9600

Внедрение разработанной технологии ведет к повышению экологической и производственной безопасности на предприятиях, так как позволяет утилизировать отходы непосредственно «на месте», что также обеспечивает положительную экономическую рентабельность.

**Список литературы**

1. Папин, А.В. Экологические и технологические аспекты утилизации коксовой пыли в виде топливных брикетов / Папин А.В., Игнатова А.Ю., Солодов В.С. // Безопасность в техносфере. – 2013. - № 2. – С. 66-70.



2. Папин А.В., Солодов В.С., Игнатова А.Ю., Неведров А.В., Макаревич Е.А. и др. Патент 2468071 РФ «Способ брикетирования коксовой пыли», заявитель и патентообладатель КузГТУ; заявл. 26.10.2011; опубл. 27.11.2012, бюл. № 33.

### Исследование тепловой эффективности процесса анаэробной ферментации органических ТБО

Исламова С.И.

*Исследовательский центр проблем энергетики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Казанского научного центра РАН, Россия, г. Казань*

В настоящее время в мире активно развиваются технологии анаэробной ферментации твердых бытовых отходов (ТБО). Анаэробная ферментация – это разложение органических компонентов в анаэробных условиях. Анаэробная ферментация с большой эффективностью применяется для обезвреживания ТБО с попутным получением органического удобрения или биотоплива. Большое количество пищевых отходов в составе ТБО препятствует их качественному сжиганию и затрудняет захоронение на полигонах. Использование органических ТБО в качестве сырья для метанового сбраживания позволяет решать экологическую проблему утилизации отходов, а также дополнительно вырабатывать энергию [1].

Суть процесса анаэробной ферментации органических ТБО заключается в следующем: в метантенке объемом до 500 м<sup>3</sup> ТБО выдерживают в анаэробных условиях 10-20 суток при температуре от 25 до 55 °С. При этом протекает процесс сбраживания. В процессе сбраживания проводится перемешивание содержимого метантенка для обеспечения эффективного использования всего объема, исключения образования мертвых зон и т.п. Отработанную твердую массу подают на обезвоживание, затем она поступает на рыхлаение и грохочение. 1 тонна ТБО дает до 120-140 м<sup>3</sup> биогаза, содержащего ~65% об. CH<sub>4</sub> [2-4].

В настоящем исследовании тепловой эффективности состав ферментируемых ТБО представлял собой органическую массу, состоящую из растительных остатков, пищевых отходов, бумажных и древесных отходов. Метантенк, представлял собой резервуар (рис. 1), объемами 50, 100, 250 и 500 м<sup>3</sup>. Перемешивание отходов осуществлялось при помощи механической мешалки. Режимы выдерживания отходов в анаэробных условиях мезофильный (при  $t \sim 35^\circ\text{C}$ , время брожения – 20 сут) и термофильный (при  $t \sim 55^\circ\text{C}$ , время брожения – 10 сут), среднемесячная температура воздуха летом – 293 К, зимой – 263 К. Материалы изготовления метантенков – бетон и сталь. В качестве тепловой изоляции для бетонных метантенков предлагалась полиуретановая пена, для стальных – минеральная вата и кирпич.

Анализ тепловой эффективности основывался на составлении уравнения теплового баланса, характеризующего работу метантенка, определении значений подведенной к аппарату, полезно используемой тепловой энергии и потерь теплоты в зависимости от времени года. Критерием оценки тепловой эффективности являлся тепловой КПД [5-8].

Тепловой баланс метантенка имел вид:

$$\Sigma Q_{\text{под}} = \Sigma Q_{\text{пол}} + \Sigma Q_{\text{пот}} + \Sigma Q_{\text{вэр}} \quad (1)$$

где  $\Sigma Q_{\text{под}}$  – количество подведенной к метантенку тепловой энергии, МДж/сут;  $\Sigma Q_{\text{пол}}$  – количество полезно использованной тепловой энергии, МДж/сут;  $\Sigma Q_{\text{пот}}$  – потери тепловой энергии в ходе проведения технологического процесса в рассматриваемом метантенке, МДж/сут;  $\Sigma Q_{\text{вэр}}$  – количество образовавшегося в аппарате энергоносителя вторичных энергоресурсов (ВЭР), МДж/сут.

Рассчитывалось количество теплоты,  $Q_{\text{нагр}}$ , МДж/сут, требуемое для нагрева загружаемой массы отходов до температуры процесса брожения:

$$Q_{\text{нагр}} = m_M \cdot C_{pM} (t_{\text{ПР}} - t_{3\text{АГР}}) \quad (2)$$

где  $m_M$  – расход массы отходов, кг/сут;  $C_{pM}$  – средняя удельная теплоемкость массы отходов,  $C_{pM} = 4,1$  кДж/(кг·°С);  $t_{\text{ПР}}$  – температура процесса брожения, °С;  $t_{3\text{АГР}}$  – температура загружаемой массы, °С, принимается равной среднемесячной температуре окружающего воздуха, если меньше 5 °С, то принимается 5 °С.

Далее определялся расход энергии на механическое перемешивание массы в метантенке  $Q_{\text{мех}}$ , МДж/сут по формуле:

$$Q_{\text{мех}} = q_{\text{норм}} \cdot V_{\text{MT}} \cdot z \quad (3)$$

где  $q_{\text{норм}}$  – удельная нагрузка на мешалку,  $q_{\text{норм}} = 50 \text{ Вт} \cdot \text{ч}/\text{м}^3$ ;  $V_{\text{MT}}$  – объем метантенка,  $\text{м}^3$ ;  $z$  – продолжительность работы мешалки,  $z = 8$  часов в сутки.

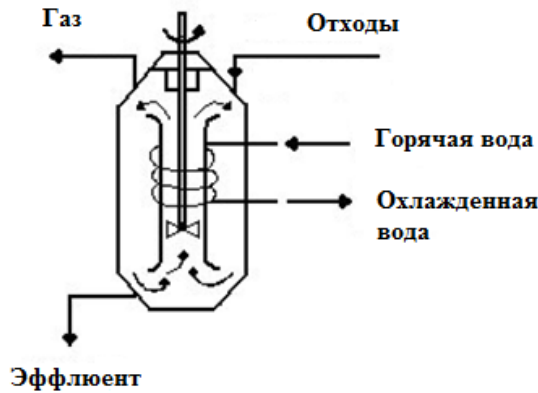


Рис. 1. Конструкция метантенка с перемешивающим устройством

Далее рассчитывался отвод тепла, связанный с биогазом  $Q_{\text{газ}}$ , МДж/сут:

$$Q_{\text{газ}} = m_{\text{газ}} \cdot (C_{p_{\text{газ}}} \cdot T + x_{\text{H}_2\text{O}} \cdot h_{\text{steam}}), \quad (4)$$

где  $m_{\text{газ}}$  – масса биогаза, кг/сут;  $C_{p_{\text{газ}}}$  – удельная теплоемкость биогаза, кДж/кг·К;  $T$  – температура биогаза, К;  $x_{\text{H}_2\text{O}}$  – доля испарения,  $x_{\text{H}_2\text{O}} = 0,03988$ ;  $h_{\text{steam}}$  – энтальпия испарения, кДж/кг $\text{H}_2\text{O}$ .

Далее рассчитывалось количество теплоты  $Q_{\text{пот.ст}}$ , МДж/сут, теряемое массой отходов при теплоотдаче через стенки метантенка в окружающую среду:

$$Q_{\text{пот.ст}} = k_{\text{ст}} F (t_{\text{пр}} - t_{\text{ср}}), \quad (5)$$

где  $k$  – коэффициент теплоотдачи,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ;  $F$  – площадь поверхности метантенка,  $\text{м}^2$ ;  $t_{\text{ср}}$  – средняя месячная температура воздуха,  $^\circ\text{C}$ .

Далее рассчитывались потери теплоты через стенку метантенка в зимний и летний периоды. Количество теплоты  $Q_{\text{пот.пт}}$ , МДж/сут, теряемое массой отходов в процессе теплоотдачи через потолок метантенка в окружающую среду определялось по формуле:

$$Q_{\text{пот.пт}} = k_{\text{пт}} S_{\text{осн}} (t_{\text{пр}} - t_{\text{ср}}), \quad (6)$$

Количество теплоты  $Q_{\text{пот.п}}$ , МДж/сут, теряемое массой отходов в процессе теплоотдачи через пол метантенка в окружающую среду определялось по формуле:

$$Q_{\text{пот.п}} = k_{\text{пт}} S_{\text{осн}} (t_{\text{пр}} - t_{\text{ср}}), \quad (7)$$

Суммарные тепловые потери в метантенке определялись по формуле:

$$\Sigma Q_{\text{пот./зима/лето}} = Q_{\text{пот.ст}} + Q_{\text{пот.пт}} + Q_{\text{пот.п}} \quad (8)$$

Далее рассчитывался отвод тепла с эффлюентом,  $Q_{\text{вэр}}$ , МДж/сут:

$$Q_{\text{вэр}} = m_{\text{эф}} \cdot \Delta T \cdot C_{p_{\text{H}_2\text{O}}}, \quad (9)$$

где  $m_{\text{эф}}$  – масса эффлюента, кг/сут;  $\Delta T$  – разница между температурой внутри метантенка и температурой окружающей среды, К;  $C_{p_{\text{H}_2\text{O}}}$  – удельная теплоемкость воды, кДж/кг·К.

Таким образом, общее количество подведенной к метантенку тепловой энергии рассчитывалось:

$$\Sigma Q = Q_{\text{нагр}} + Q_{\text{мех}} + Q_{\text{газ}} + Q_{\text{вэр}} + \Sigma Q_{\text{пот}} \quad (10)$$

Тепловые КПД метантенка в зимний и летний периоды рассчитывались по формуле:

$$\eta_{\text{зима}} = \frac{\Sigma Q - Q_{\text{газ}} - \Sigma Q_{\text{пот./зима/лето}} - Q_{\text{вэр}}}{\Sigma Q} \quad (11)$$

По результатам расчета составлены диаграммы, тепловой эффективности метантенков и графики потерь теплоты.

На рисунке 2 представлена диаграмма, характеризующая термофильный режим брожения отходов. Наименьшей тепловой эффективностью в зимний период характеризуются бетонный и стальной резервуары объемом  $500 \text{ м}^3$  ( $\eta \approx 35\%$ ), вследствие высоких потерь теплоты через стенки и пол; наибольшей тепловой эффективностью характеризуются метантенки объема  $50 \text{ м}^3$  ( $\eta \approx 37,5\%$ ). В летний период наибольшая тепловая эффективность характерна для объема  $250 \text{ м}^3$  ( $\eta \approx 38,5\%$ ).

Бетонный и стальной метантенк объема  $500 \text{ м}^3$  характеризуются наибольшими потерями теплоты через теплообменную поверхность; в зимний период потери составили 2865 и 2588

МДж/сут, соответственно, в летний – 1519 и 1372 МДж/сут. На рисунке 3 приведены графики потерь через теплообменную поверхность на примере бетонного метантенка. С уменьшением объема метантенков уменьшаются и потери теплоты через теплообменную поверхность.

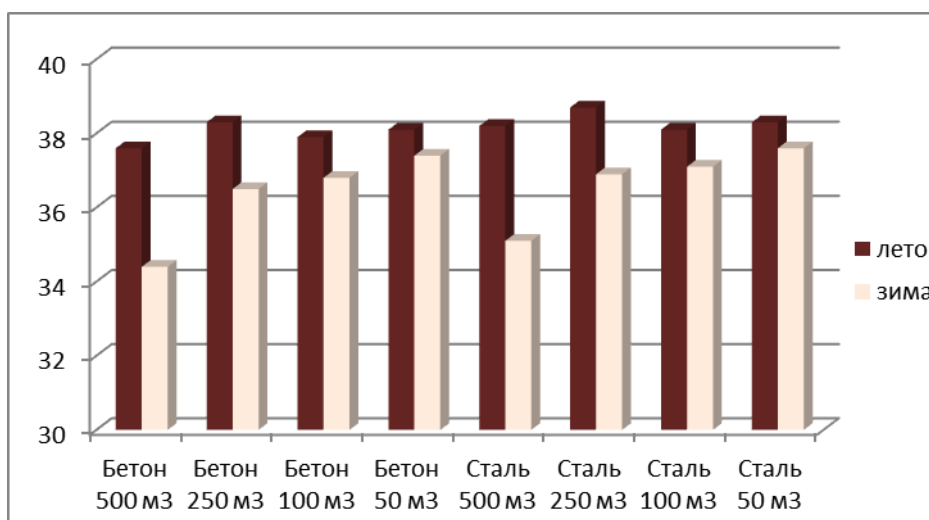


Рис. 2. Тепловые КПД при термофильном режиме брожения отходов, %

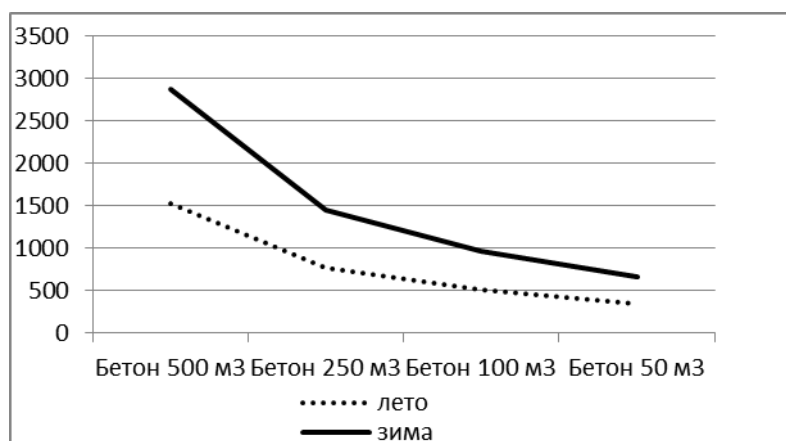


Рис. 3. Потери теплоты при термофильном режиме брожения отходов (МДж/сут)

При мезофильном режиме брожения ТБО наименьшей тепловой эффективностью в зимний период характеризуются бетонный и стальной резервуары объемом 500 м<sup>3</sup> ( $\eta \approx 36\%$ ), также из-за высоких потерь теплоты через стенки и пол. Наибольшей тепловой эффективностью характеризуются метантенки объема 50 м<sup>3</sup> ( $\eta \approx 37,5\%$ ). В летний период, наоборот, для резервуаров объемом 500 м<sup>3</sup> характерны максимальные тепловые КПД ( $\eta \approx 43,5\%$ ), а для резервуаров объемом 50 м<sup>3</sup> – минимальные ( $\eta \approx 39\%$ ). Величины потерь теплоты через теплообменную поверхность при мезофильном режиме в летний и зимний периоды меньше, чем при термофильном. Значительные потери теплоты метантенков при термофильном режиме брожения можно объяснить большой разницей температур загружаемых отходов и непосредственно температуры брожения.

Выход биогаза при термофильном режиме брожения составил 11,95 МДж/сут, при мезофильном – 5,3 МДж/сут. Отвод теплоты с эффлюентом представляет собой тепловую энергию ВЭР. При термофильном режиме брожения  $Q_{\text{вэр/лето}}=4414$ ,  $Q_{\text{вэр/зима}}=6306$  МДж/сут; при мезофильном режиме брожения  $Q_{\text{вэр/лето}}=1892$ ,  $Q_{\text{вэр/зима}}=3784$  МДж/сут.

Выводы.

На основании проведенного анализа видно, что общая потребность в теплоте для процесса ферментации отходов определяется главным образом затратами на подогрев отходов до

температуры брожения. Затраты тепловой энергии для компенсации тепловых потерь могут быть снижены путем применения лучшей изоляции. Максимальные значения тепловых потерь характерны для зимнего периода вследствие большого объема резервуара. Наибольшая тепловая эффективность при термофильном режиме брожения характерна для объема 250 м<sup>3</sup> ( $\eta \approx 38,5\%$ ) в летний период и для объема 50 м<sup>3</sup> ( $\eta \approx 37,5\%$ ) в зимний. Наибольшая тепловая эффективность при мезофильном режиме характерна для объема 500 м<sup>3</sup> ( $\eta \approx 38,5\%$ ) в летний период и для объема 50 м<sup>3</sup> ( $\eta \approx 37,5\%$ ) в зимний. Выход биогаза в термофильном режиме больше (11,95 МДж/сут), чем в мезофильном (5,3 МДж/сут).

#### Список литературы

1. Гюнтер Л.И., Гольдфарб Л.Л. Метантенки. – М.: Стройиздат, 1991. – 128 с.
2. <http://www.methanetomarkets.ru>
3. Вигдорович В.И., Шель Н.В., Зарапина И.В. Теоретические основы, техника и технология обезвреживания, переработки и утилизации отходов // Энциклопедия инженера-химика. – 2011. – №4. – С. 22-28.
4. Шубов Л.Я., Борисова О.Н., Доронкина И.Г. Технологии обращения с отходами: преимущества и недостатки, мифы и реалии // Твердые бытовые отходы. – 2011. – №10. – С. 2-6.
5. Назмеев Ю.Г., Конахина И.А. Организация энерготехнологических комплексов в нефтехимической промышленности. М.: Издательство МЭИ, 2001.
6. Захаров А.А. Практикум по применению теплоты и теплоснабжению в сельском хозяйстве. – М.: Колос, 1985. – 175 с.
7. Чеботарева О.В., Сербин В.А., Колосова Н.В. Теплообмен с окружающей средой метантенка для сбраживания биомассы // Вісник Донбаської нац. Академії будівництва I архітектури. – 2010. - №6. – С. 31-36.
8. Lindorfer H, Braun R, Kirchmayr R. Self-heating of anaerobic digesters using energy crops // Water Science and Technology. – 2006; 53(8). – P. 159-166.

#### Проблема сбора бытовых отходов в городе Томск

*Лаутениллегер Н.Н., Сечин А.А.*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск*

Жизнедеятельность человека связана с появлением огромного количества разнообразных отходов. Резкий рост потребления в последние десятилетия во всём мире привёл к существенному увеличению объёмов образования твёрдых бытовых отходов (ТБО). В настоящее время масса потока ТБО, поступающего ежегодно в биосферу достиг почти геологического масштаба и составляет около 400 млн. тонн в год, представляющих серьезную санитарно-эпидемиологическую угрозу. Большое количество отходов создает экономические и технические проблемы их сбора, хранения, переработки, захоронения и транспортировки.

Проблема твердых бытовых отходов (ТБО) является весьма актуальной поскольку ее решение связано с необходимостью обеспечения нормальной охраны окружающей жизнедеятельности населения, санитарной очистки городов, среды и ресурсосбережения.

Первоочередной задачей в решении проблемы ТБО является разработка оптимальных систем их сбора транспортировки. Промедление удаления ТБО из мест образования недопустимо, так как может это способствует серьезному загрязнению городов. Удаляют ТБО либо на полигоны захоронения, либо на специальные заводы для переработки и обезвреживания. В Томске полигонному захоронению подвергают около 95% образующихся ТБО. Поскольку свалки все дальше удаляются от города, а бесконечно плечо вывоза ТБО увеличиваться не может, становится весьма актуальной промышленная переработка ТБО. Именно промышленная переработка, решающая в совокупности вопросы обезвреживания, ликвидации и утилизации ТБО, представляет собой кардинальный путь решения этой проблемы.

Постепенный переход от полигонного захоронения к промышленной переработке является основной тенденцией решения проблемы ТБО в мировой практике.

Основной целью работы являлся поиск альтернативных методов сбора бытовых отходов: отдельный сбор мусора и т.д., а также привлечение внимание населения к проблемам окружающей среды.

Для достижения поставленной цели был сформулирован ряд задач:  
Исследовать экологическую ситуацию круговорота ТБО в г.Томск.

Побеседовать о экологической ситуации в г.Томск с начальником Департамента природных ресурсов и охраны окружающей среды Томской области ОГУ «ОБЛКОПРИРОДА» Адамом Александром Мартыновичем.

Научить население рационально самостоятельно перерабатывать ТБО, уменьшая их в объёме, и правильно утилизировать вредные бытовые отходы.

Отходы – остатки продуктов или дополнительный продукт, образующиеся в процессе или по завершении определенной деятельности и не используемые в непосредственной связи с этой деятельностью. Под определенной деятельностью понимается производственная, исследовательская и другая деятельности, в том числе, - потребление продукции. Соответственно различают отходы производства и отходы потребления.

Отходы потребления – изделия и материалы, утратившие свои потребительские свойства в результате физического или морального износа. К отходам потребления относят и твердые бытовые отходы, образующиеся в результате жизнедеятельности людей.

Отходы производства – остатки сырья, материалов и полуфабрикатов (обрезки металлов, дерева, стружки и т.д.), образовавшиеся в процессе производства в силу его технологических особенностей, несовершенства технологии, а также угар, распыл, усушка и т.д.

Отходы в зависимости от степени негативного воздействия на окружающую среду подразделяются в соответствии с критериями, установленными федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим государственное регулирование в области охраны окружающей среды, на пять классов опасности:

- I класс – чрезвычайно опасные отходы;
- II класс – высокоопасные отходы;
- III класс – умеренно опасные отходы;
- IV класс – малопасные отходы;
- V класс – практически неопасные отходы.

Для любого города и населенного пункта проблема удаления или обезвреживания твердых бытовых отходов всегда является в первую очередь проблемой экологической. Весьма важно, чтобы процессы утилизации бытовых отходов не нарушали экологическую безопасность города, нормальное функционирование городского хозяйства с точки зрения общественной санитарии и гигиены, а также условия жизни населения в целом.

Социальные нормы часто влияют на то, каким образом будет проведено управление отходами. В привлечении населения в управление отходами большую роль играет психология. Таким образом, в образовании и руководстве системы управления отходами необходимы знания всевозможных дисциплин и опыт, а также глубокое знание местных условий.

Тот, кто собирает отходы, часто определяет их дальнейшую обработку. Если все отходы, не отсортировав, собирают вместе в одном контейнере, скорее всего, что их захоронят на полигоне или на свалке, или же сожгут.

Если отходы сортируют по фракциям уже на месте их появления – в домашних хозяйствах, в учреждениях и на предприятиях – тогда, скорее всего, их будут перерабатывать, используя как вторичное сырье. Чем лучше отходы сортируют на месте их появления, тем экономичнее и легче передать их на переработку.

Чтобы внедрить эти методы в жизнь, необходим качественный сбор и сортировка отходов, которую могут частично выполнять в домашних хозяйствах, а также операторы обработки отходов.

Качественная сортировка отходов имеет большое значение при определении расходов при переработке отходов в однородных потоках материалов. Материалы, приспособленные к переработке, с большой экономической стоимостью, это: бумага, картон, алюминиевая тара, стекло, пластмассовая упаковка и биологически разлагающиеся отходы.

Одним из основных методов минимизации количества отходов, поступающих на объекты санитарной очистки, является предварительная сортировка отходов.

Раздельный сбор мусора нужен для:

- улучшения экологической обстановки;
- получения из отходов материалов для последующего использования;
- уменьшения массы отходов жилищно-коммунального сектора;
- сокращения эмиссии парниковых газов.

На рис. 1 приведена схема рационального управления бытовыми отходами.

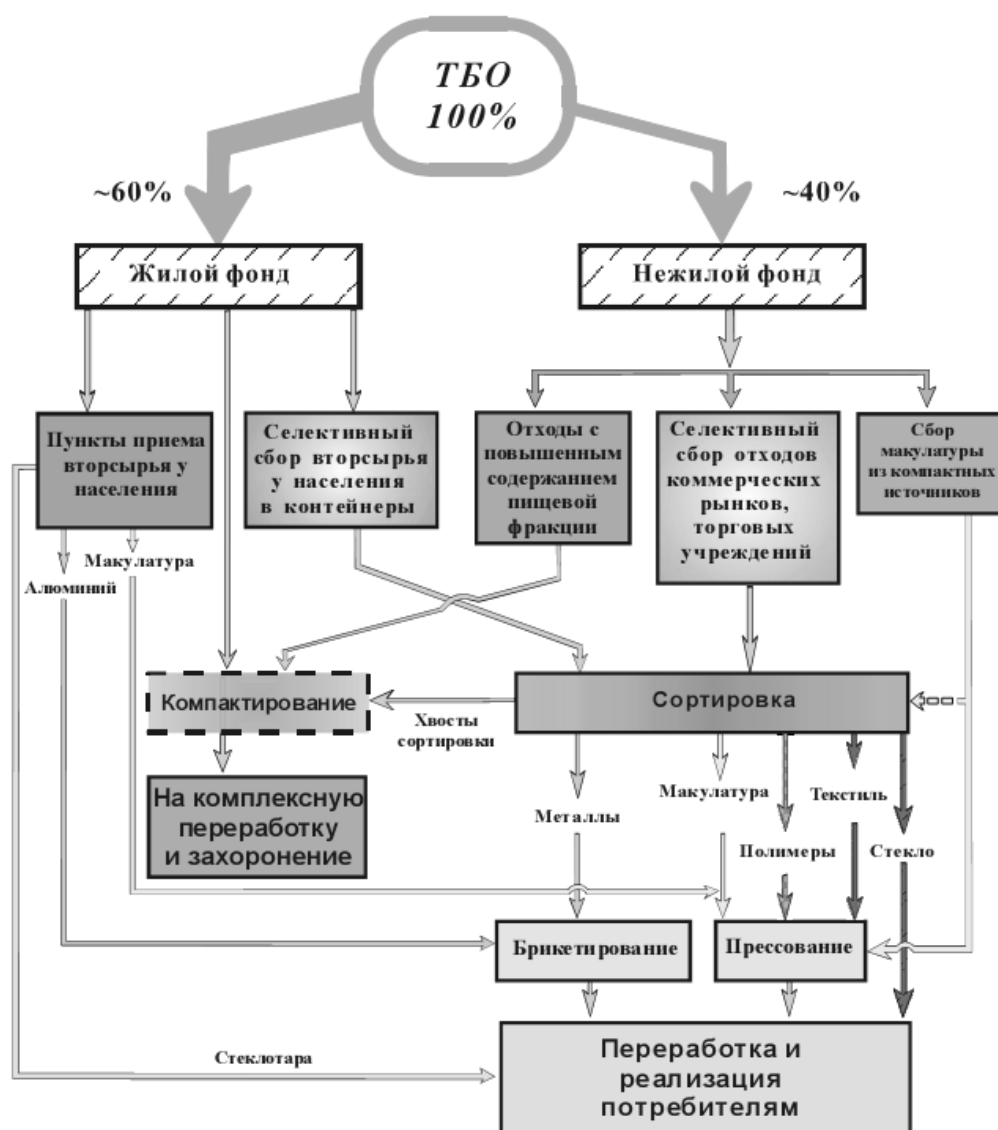


Рис.1. Схема рационального управления твердыми бытовыми отходами.

После посещения Департамента природных ресурсов и охраны окружающей среды Томской области ОГУ «ОБЛКОПРИРОДА» пришли к выводу, что система сбора ТБО не налажена. Начальник департамента Адам Александр Мартынович рассказал, что полигон в Суровосухоречье (Новомихайловка), практически заполнен, и планируется строительство завода по сортировке мусора с дальнейшим вывозом на полигон. Поэтому, исходя из выше сказанного, предлагаются следующие методы решения проблемы, а именно:

- Мусорные баки раскрасить в яркие цвета, чтобы привлекать внимание граждан;
- Массовая агитация людей к раздельному сбору мусора;
- Развитие экологического воспитания с дошкольного возраста;
- Ужесточение мер наказания за несанкционированный выброс мусора;
- Информировать граждан о существующих специальных полигонах для высокоопасных отходов (люминесцентные лампы, аккумуляторы, батарейки, отработанные масла и автомобильные покрышки).

В департаменте природных ресурсов существует пластмассовый куб, куда граждане могут принести отработавшие батарейки, так же в г.Томске имеются пункты по приёму пластиковых бутылок, люминесцентных ртутьсодержащих ламп, и т.д.

Варианты сбора вторичного сырья в разных странах различны. Это могут быть центры сбора мусора, устройства для раздельного сбора мусора возле жилых домов.

Одним из основных методов минимизации количества отходов, поступающих на объекты санитарной очистки, является предварительная сортировка отходов. К сожалению, в Томске существует только полигонный метод захоронения, т.к. полигон практически заполнен планируется строительство завода по переработке мусора в районе Московского тракта, но встает серьезный вопрос: не будут ли продукты горения вредны для города.

#### Список литературы

1. Дрейер А.А., Сачков А.Н., Никольский К.С., Маринин Ю.И., Миронов А.В. Твердые промышленные и бытовые отходы, их свойства и переработка, 2004.
2. Бабанин И.В. Оценка эффективности раздельного сбора отходов / И.В. Бабанин // Твердые бытовые отходы. 2006. № 10. С. 40-43.
3. Бабанин И.В. Раздельный сбор в России: миссия выполнима // Твердые бытовые отходы. 2007. № 2.
4. Демчишин А.А. Переработка отходов: замкнутое производство / Твердые бытовые отходы. 2007. № 11. С.14.
5. Лобачева Г.К., Желтобрюхов В.Ф., Прокопов И.И., Фоменко А.П. Состояние вопроса об отходах и современных способах их переработки: Учебное пособие. Волгоград: Волг-ГУ, 2005.

#### К вопросу обеспечения пожаровзрывобезопасности шахтных технологических объемов.

*Сечин А.И., Мезенцева И.Л.*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет*

[morozova212007@yandex.ru](mailto:morozova212007@yandex.ru)

Проблема обеспечения безопасности в шахтах, разрабатывающих метаносные пласты угля, продолжает оставаться актуальной в России и за рубежом.

В угольных пластах выделяются разные газы: наиболее часто метан ( $\text{CH}_4$ ), реже сероводород ( $\text{H}_2\text{S}$ ) и углекислый газ ( $\text{CO}_2$ ). Эти газы редко оказываются причиной смерти или серьезных заболеваний. Исключение составляет взрывоопасный метан. Для предупреждения взрывов метана и угольной пыли в угольных шахтах необходимо вести непрерывный контроль за содержанием метана в воздухе и обеспечивать удаление пыли из шахтных вентиляционных каналов.

Из анализа литературных источников [1] известно, что в большинстве случаев метан скапливается в следующих объемах (табл.1):

Таблица. 1 - Объемы скопления метана в различных местах шахты

Место скопления	Объем, м <sup>3</sup>
У исполнительных органов комбайнов	0,1-0,5
В пространстве между корпусом комбайна и забоем	до 1
На машинной дороге в очистных выработках крутых пластов	до 6

Исследования, проведенные рядом авторов, показали [2]:

В пространстве между корпусом комбайна и забоем, при нормальном проветривании очистных выработок, скорость скопления метана превышает 1,5 м<sup>3</sup>/мин.

В пространстве над корпусом и машинной дороге выше, при нормальном проветривании очистных выработок, скорость скопления метана превышает 1 м<sup>3</sup>/мин.

Метан, как составная часть горючей системы, выделяется в атмосферу угольных шахт из массива, а также из разрыхленного взрывом или механическим способом угля. Считается, что вероятность появления источника зажигания близка к 1 [4], что и обуславливает высокую потенциальную угрозу.

Взяв за расчетный объем выделившегося метана 300 м<sup>3</sup>, рассчитаем по методике [4] на различном расстоянии от источника взрыва параметры избыточного давления и импульса волны давления [4]. На основе полученных результатов построили графики:

Как видно из графиков зависимости избыточного давления от расстояния эпицентра взрыва (рис. 1) можно разделить на несколько зон – безопасные зоны, менее опасные, зоны опасные и смертельные по воздействию избыточного давления на человека [4].

Первая линия, отмеченная на графике (рис. 1) на расстоянии 5-25 м, является смертельной, при воздействии фактора избыточного давления.

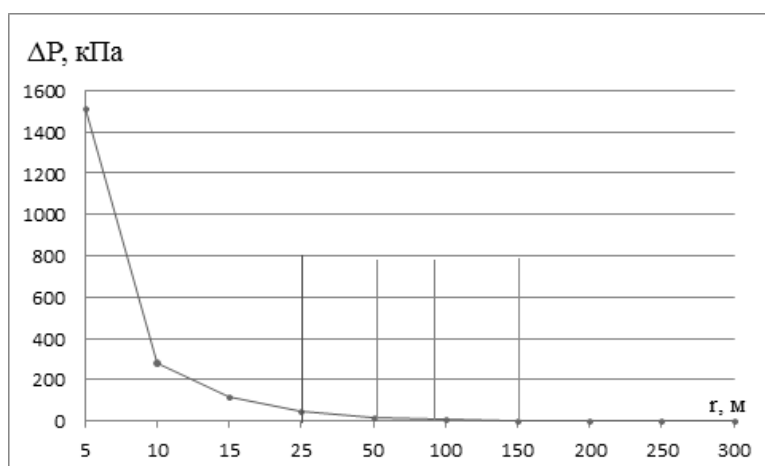


Рис. 1. Влияние избыточного давления на человека на разных расстояниях от эпицентра взрыва, принятый объем метана: 300 м<sup>3</sup>

На расстоянии 50 м приводит к поражению человека средней тяжести.

На расстоянии 90 м можно получить легкие ушибы.

В точке 150 м и за ней безопасная зона, никаких воздействий на человека не будет.

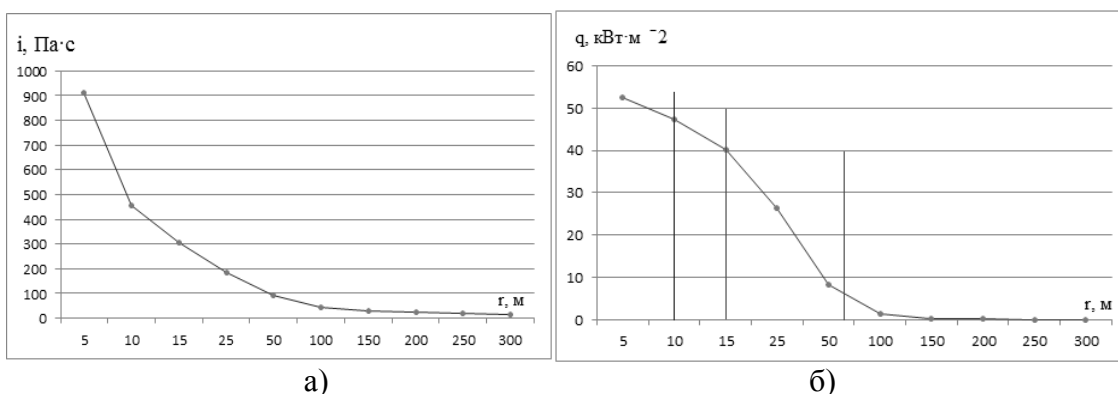


Рис. 2. а) импульс избыточного давления на разных расстояниях от эпицентра взрыва, б) интенсивность теплового излучения при воздействии «Огненного шара» на человека, принятый объем метана: 300 м<sup>3</sup>

На данном графике (рис. 2, а) показан импульс, возникший при взрыве метана, вблизи взрыва он максимальный и несет губительный характер. Также на протяжении прохождения волны импульса будет происходить взмучивание пыли и при не удовлетворительных мероприятиях по очистке и осланцеванию угольной пыли может привести к усилению взрывной волны, подпитываясь, ударно-воздушная волна может перейти в детонацию.

Также были рассчитаны интенсивность теплового излучения и эффективный диаметр «Огненного шара» [4]. На основе проведенных расчетов строим графики интенсивности теплового излучения при воздействии «Огненного шара» на человека.

Анализируя рис.2 б) и данные представленные в таблице [4] можно определить степень интенсивности теплового излучения и определить безопасные зоны.

В точке 10-15 м произойдет воспламенение древесины, окрашенной масляной краской по струганой поверхности; воспламенение фанеры [4]. Смертельно для человека находящегося на данном расстоянии от эпицентра. На расстоянии 65 м и далее – безопасная зона.

Взрывобезопасность технологического оборудования и производственных помещений обычно осуществляют посредством флегматизации горючих парогазовых смесей в указанных объемах с помощью различных газообразных добавок. Количественно флегматизация характеризуется минимальной флегматизирующей концентрацией флегматизатора  $C_{ф}$ .



Проведя расчет концентрации горючего  $C_g$  и разбавителя  $C_{\phi}$  в экстремальной точке области воспламенения при флегматизации метана  $CH_4$  шламовой водой по методике [4], находим предельно допустимую взрывобезопасную концентрацию флегматизатора  $C_{рф}$ , (% об.) [4] и с учетом коэффициент запаса в 30% принимаем  $C_{рф} = 40\%$ .

На основе проведенных расчетов были сформированы критерии системы секционирования, которые и легли в основу разрабатываемого метода секционирования шахтных технологических объемов.

Результаты проведенных расчетов сведены в таблицу 2.

Таблица. 2 - Параметры избыточного давления ( $\Delta P$ , кПа) и импульса волны давления при сгорании газопаровоздушных смесей ( $i$ , Па·с), интенсивность теплового излучения ( $q$ , кВт/м<sup>2</sup>), коэффициент пропускания атмосферы ( $\tau$ ) и доза теплового излучения ( $Q$ , Дж/м<sup>2</sup>)

$r$ , м	$\Delta P$ , кПа	$i$ , Па·с	$q$ , кВт/м <sup>2</sup>	$\tau$	$Q$ , Дж/м <sup>2</sup>
5	1510,91	911,97	52,44	0,09	$2,53 \cdot 10^2$
10	281,93	455,98	47,18	0,99	$2,28 \cdot 10^2$
15	118,5	303,99	40,17	0,99	$1,94 \cdot 10^2$
25	45,36	182,39	26,3	0,98	$1,27 \cdot 10^2$
50	15,3	91,2	8,26	0,96	$3,99 \cdot 10$
100	6,16	45,6	1,44	0,93	6,96
150	3,81	30,4	0,45	0,90	2,16
200	2,76	22,8	0,18	0,87	$90,4 \cdot 10^{-1}$
250	2,16	18,24	0,09	0,84	$4,53 \cdot 10^{-1}$
300	1,77	15,2	0,05	0,81	$2,55 \cdot 10^{-1}$

На основе данных представленных результатов можно предложить следующее.

Забой и прилегающие к нему штреки на расстоянии 50 м – рассматривается как секция наиболее опасная. Далее 50 м – секция наименее опасная.

На расстоянии от забоя и прилегающего штрека (50 м) рекомендуется устанавливать шести метровую водяную завесу тамбурного типа (постоянно действующую). Шестиметровая протяженность тамбура принята на основе экспериментальных исследований системы взрывоподавления АСВП-ЛВ.

Система представляет собой дренчерную установку с постоянным включением подачи шламовой воды. Концентрация взвеси воды в м<sup>3</sup> объема должна быть не менее 40 %, что обеспечивает МВСК при прохождении пламени.

В случаи аварийной ситуации взрывная волна проходя через водяную завесу будет взвешенную воду толкать пробкой по шахтному объему проводя эффект осланцевания и гася в нем свою энергию.

При длительности теплового излучения  $q=8,26$  кВт/м<sup>2</sup> и времени существования «Огненного шара»  $t_s=4,83$  с ожидаемое воздействие на человека - ожог 1 степени [статья].

При прохождении теплового излучения через тамбурную водяную завесу время действия сокращается до 0,96 с, что практически не будет оказывать негативных последствий на работников шахт.

Из литературных данных и действующих нормативных документов принято систему АСВП-ЛВ устанавливать на расстоянии от предполагаемого эпицентра взрыва 250-300м, по проведенным расчетам это расстояние должно составлять 68 м.

Эвакуация работающих из зоны чрезвычайной ситуации, как предписывает стандарт, проводятся со скоростью 5 м/с. Так как стандарт рекомендует безопасное расстояние 25 м предлагаем протяженность наименее опасной секции Б принять 100м, так как, из анализа работ предшественников следует [5], что параметры взрыва шахтных технологических объемов до 10 м<sup>3</sup> метана не сопровождается детонационным горением.

Предлагается деление шахтного технологического объема на секции А и Б по опасности взрывопроявления.

Протяженность секции А по штрекам – 50 м.

Протяженность секции Б – 100 м.

Разделительные тамбура представляют собой шестиметровую водяную завесу.

В результате проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

Проведены расчеты параметров волны давления при сгорании газопаровоздушных смесей, а также интенсивности теплового излучения и времени существования «Огненного шара». Установлены размеры зон травмирования по тяжести воздействия на работающих и размеры безопасных зон теплового влияния излучения на работающих при воздействии «Огненного шара».

Установлена необходимая концентрация флегматизирующего вещества, для безопасного проведения работ. Концентрация взвеси воды в м<sup>3</sup> объема должна быть не менее 40 %.

Разработаны критерии системы секционирования шахтных технологических объемов.

#### Список литературы

1. Краткий справочник горного инженера угольной шахты: справочник / под ред. А. С. Бурчакова, Ф. Ф. Кузюкова. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Недра, 1982. — 454 с.
2. Миронов К. В. Справочник геолога-угольщика. — М.: Недра, 1982. — 311 с.
3. Задорожная Т.А., Сечин А.И., Осипенко С.И., Долдин И.Н., Терехин Д.В., Барский М.С. Некоторые вопросы моделирования зажигания пылевоздушной смеси с целью определения времени индукции процесса/ Ж. Современные наукоемкие технологии. 2012. № 5. С. 32-34.
4. ГОСТ Р 12.3.047-98 Пожарная безопасность технологических процессов.
5. Сечин А.И., Бошнятов Б.В., Косинцев В.И., Сечин А.А., Лаптев Д.А., Задорожная Т.А. К проблеме разработки комплексных мероприятий по обеспечению пожаровзрывобезопасности шахтных технологических процессов/ Ж. Современные наукоемкие технологии. 2008. № 4. С. 126-128.

## Секция 6

Медико-биологические аспекты  
техногенного влияния энергетики

УДК 616.23/.24-002.2-008.4:612.21/.26

**Регионарные функции легких при хронической обструктивной болезни легких**  
*Агеева Т.С., Тетенев Ф.Ф., Дубоделова А.В., Левченко А.В., Мишустина Е.Л., Кривоногов Н.Г. \**  
ГБОУ ВПО «Сибирский государственный медицинский университет» Министерства  
здравоохранения Российской Федерации, г. Томск, Россия  
\*ФГБУ «Научно-исследовательский институт кардиологии» СО РАМН  
e-mail: ts.ageeva@mail.ru

У 25 пациентов ХОБЛ I-II стадии изучены регионарные функции легких и их значение для диагностики ранних стадий ХОБЛ. При ХОБЛ было обнаружено двустороннее увеличение апикально-базального градиента перфузии и замедление альвеолярно-капиллярной проницаемости по всем регионам легких, а также повышение регионарных значений неэластического сопротивления в нижней и средней зонах правого легкого, что сопровождалось увеличением вентиляции средних зон легких.

Хроническая обструктивная болезнь легких (ХОБЛ) относится к распространенным заболеваниям и находится на 6 месте среди ведущих причин смерти в мире [1]. В стандартах Европейского респираторного общества подчеркивается, что ХОБЛ диагностируется своевременно лишь в 25% случаев [2]. Особенность клинической картины ХОБЛ заключается в том, что болезнь длительное время протекает без выраженных клинических проявлений, при медленном и неуклонном прогрессировании заболевания [3]. В связи с этим проблема ранней диагностики и своевременной терапии ХОБЛ остается весьма актуальной. Ведущее место в диагностике ХОБЛ и объективной оценке степени тяжести заболевания имеет исследование функции внешнего дыхания. Согласно международным рекомендациям (GOLD, 2003) объединяющий признак всех стадий ХОБЛ – постбронходилатационное снижение соотношения ОФВ1/ФЖЕЛ < 70%, характеризующее ограничение экспираторного воздушного потока [1,3]. Однако, существует значительное количество факторов, как вне-, так и внутрилегочных, влияющих на указанные показатели. Поэтому использование функциональных вентиляционных тестов полностью решить проблему ранней диагностики ХОБЛ не может [4,5]. Одним из возможных направлений ранней диагностики ХОБЛ может быть оценка регионарных функций легких с помощью вентиляционно-перфузионной пульмоноскинтиграфии и механики дыхания [6,7].

Цель работы: изучить регионарные функции легких и их значение для диагностики ранних стадий ХОБЛ.

Материал и методы

Вид исследования: проспективное, когортное. Были обследованы 25 пациентов в возрасте 38,4 (31,5-45,3) лет с верифицированным диагнозом ХОБЛ I-II стадии в период ремиссии заболевания. В контрольную группу вошли 20 здоровых добровольцев, возраст которых составил 30,7 (26,2-35,1) лет. Всем обследованным было проведено исследование интегрального и регионарных значений общего неэластического сопротивления легких (ОНСЛ) на вдохе и выдохе. Интегральное ОНСЛ измеряли методом одновременной регистрации транспульмонального давления и спирограммы. При этом ОНСЛ на вдохе (ОНСЛ<sub>вд</sub>) и выдохе (ОНСЛ<sub>выд</sub>) определяли отношением наибольшего значения неэластического компонента транспульмонального давления к средней скорости воздушного потока на вдохе и выдохе. Тканевое неэластическое сопротивление легких (ТНСЛ) определяли методом вычитания бронхиального сопротивления (Raw) из ОНСЛ. Регионарные значения ОНСЛ (регионарные значения ТНСЛ) были исследованы в верхней, средней и нижней зонах легких посредством одновременной регистрации зональных реограмм вентиляции методом Е.А. Фринермана [8] и транспульмонального давления. Регистрацию реограмм вентиляции осуществляли с помощью реографа РПГ4-01. Одновременно регистрировались реограммы с двух симметричных зон обоих легких, синхронно с транспульмональным давлением и спирограммой. Расчет регионарных значений ОНСЛ производился аналогично, как при определении интегрального ОНСЛ, только при этом регионарные реограммы рассматривались как регионарные спирограммы. Графическую регистрацию кривых и расчет показателей интегрального и регионарных ОНСЛ осуществляли с

помощью специальной компьютерной программы [9]. Определение Raw проводили на бодиплетизмографе «Masterlab pro» фирмы «Erich Jaeger» (Германия). Кроме того, пациентам ХОБЛ и лицам контрольной группы была проведена вентиляционно-перфузионная пульмоносцинтиграфия. Первоначально проводили вентиляционную сцинтиграфию легких, затем – перфузионную. В качестве радиофармпрепарата (РФП) для перфузионной пульмоносцинтиграфии использовали макроагрегат альбумина человеческой сыворотки крови, меченный <sup>99m</sup>Технецием – <sup>99m</sup>Тс-Макротех («Диамед», Россия). Вентиляционную пульмоносцинтиграфию проводили непосредственно после ингаляции РФП, приготовленного на основе диэтилентриаминпентаацетата, меченного <sup>99m</sup>Технецием – <sup>99m</sup>Тс-Пентатех («Диамед», Россия). Регистрацию сцинтиграфических изображений проводили в статическом режиме в задне-прямой проекции (POST) на первой минуте после ингаляции РФП, затем – в передне-прямой (ANT) и боковых проекциях (LL 900, RL 900), после чего через 10 и 30 мин после ингаляции РФП пациенту повторно проводили статическую сцинтиграфию легких лишь в задне-прямой проекции. Время экспозиции на каждую проекцию составило 2 мин. После получения сцинтиграфических изображений рассчитывали процент аккумуляции препарата каждым легким в отдельности и определяли интегральные и регионарные величины вентиляционно-перфузионного соотношения (V/Q), альвеолярно-капиллярной проницаемости (АКП) по разработанной нами методике [10]. Сцинтиграфические исследования выполнены на гамма-камере «Омега-500» («Technicare» США-Германия). Регистрацию изображений проводили в матрицу 128×128 специализированного компьютера. Все проводимые исследования были одобрены этическими комитетами ГБОУ ВПО СибГМУ Минздрава России и ФГБУ «НИИ кардиологии» СО РАМН. Обработку полученных сцинтиграмм осуществляли при помощи пакета прикладных программ «SCINTI» (НПО «ГЕЛМОС», Россия). Полученные данные подвергались статистической обработке при помощи пакета программ STATISTICA 6 for Windows. Проверку на нормальность распределения признака определяли с помощью W-теста Шапиро-Уилка. Анализ включал расчет квартилей (Me, Q1-Q2) для ненормально и несимметрично распределенных параметров. Поскольку закон распределения большинства исследуемых числовых показателей отличался от нормального, достоверность различия признаков в независимых совокупностях данных определялась при помощи U-критерия Манна-Уитни. Критический уровень значимости при проверке статистических гипотез в исследовании задавался величиной 0,05.

#### Результаты и обсуждение

По результатам выполненной вентиляционно-перфузионной пульмоносцинтиграфии, в контрольной группе накопление как ингалированного, так и перфузируемого РФП в левом легком составило 47,3 (45,0-49,6)% и в правом – 52,7 (49,6-55,8)%. Вентиляционно-перфузионное соотношение для каждого легкого не превышало 1,0 и составило 0,9 (0,9-1,0). Результаты проведенных исследований показали, что проницаемость альвеолярно-капиллярной мембраны была равномерной в обоих легких и на 10-й мин исследования она составила 17,1 (13,3-21,2) %, а на 30-й мин – 37,5 (32,3-42,7) %, соответственно. У пациентов ХОБЛ было усиление перфузии верхних отделов легких, что подтверждало и повышение градиента перфузии. При этом градиент вентиляции и вентиляционно-перфузионное соотношение, как в правом, так и в левом легких не отличались от аналогичных значений у лиц контрольной группы. Величины АКП при ХОБЛ составили в правом легком на 10-й мин исследования 10,5 (10,2-10,9)%, на 30-й мин – 21,4 (19,8-22,9) %, в левом легком на 10-й мин исследования – 11,3 (10,1-12,5) %, на 30-й мин – 23,5 (22,3-24,8) % и были замедлены по сравнению с аналогичными показателями АКП в контрольной группе (p=0,002; 0,001; 0,003 и 0,003). Замедление АКП для РФП при ХОБЛ на ранних стадиях развития свидетельствует о нарушении функционального состояния альвеолярно-капиллярной мембраны, которое, возможно, обусловлено эндотелиальной дисфункцией, поскольку изменения в сосудах легких наблюдаются еще до появления нарушений функции внешнего дыхания и/или редукцией легочной паренхимы с запустеванием капиллярного русла при развивающейся эмфиземе легких, возникающей уже на ранних стадиях развития ХОБЛ [11,12]. Постбронходилатационное соотношение ОФВ1/ФЖЕЛ у пациентов ХОБЛ составило 68,04(63,41-74,43) % должной величины и было повышено по сравнению с исходными значениями ОФВ1/ФЖЕЛ. МОС на уровне 25%, 50%, 75% форсированной жизненной емкости легких выдоха составили: 64,60(59,44-71,75) %, 49,3(45,55-53,09) % и 28,11(25,28-30,93) % должной величины и были снижены по сравнению с аналогичными показателями у лиц контрольной группы (p=0,001, <0,0001 и <0,0001). Показатели общей емкости легких и ее структуры не отличались от аналогичных показателей у лиц контрольной группы. Зарегистрировано повышение Raw на вдохе – 1,24(0,88-1,60) кПа·л·л·с и на выдохе – 1,35(0,57-2,13) кПа·л·л·с (p=0,006 и 0,001). Анализ ОНСЛ

свидетельствовал о значительном возрастании ОНСЛ на вдохе 0,328(0,239-0,417) кПа·л-1·с и выдохе 0,470(0,375-0,565) кПа·л-1·с ( $p=0,002$  и  $0,006$ ). При этом повышение ОНСЛ происходило за счет его фракций – аэродинамического сопротивления на вдохе 0,213(0,173-0,253) кПа·л-1·с и выдохе 0,251(0,231-0,271) кПа·л-1·с ( $p=0,014$  и  $0,002$ ) и тканевого трения на вдохе 0,155(0,096-0,214) кПа·л-1·с и выдохе 0,306(0,228-0,384) кПа·л-1·с ( $p=0,002$  и  $0,007$ ). Регионарные значения ОНСЛ были повышены на выдохе в средней и нижней зонах правого легкого – 6,42(5,68-7,16) кПа·л-1·с и 9,97(7,85-12,09) кПа·л-1·с ( $p=0,002$  и  $<0,0001$ ), в остальных зонах – соответствовали аналогичным значениям у лиц контрольной группы.

#### Выводы

Таким образом, на ранних стадиях ХОБЛ отмечается замедление регионарных значений альвеолярно-капиллярной проницаемости по всем зонам легких и повышение регионарных значений общего неэластического сопротивления легких только в нижней и средней зонах правого легкого. Выявленные изменения могут быть использованы в качестве дополнительных критериев в диагностике ХОБЛ.

#### Список литературы:

1. Пульмонология. Национальное руководство /под ред. акад. РАМН А.Г. Чучалина. – М. : ГОЭТАР-Медиа, 2013.– 800 с.
2. Авдеев С.Н. Обострение хронической обструктивной болезни легких: современные подходы к диагностике и лечению (обзор) // Терапевтический архив. 2004. № 11. С. 43-50.
3. Аверьянов А.В., Чучалин А.Г., Поливанова А.Э. и др. Фенотипы больных хронической обструктивной болезнью легких // Терапевтический архив. 2009. № 3. С. 9-15.
4. Вострикова Е.А., Багрова Л.О., Осипов А.Г. и др. Чувствительность и специфичность спирометрических показателей при скрининговом исследовании респираторной функции // Пульмонология. 2004. № 5. С. 45-50.
5. Глобальная стратегия диагностики, лечения и профилактики хронической обструктивной болезни легких: пересмотр 2006 года: пер. с англ. / Всемирная организация здравоохранения (Женева), Национальный институт сердца, легких и крови. М.: Атмосфера, 2007. – 96 с.
6. Рубин М.П. Радионуклидные методы диагностики функциональных нарушений легких в амбулаторных условиях // Терапевтический архив. 2008. № 1. С. 10-16.
7. Агеева Т.С., Тетенев Ф.Ф., Кривоногов Н.Г. и др. Характеристика и природа изменения тканевого эластического сопротивления по регионам легких при внебольничной пневмонии // Сибирский медицинский журнал. 2011. № 4. С. 75-79.
8. Жуковский Л.И., Фринерман Е.А. Исследование функции легких методом зональной реографии // Совет. медицина. 1975. № 8. С. 35-37.
9. Национальное руководство по радионуклидной диагностике / под ред. Ю.Б. Лишманова, В.И. Чернова. – в 2-х т. – Томск : STT, 2010. Т. 2. – 418 с.
10. Лишманов Ю.Б., Кривоногов Н.Г., Агеева Т.С. и др. Сцинтиграфическая характеристика нарушений легочной вентиляции и перфузии у пациентов внебольничными пневмониями // Сибирский медицинский журнал. 2008. № 1 (2). С. 11-15.
11. Гриппи М.А. Патофизиология легких: пер. с англ. / М.А. Гриппи. – М.: Восточная книжная компания, 1997. – 344 с.
12. Philippe A. Grenier Phenotyping of COPD using ct // Торакальная радиология: Международная конференция и школа для врачей (силлабус), 2012. С. 46-52.

УДК 616.8-008.61:616.89-008.47]-053.2:612.821

#### **Влияние хронической патологии ротоглотки у детей на развитие синдрома дефицита внимания/гиперактивности**

**С.В. Самарина, А.П. Помогаева, Т.В. Матковская**

*Сибирский государственный медицинский университет. Детская городская больница №2.*

*E-mail:lanadoc@sibmail.com*

На современном этапе одной из главных задач цивилизованного общества является укрепление здоровья подрастающего поколения [2]. В последние годы выросло число детей, испытывающих трудности при адаптации в дошкольно-школьных учреждениях с наличием в анамнезе различных заболеваний, в том числе синдрома дефицита внимания (СДВГ) [4,5,7]. Существует зависимость заболеваемости и резистентности организма от психоэмоционального состояния и вегетативного тонуса [1,6]. В структуре заболеваемости наряду с изменениями

нервной системы, как итог перенесенного в раннем возрасте перинатального поражения центральной нервной системы, регистрируется соматическая патология в виде хронического аденоидита и тонзиллита, что может в свою очередь отражаться на речевом и когнитивном развитии в рамках нервно-психического развития детей.

Целью исследования является выявление зависимости синдрома дефицита внимания/гиперактивности у детей дошкольного и младшего школьного возраста от хронической патологии ротоглотки.

Материалы и методы. Применялись следующие методы исследования: объективное обследование, консультация невролога, отоларинголога, логопеда, определение нервно-психического развития (НПР), включающего оценку движений общих (ДО), движений руки (ДР), сенсорное развитие (СР), умственное развитие и психику (УР), игры (И), навыки (Н), поведение (П), социальную адаптацию (СА). Проводилось тестирование родителей обследованных детей с использованием опросника J.Swanson, который включает в себя 43 вопроса с характеристикой личностных показателей. По результатам скрининга опросника J.Swanson можно судить о наличии симптомов синдрома дефицита внимания и гиперактивности по шкалам «невнимательность» - INATT, «импульсивность/гиперактивность» - IMP/HYP, «оппозиционные расстройства» - ODD и «невнимательность без гиперактивности» - ADHD.

Всего под наблюдением находилось 112 детей, из них 33 ребенка дошкольного возраста и 79 детей младшего школьного возраста. В группу сравнения вошло 25 детей с лор-патологией (без обострения) в анамнезе и проявлениями СДВГ.

Диагностика СДВГ проводилась по МКБ – 10 и DSM-IV. Имеющиеся в них признаки являлись основными критериями включения пациентов в исследование. Все дети имели нормальный интеллект. Родители детей предъявляли идентичные жалобы на низкую концентрацию внимания и сложности в обучении, особенно у детей группы сравнения.

В анамнезе у детей группы сравнения хроническая лор-патология представлена в 80% случаев хроническим аденоидитом вне обострения и 20% - сочетание хронического аденоидита и тонзиллита вне обострения.

Определение НПР у детей младшего школьного возраста показало изменения СР предметов, не имеющих сходство признака (цвет, форма, размер, число элементов) у 19% детей с хронической патологией лор органов по сравнению с 9% основной группы детей, в умении обобщать предметы - в 28% случаев детей с наличием хронической патологии лор органов не справились с заданием, а в основной группе - 11%. Умение формировать мышление по аналогии отрицательный результат наблюдался в 28% случаев у детей группы сравнения по отношению к 21% детей основной группы. В умении анализа, сравнения, классификации представленного материала у 25% по сравнению с 11,6% детей без лор-патологии Исследование УР включало показатели математического и логического мышления. При исследовании математических способностей, изменения встречались чаще у детей группы сравнения. У детей дошкольного возраста с хронической лор-патологией так же чаще встречались изменения СР в виде нарушения умения обобщать предметы применительно к наглядному материалу у 28% по сравнению с 9%.

Обобщив результаты определения НПР у исследуемых детей, выявлено из 25 человек группы сравнения - I группу составили 12% детей, II группу -80%, а III группа наблюдалась только в 8 % случаев. Среди 33 детей дошкольного возраста и основной группе - I группа определялась у 67,8% детей, II группа – у 30,3%, а III группа наблюдалась в 1,9 % случаев. Дети младшего школьного возраста имели следующее распределение по группам НПР: I группа у 22,7% детей, II группа наблюдалась у 63,4% детей, III группа определялась в 13,9 % случаев.

Анализ скрининга результатов по опроснику J.Swanson (2000) подтвердил наличие синдрома дефицита внимания/гиперактивности у детей. При заполнении родителями данного опросника, согласно имеющимся индексам подсчета баллов, у детей с синдромом дефицита внимания с гиперактивностью и без гиперактивности выявлены следующие показатели по шкалам INATT («невнимательность») средний балл был 10,3 у детей группы сравнения, а у детей основной группы - 8,7. ADHD («невнимательность без гиперактивности») средний балл – 10,0 - у детей с лор-патологией и 9,3 – в основной группе. Средний балл IMP/HYP («импульсивность/гиперактивность») – 6,5 – у детей группы сравнения и 5,3 у детей основной группы. Средний балл ODD («оппозиционные расстройства») – 9,3 – у детей основной группы и 10,2 – у детей группы сравнения. Следует отметить, что у детей с невнимательностью в сочетании с гиперактивностью чаще преобладала II группа НПР и менее выражен анализ сравнения и сформированность мышления по аналогии, а так же когнитивные функции при исследовании математического и логического мышления.

При клиническом осмотре отмечалось беспокойное поведение детей, расторможенность, суетливость, рассеянность внимания, а у некоторых присутствовали в поведении элементы шутливости, что характеризует незрелость эмоционально-волевой сферы. Особенно эти признаки ярко были выражены у детей с хронической патологией лор-органов.

Затрудненное носовое дыхание, обусловленное аденоидами несомненно влияет на формирование звуков и развитие речи[3]. Все дети в группе сравнения имели фонематическое нарушение слуха в сочетании с дислалией или дизартрией.

Таким образом, исследуя НПР у детей с синдромом дефицита внимания и гиперактивности, обнаружено, что чаще у последних определялись II группа нервно-психического развития, с выявленным торможением словесно-логического, математического и наглядно-образного мышления. В результате исследования выявлено влияние хронической патологии носоглотки у детей на тяжесть СДВГ с превалированием симптомов дефицита внимания, что требует в свою очередь дальнейшее обследование этих детей с консультацией отоларинголога, невролога и дополнительной инструментальной диагностики в сочетании с медико-педагогической коррекцией.

#### Список литературы:

1. Безруких М.М. с соавт./ Возрастная физиология.// М.,- 2002г.- 415С.
2. Баранов А.А./ Оценка здоровья детей и подростков при профилактических осмотрах (руководство для врачей)/ А.А.Баранов, Л.М.Сухарева-М.:Издат.Дом «Династия»,2004-168с.
3. Нарушение звукопроизношения у детей.-СПб.Союз.2005.
4. Политика О.И./ Дети с синдромом дефицита внимания и гиперактивности.// «Речь». С-Пб. – 2006г.- 208С.
5. Сиротюк А.Л. /Синдром дефицита внимания с гиперактивностью.// М.-2005г.-128С.
6. Сиротюк А.Л. /Коррекция обучения и развития школьников.// М.- 2001г.
7. Lou H.C. Etiology and pathogenesis of ADHD: significance of prematurity and perinatal hypoxic-haemodynamic encephalopathy// Acta Paediatr, 1996. 85.P.1266-1271.

УДК 612.21:616.24-002-008.4

#### Работа внутрилегочного источника механической энергии у здоровых лиц и при внебольничной пневмонии

*Тетенев Ф.Ф., Тетенев К.Ф., Бодрова Т.Н., Агеева Т.С., Карзилов А.И.*

*ГБОУ ВПО «Сибирский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Россия, г. Томск  
e-mail: ts.ageeva@mail.ru*

Исследование работы внутрилегочного источника механической энергии посредством прерывания воздушного потока на 0,2 с на вдохе и выдохе в середине дыхательного цикла выявило, что она варьировала от 0 до 0,430 кг·м/мин при внебольничной пневмонии, тогда как у здоровых лиц – от 0,067 до 0,130 кг·м/мин. Природа этих вариаций у здоровых людей и изменения ее степени выраженности при внебольничной пневмонии пока остаются неизвестными.

Изучение и систематизация парадоксальных явлений в механике дыхания позволили сформулировать теорию о механической активности легких [1,2]. Основанием для доказательства механической активности легких было клинко-экспериментальное изучение двух основных парадоксов: деформации плато транспульмонального давления (ТПД) во время прерывания воздушного потока и преобладание амплитуды дыхательных колебаний давления в заклиненном бронхе над величиной амплитуды внутригрудного давления. В изолированных легких парадоксальные явления отсутствовали. Первый парадокс характеризовал интегральную механическую активность легких, второй – механическую активность региона легких с заклиненным бронхом. Развитие теории механической активности легких получило в разработке учения об асинфазном сопротивлении легких как проявлении механической активности легких [3,4], регионарной механической активности легких [5-7], механическом гомеостазисе легких [8] и функциональных изменениях эластического сопротивления легких [9]. Было показано, что степень выраженности деформации плато ТПД лишь отчасти связана с длительностью прерывания воздушного потока, что парадоксальное смещение плато ТПД происходит при кратковременном (на 0,2 с) прерывании воздушного потока, которое при этом у исследуемого не вызывает дыхательного дискомфорта. Так возникла гипотеза о возможности измерения работы

внутрилегочного источника механической энергии при спонтанном дыхании, была разработана методика, позволяющая получить первые результаты измерений [10,11].

Цель исследования: измерить работу внутрилегочного источника механической энергии при спонтанном дыхании у здоровых лиц и в патологических условиях – у пациентов с внебольничной пневмонией (ВП).

Материал и методы

Проведено проспективное когортное исследование, когорта формировалась во время исследования, прослеживалась до его окончания. После подписания информированного согласия в исследование было включено 20 человек: 10 здоровых добровольцев (средний возраст –  $28,7 \pm 1,6$  года) и 10 пациентов с ВП, средний возраст –  $22,3 \pm 2,1$  года. Утром натощак исследуемому лицу через нос в нижнюю треть пищевода вводился специальный зонд с резиновым баллончиком на конце. Исследуемый дышал в пневмотахографическую трубку с прерывателем воздушного потока. Регистрировали ТПД и спирограмму при спонтанном дыхании. В середине дыхательного объема на вдохе и выдохе прерывали воздушный поток клапаном на 0,2 с для определения альвеолярного давления (АД). По общепринятой методике по кривым ТПД и спирограмме строилась дыхательная петля. Внутри дыхательной петли откладывались величины АД, измеренного на вдохе и выдохе. Дыхательная петля ограничивает величины общего неэластического давления на вдохе и выдохе, которые можно рассматривать как АД, осуществляющее поток воздуха на вдохе и выдохе. При кратковременном прерывании воздушного потока АД выглядело в виде фигуры из двух линий, идущих от кривой ТПД к эластической оси легких. В тех случаях, когда фигура АД не достигала эластической оси легких, АД было меньше общего неэластического давления на величину давления, которое затрачивалось на преодоление тканевого трения, и механическая активность внутрилегочного источника механической энергии не выявлялась. Когда АД превышало величину общего неэластического давления на вдохе, выдохе или в обе фазы дыхания, проявлялась активность внутрилегочного источника механической энергии. Эта активность, очевидно, проявляется в течение всего вдоха и выдоха, но максимальная – в середине вдоха и выдоха. Избыточная часть АД на вдохе располагалась выше эластической оси, а на выдохе – ниже эластической оси легких (эффект измерения ТПД). Дополнительную работу дыхания, работу внутрилегочного источника механической энергии определяли с помощью графика, где один катет составлял дыхательный объем, другой катет – сумму избыточного АД на вдохе и выдохе. Площадь треугольника численно была равна работе внутрилегочного источника механической энергии легких. С помощью построения традиционной дыхательной петли определяли общую работу дыхания и ее фракцию, выполняемую дыхательной мускулатурой. Сумма работы внелегочного и внутрилегочного источников механической энергии характеризовала суммарную работу дыхания при спонтанном дыхании за один дыхательный цикл. Работу дыхания рассчитывали за 1 мин, умножая работу за один цикл на количество дыхательных движений за 1 мин [11]. Определяли минутный объем дыхания (МОД, л/мин), общую работу дыхания (ОРД, кг·м/мин), работу внутрилегочного источника механической энергии (Рви), суммарную работу дыхания (Рсум, кг·м/мин), процентное отношение Рви/ОРД, а также Рви/Рсум.

Статистическая обработка результатов проводилась с использованием пакета прикладных программ STATISTICA 6 for Windows. Проверку на нормальность распределения признака определяли с помощью W-теста Шапиро-Уилка. Анализ включал расчет квартилей (Me, Q1-Q2) для ненормально и несимметрично распределенных параметров. Поскольку закон распределения большинства исследуемых числовых показателей отличался от нормального, достоверность различия признаков в независимых совокупностях данных определялась при помощи U-критерия Манна-Уитни. Степень взаимосвязи между признаками оценивали, вычисляя коэффициент ранговой корреляции Спирмена (R). Критический уровень значимости при проверке статистических гипотез в исследовании задавался величиной 0,05.

Все проводимые исследования были одобрены этическим комитетом ГБОУ ВПО СибГМУ Минздрава России.

Результаты и обсуждение

Результаты измерения МОД выявили значительные его вариации – от 7,0 до 15,4 л/мин, что, вероятно, было связано с необычностью проведения исследования, включавшего введение зонда и выполнения различных маневров дыхания. В результате не удалось полностью создать условия, близкие к физиологическому спонтанному дыханию. Тем не менее, Рви достаточно отчетливо выявлялась у всех здоровых обследованных лиц и составляла в среднем 29,6 (26,0-34,0) % от суммарной работы дыхания. В группе здоровых лиц величина суммарной работы коррелировала с величиной МОД. У больных ВП вариации МОД были весьма значительными – от



7,0 до 29,8 л/мин. Во всех показателях, кроме ОРД, в среднем не было отмечено существенного статистически значимого различия с показателями у здоровых лиц. Процентное отношение  $R_{ви}$  к  $R_{сум}$  у больных ВП в среднем составило 19,4 (7,0-43,0) %. Тем не менее, обращают на себя внимание значительные вариации индивидуальных значений  $R_{ви}$  – от 0 до 0,430 кг·м/мин в группе больных ВП, тогда как у здоровых людей этот показатель варьировал от 0,067 до 0,130 кг·м/мин. Соответственно у больных ВП процентное отношение  $R_{ви}/ОРД$  варьировало от нуля до 122,9 % и  $R_{ви}/R_{сум}$  – от 0 до 55,1 %. У 2 больных ВП  $R_{ви}$  не выявлялась, а у 2 она была выражена весьма значительно. Величины ОРД и МОД,  $R_{сум}$  и МОД коррелировали достаточно отчетливо ( $r=0,63$  и  $0,68$  при  $p<0,05$  – у здоровых лиц;  $r=0,82$  и  $0,68$  при  $p<0,05$  – у пациентов с ВП).

#### Выводы

До настоящего времени природа различной степени проявления механической активности внутрилегочного источника механической энергии остается неизвестной, как и причина изменения степени выраженности механической активности легких при ВП. Методика измерения работы внутрилегочного источника механической энергии позволяет идентифицировать только избыточную работу в условиях прерывания воздушного потока. При этом она может и повышаться, и понижаться, однако действует постоянно, как при физиологических, так и при патологических условиях. Механическая активность легких, по всей вероятности, является центральным свойством живой системы аппарата внешнего дыхания. Патологические изменения в этой системе, по-видимому, определяют различные формы патологии легких. Поэтому морфофункциональные и клинико-фармакологические исследования этой системы могут открыть не только новые знания [12], но и новые лечебно-диагностические возможности при заболеваниях внутренних органов.

#### Список литературы:

1. Тетенов Ф.Ф. Биомеханика дыхания. Томск : Изд-во Том. ун-та, 1981. 152 с.
2. Тетенов Ф.Ф. Обструктивная теория нарушения внешнего дыхания. Состояние, перспективы развития // Бюлл. Сибирской медицины. 2005. №4. С. 14-26.
3. Бодрова Т.Н., Карзилов А.И., Тетенов Ф.Ф. Значение системы плевральных листков в механике дыхания // Бюл. эксперим. биол. и мед. 1993. № 1. С. 20-21.
4. Бодрова Т.Н., Тетенов Ф.Ф., Агеева Т.С., Левченко А.В., Ларченко В.В., Даниленко В.Ю., Кашута А.Ю. Структура неэластического сопротивления легких при внебольничных пневмониях // Бюллетень сибирской медицины. 2006. Т. 5, № 3. С. 69-72.
5. Агеева Т.С., Жаворонок Т.В., Тетенов Ф.Ф., Кривоногов Н.Г., Рязанцева Н.В., Завадовская В.Д., Степовая Е.А., Дубоделова А.В., Петина Г.В., Стариков Ю.В., Даниленко В.Ю. Внебольничные пневмонии: клинико-сцинтиграфическая характеристика и окислительный дисбаланс клеток // Клиническая медицина. 2007. № 7. С. 43-48.
6. Агеева Т.С., Тетенов Ф.Ф., Кривоногов Н.Г., Дубоделова А.В., Левченко А.А., Ларченко В.В. Характеристика и природа изменения тканевого неэластического сопротивления по регионам легких при внебольничной пневмонии // Сибирский медицинский журн. (Томск). 2011. Т. 26. № 4. С. 75-79.
7. Тетенов Ф.Ф., Агеева Т.С., Кривоногов Н.Г., Левченко А.В., Кашута А.Ю., Тетенов К.Ф. Общее неэластическое сопротивление легких и проницаемость альвеолярно-капиллярной мембраны при внебольничных пневмониях // Терапевтический архив. 2009. №3. С. 43-47.
8. Карзилов А.И., Тетенов Ф.Ф., Бодрова Т.Н. Оценка влияния механических свойств легких на паттерны и показатели механики их вентиляции при различных биологических состояниях // Бюлл. Сибирской медицины. 2007. № 2. С. 17-25.
9. Тетенов К.Ф., Бодрова Т.Н., Тетенов Ф.Ф. Механические свойства легких при бронхиальной астме // Тер. архив. 2007. № 3. С. 30-33.
10. Способ определения величины работы дыхания внутрилегочного источника механической энергии при спонтанном дыхании. Тетенов К.Ф., Тетенов Ф.Ф., Бодрова Т.Н., Левченко А.В., Агеева Т.С., Кашута А.Ю., Карзилов А.И., Ларченко В.В., Якис О.В.: пат. 2364330 Рос. Федерация. № 2008126887/14; заявл. 01.07.08; опубл. 20.08.2009, Бюл. №23. – 7 с.
11. Способ определения величины суммарной работы дыхания внутрилегочного и внелегочного источников механической энергии при спонтанном дыхании. Тетенов К.Ф., Тетенов Ф.Ф., Бодрова Т.Н., Кашута А.Ю., Левченко А.В., Агеева Т.С., Карзилов А.И., Ларченко В.В., Якис О.В., Калинина О.В.: пат. 2364331 Рос. Федерация. № 2008126889/14; заявл. 01.07.08; опубл. 20.08.09, Бюл. № 23. – 7 с.
12. Тетенов Ф.Ф. Обоснование к новому пониманию физиологии механических движений внутренних органов // Бюлл. Сибирской медицины. 2012. №4. С. 86-92.

УДК 612.216.2:616.24-073.756.8

**Возможности экспираторно-инспираторной компьютерной томографии для характеристики вентиляционной функции легких**

*Якомаскина М.В., Завадовская В.Д., Агеева Т.С., Тетенев Ф.Ф., Мишустина Е.Л.  
ГБОУ ВПО «Сибирский государственный медицинский университет» Министерства  
здравоохранения Российской Федерации, Россия, г. Томск  
e-mail: ts.ageeva@mail.ru*

С целью определения состояния вентиляционной функции легких у 13 пациентов внебольничной пневмонией была выполнена экспираторно-инспираторная компьютерная томография. Показано негативное влияние бронхолитика на состояние легочной вентиляции у пациентов внебольничной пневмонией, которое проявилось в снижении градиента плотности легочной ткани после бронходилатационного теста.

Внебольничная пневмония (ВП) является одной из актуальных проблем современной медицины в связи с высокой заболеваемостью и смертностью, несмотря на постоянное совершенствование методов ее диагностики и лечения. Исследование вентиляционной функции легких представляет собой один из важных этапов ведения пациентов с ВП в связи с часто регистрируемыми у них значительными нарушениями вентиляционной функции [1,2,3]. Поскольку до сих пор в литературе встречаются рекомендации по использованию бронхолитиков в патогенетической терапии ВП, определенный интерес представляет изучение их влияния на бронхиальную проходимость с использованием денситометрического показателя – градиента плотности (ГП) легких при проведении функциональной экспираторно-инспираторной компьютерной томографии. Возможность использования метода функциональной компьютерной томографии высокого разрешения (КТВР) ранее была показана для оценки бронхиальной проходимости у пациентов ХОБЛ, где было установлено, что величина среднего ГП обоих легких связана со степенью обструктивных нарушений ( $r=-0,67$ ;  $p=0,001$ ), что выражалось в снижении среднего ГП при нарастании обструктивных нарушений и при отсутствии отличий ГП по правому и левому легким ( $p=0,43$ ) [4].

Цель работы: изучить возможности функциональной экспираторно-инспираторной компьютерной томографии для характеристики вентиляционной функции легких при ВП путем определения градиента плотности по пораженному и интактному легкому.

**Материал и методы**

Проведено проспективное когортное исследование, когорта формировалась во время исследования, прослеживалась до его окончания. После подписания информированного согласия выполнено обследование 13 пациентов ВП, средний возраст которых составлял  $38,4 \pm 2,4$  года. Методика экспираторно-инспираторной компьютерной томографии с использованием функциональных проб выполнялась на спиральном компьютерном томографе «Xpress GX» фирмы Toshiba (Япония) в режиме спирального сканирования с толщиной выделяемого слоя 1,5 мм в положении пациента лежа на спине. На уровнях дуги аорты, бифуркации трахеи, на 2 см выше купола диафрагмы в обоих легких и на уровне зоны инфильтрации в пораженном легком определялся ГП, означающий разницу показателей плотности легочной ткани в различные фазы дыхания. Исследование ГП выполнялось до ингаляции бронхолитика и через 15 мин после ингаляции препарата (сальбутамол, 400 мг). Для преодоления объективных трудностей оценки вентиляционной функции при обширных поражениях воспалительной инфильтрацией, была сделана попытка оценивать вентиляцию легких при односторонней локализации пневмонии у больных ВП по состоянию интактного легкого, в котором воспалительной инфильтрации не было, и интактных зон пораженного легкого. Выполненные исследования были одобрены этическим комитетом ГБОУ ВПО СибГМУ Минздрава России.

**Результаты и обсуждение**

Среди 13 пациентов ВП у 10 имелась паренхиматозная инфильтрация в виде очаговой (46,1%), полисегментарной пневмонии (30,8%). Сочетание полисегментарной пневмонии и экссудативного плеврита было установлено в 2 наблюдениях. Сочетание очагового уплотнения легкого с нечеткостью стенок сосудов и общим снижением воздушности легочной ткани по типу «матового стекла» было выявлено у 1 больного. У 13 пациентов ВП до приема бронхолитика значения ГП колебались от 43 Нз до 246,2 Нз. Указанные значения явились результатом разницы между относительно низкой плотностью легочной паренхимы в фазу вдоха (-701,0 Нз) и повышением плотности легочной паренхимы в фазу выдоха (-207,4 Нз). Причем, это отмечалось

как в интактном легком, так и в интактных зонах пораженного легкого. По величинам ГП после ингаляции бронхолитика все пациенты были разделены на 2 подгруппы. В 1 подгруппу вошли 9 пациентов с нормальной динамикой среднего ГП: после ингаляции бронхолитика отмечалось повышение его исходных значений в интактных зонах пораженного легкого и в интактном легком от 71,5 Ну и 228 Ну – до 68,2 Ну и 268,2 Ну (после ингаляции бронхолитика). В 1 подгруппе пациентов ВП отмечалась паренхиматозная инфильтрация по типу очаговой (5) и плевропневмонической (3), в 1 наблюдении инфильтрация носила интерстициальный характер. Распространенность воспалительной инфильтрации у этих пациентов была в подавляющем большинстве сегментарной (88,8%) при поражении 1 сегмента (2), 2-х (4) или 3-х (3) сегментов. Во 2 подгруппу вошли 4 пациента, у которых была обнаружена парадоксальная реакция среднего ГП на ингаляцию бронхолитика. Так, в 3 наблюдениях было выявлено снижение ГП в обоих легких, в то время как у всех пациентов инфильтрация локализовалась справа. ГП на стороне поражения составлял 112,9 Ну, 148,2 Ну и 63,1 Ну; после ингаляции бронхолитика отмечалось его снижение до 96 Ну, 134,8 Ну и 56,7 Ну соответственно. В интактных легких: динамика ГП была следующей: до применения бронхолитика значения среднего ГП составляли 128,9 Ну, 147 Ну и 121 Ну. После бронхолитика указанные значения ГП понизились до 104,5 Ну, 108,8 Ну и 73,2 Ну соответственно. В 1 наблюдении на стороне поражения до ингаляции бронхолитика ГП был 88,6 Ну, в то время как в интактном легком – 107,2 Ну. После применения бронхолитика отмечалось снижение ГП на стороне инфильтрации до 70,2 Ну, и повышение ГП до 111,2 Ну в интактном легком. Во 2 подгруппе у всех из 4 пациентов ВП преобладал альвеолярный тип инфильтрации, при этом плевропневмонический тип был у 3 пациентов, очаговый – у 1 пациента. Распространенность воспалительной инфильтрации в данной подгруппе пациентов была обширной применительно к локализации поражения. Тотальное поражение доли было в 4 наблюдениях, причем в 2 случаях инфильтрации сопутствовал экссудативный плеврит.

Таким образом, в обеих подгруппах превалировал альвеолярный тип инфильтрации: в 1 подгруппе – 88,9%; во 2 подгруппе – 100%. Однако, если в 1 подгруппе среди альвеолярного типа ведущее место занимала очаговая инфильтрация (55,5%), то во 2 подгруппе – плевропневмоническая. Кроме того, в 1 подгруппе отмечалась меньшая распространенность инфильтративного поражения по сравнению с тотальным поражением доли или нескольких сегментов во второй подгруппе.

#### Выводы

Выявленная парадоксальная закономерность динамики ГП у пациентов ВП после ингаляций сальбутамола свидетельствует о негативном влиянии бронхолитика на состояние легочной вентиляции, что проявляется в виде снижения показателей ГП после бронходилатационного теста и обосновывает проведение дальнейших исследований.

#### Список литературы:

1. Логвиненко Н.И. Тяжелые пневмонии. Состояние проблемы // Бюллетень СО РАМН. – 2003. – №3. – С. 86-89.
2. Focal airtrapping at expiratory high-resolution CT: comparison with pulmonary function tests / H.-U. Kauczor J. Hast, C.P. Heussel et al. // Eur Radiol.- 2000.- №10.- P. 1539-1546.
3. Айсанов З.Р. Вопросы диагностики респираторной функции при внебольничной пневмонии // Пневмония / Под ред. А.Г. Чучалина, А.И. Синопальникова, Н.Е. Чернеховской. М. : Экономика и информатика, 2002. С. 312-325.
4. Родионова О.В. Инспираторно-экспираторная компьютерная томография высокого разрешения в диагностике хронической обструктивной болезни легких : дис. ... канд. мед. наук. – Томск. 2005. – 112 с.

#### Клиническое значение гиперлептинемии при гипертонической болезни с метаболическим синдромом

*Беспалова И.Д., Калюжнин В.В., Рязанцева Н.В., Медянцева Ю.А. \*, Мурашев Б.Ю., Осихов И.А.*  
ГБОУ ВПО СибГМУ Минздрава России, г.Томск

\*МУЗ «Томская центральная районная больница», Россия, г. Томск  
[innadave@mail2000.ru](mailto:innadave@mail2000.ru)

Одним из основных причинных факторов высокой распространенности сердечно-сосудистых заболеваний в мире считают эпидемию метаболического синдрома (МС) –

симптомокомплекса, объединившего в себе модифицируемые факторы риска развития и тяжелого течения ряда социально значимых заболеваний, способствующих также катастрофическому снижению качества жизни (КЖ) трудоспособного населения [1-4].

Признание большинством исследователей абдоминального (центрального) ожирения основным компонентом МС имеет не только большое клиническое значение, но и, подтверждает его ключевую роль в патогенезе заболеваний, объединенных рамками этого симптомокомплекса. По современным представлениям в белой жировой ткани синтезируется большое количество биологически активных веществ, адипокинов, которые попадая в кровь, реализуют свое системное действие. Одним из наиболее изученных специфических для жировой ткани адипокинов, является лептин – гормон, основной эффект которого направлен на подавление аппетита и расход энергии в организме. Известно, что МС и ожирение сопровождаются гиперлептинемией и лептинорезистентностью, при этом доказано участие гиперлептинемии в механизмах инсулинорезистентности и артериальной гипертензии у тучных людей. Однако в клинической практике исследование в сыворотке крови концентрации лептина считают нецелесообразным, что отчасти можно объяснить отсутствием убедительных данных о ее влиянии на КЖ.

Цель исследования: изучение взаимосвязи гиперлептинемии с качеством жизни (КЖ), степенью метаболических нарушений и активностью системного воспаления у больных гипертонической болезнью с МС.

#### Материал и методы

В амбулаторных условиях проведено одномоментное (поперечное) исследование 46 пациентов с ГБ II стадии, АД < 180/110 мм рт. ст. в сочетании с метаболическим синдромом (основная группа), диагностированными согласно рекомендациям Всероссийского научного общества кардиологов [1]. Средний возраст пациентов составил 54,32±8,54 года, длительность артериальной гипертензии (АГ) на момент исследования колебалась от 3 до 24 лет. Абсолютное большинство пациентов представлено женщинами – 36 (78,3%). Группу контроля составили 12 практически здоровых человек, не имеющих признаков МС и сопоставимых по возрастным и гендерным характеристикам с пациентами основной группы. Лиц с симптоматической АГ, с тяжелыми сопутствующими заболеваниями и с заболеваниями воспалительной природы другой локализации в исследование не включали. Все пациенты, включенные в исследование, подписали информированное согласие. Протокол исследования одобрен этическим комитетом ГБОУ ВПО СибГМУ Минздрава России (регистрационный № 1707).

Для оценки степени ожирения и характера распределения жира проведены измерения антропометрических параметров: массы тела, роста, окружности талии (ОТ), окружности бедер (ОБ), сагиттального абдоминального диаметра (СД). Также определяли индекс массы тела (ИМТ) и индекс ОТ/БО, объем общей жировой ткани (ООЖТ, л), объем висцеральной жировой ткани (ОВЖТ, л), объем подкожной жировой ткани (ОПЖТ, л). Висцеральный тип ожирения устанавливался при значении ОТ > 80 см для женщин и > 94 см для мужчин, при ОТ/ОБ > 0,9 и сагиттальном абдоминальном диаметре > 25 см [2]. В стандартных условиях измерялось артериальное давление (АД). На автоматическом биохимическом анализаторе АВХ Pentra 400 (Франция) в сыворотке крови, взятой утром натощак, определяли концентрацию глюкозы, общего холестерина (ОХС), триглицеридов (ТГ), липопротеинов низкой и высокой плотности (ЛПНП и ЛПВП), мочевой кислоты (МК), С-реактивного белка (СРБ). Концентрацию фибриногена в крови устанавливали хронометрическим методом по Clauss на коагулометре (ООО «ТЕХНОЛОГИЯ-СТАНДАРТ», Барнаул). Концентрацию лептина, инсулина и неоптерина в сыворотке крови определяли методом иммуноферментного анализа с помощью наборов ELISA (США). Для диагностики инсулинорезистентности (ИР) использована малая модель гомеостаза (Homeostasis Model Assesment – НОМА). Значения индекса НОМА-IR более 2,77 соответствует ИР. Всем обследуемым проведена оценка КЖ с использованием опросника MOS SF – 36®.

Статистическая обработка полученных результатов проведена с использованием пакета программ STATISTICA 6.0 (StatSoft, Inc., USA). Количественные данные представлены в виде медианы, 25-го и 75-го процентилей – Me (LQ; UQ), качественные признаки – в виде n, % (число больных с данным признаком, процент от их количества в группе соответственно). Множественные сравнения выполнялись с применением метода Краскела-Уоллиса ANOVA статистики. При так называемом Post-hoc-анализе использовали непараметрический тест Манна-Уитни с поправкой Бонферрони. Статистически значимыми считали различия при p<0,016. Для оценки статистической взаимосвязи между показателями вычисляли коэффициент ранговой корреляции Спирмена.

#### Результаты и обсуждение

Все пациенты в зависимости от уровня лептинемии были разделены на две группы: группу 1 составили пациенты с нормальным уровнем концентрации лептина в сыворотке крови (для женщин  $\leq 27,6$  нг/мл и для мужчин  $\leq 13,8$  нг/мл), группу 2 составили пациенты с выраженной гиперлептинемией ( $>27,6$  нг/мл и  $> 13,8$  нг/мл соответственно). Пациенты обеих групп существенно не различались по возрасту, длительности АГ и по проводимому лечению.

В таблице приведены результаты лабораторных тестов, выполненных в соответствии с протоколом исследования у лиц контрольной группы и вошедших в исследование пациентов. Обращают на себя внимание статистически значимые различия групп 1 и 2 с контрольной группой по абсолютному большинству изучаемых показателей: антропометрическим данным, уровню АД, концентрации в сыворотке крови показателей, характеризующих состояние жирового (ОХС, ЛПНП, ТГ), углеводного (инсулин, НОМА-IR) и пуринового (МК) обмена, а также маркерам системного воспалительного ответа (СРБ, фибриноген, неоптерин). В группах пациентов, выделенных по уровню концентрации лептина в сыворотке крови, также обнаружены статистически значимые различия по ряду показателей – маркеров МС (степени абдоминального ожирения, уровню САД, концентрации инсулина и индексу НОМА-IR, характеризующему степень инсулинорезистентности и концентрации СРБ).

Корреляционный анализ позволил установить ряд положительных статистически значимых взаимосвязей между концентрацией лептина в сыворотке крови и степенью абдоминального ожирения, уровнем САД, выраженностью дислипидемии, инсулинорезистентности и активностью системного воспалительного ответа.

Таблица Сравнительная клиничко-лабораторная характеристика исследуемых групп  
[Me (LQ; UQ)]

Показатели	Группа контроля (n=12)	Группа 1 (n=16)	Группа 2 (n=30)
Масса тела, кг	57 (53; 63)	72,68 (59,05; 81,5)*	94,07(80; 106)*^
ИМТ, кг/м <sup>2</sup>	21,48 (20,55; 21,97)	27,54 (23,25; 30,69)*	34,18 (30,8; 38,4)*^
ОТ, см	72 (68; 75)	91,92 (85,5; 97,5)*	106,18 (96;113)*^
ОБ, см	94 (92; 98)	102,83 (100; 109,5)*	116,73 (110; 121)*^
ОТ/ОБ	0,73 (0,7; 0,82)	0,89 (0,87; 0,92)*	0,92 (0,85; 0,98)*
СД, см	19 (17; 19)	22,83 (20; 25,5)*	27,98 (26,5; 31)*^
ООЖТ, л	7,53 (2,22; 9,4)	18,7 (8,91; 27,03)*	36,66 (25,6; 47,88)*^
ОВЖТ, л	2,39 (0,93; 2,39)	5,19 (3,12; 7,14)*	9,4 (8,4; 11,14)*^
ОПЖТ, л	4,57 (0,17; 7,01)	13,51 (5,43; 19,63)*	27,5 (17,3; 35,48)*^
САД, мм рт. ст.	112 (110; 120)	131 (120; 135)	138 (130; 140)*^
ДАД, мм рт. ст.	80 (70; 80)	78 (70; 80)	84,06 (80; 88)*
Глюкоза, ммоль/л	5,45 (5,13; 5,58)	5,17 (4,7; 5,37)	6,2 (5,1; 6,3)
ОХС, ммоль/л	4,61 (3,62; 4,85)	5,46 (4,09; 6,46)	5,76 (5,15; 6,2)*
ТГ, ммоль/л	0,67 (0,56; 0,86)	1,64 (0,88; 1,78)*	1,91 (1,10; 2,19)*
ЛПНП, ммоль/л	1,97 (1,89; 2,8)	3,67 (2,4; 4,52)*	4,1 (3,2; 4,89)*
ЛПВП, ммоль/л	1,3 (1,25; 1,4)	1,3 (1,09; 1,58)	1,4 (1,18; 1,61)
МК, ммоль/л	204 (178; 242)	258,17 (218,5; 312,5)	282,98 (212; 330)*
Фибриноген, г/л	2,9 (2; 3,1)	3,82 (3,21; 4,5)*	3,62 (3,0; 4,35)*
Неоптерин, моль/л	2,38 (2,12; 2,86)	6,4 (3,79; 6,96)*	6,4 (3,64; 8,15)*
СРБ, мг/л	0 (0; 0,12)	4,27 (0,08; 2,19)*	6,2 (0,91; 8,67)*^
Инсулин, мкМЕД/мл	9,48 (7,4; 11,67)	10,9 (7,34; 13,49)*	19,05 (11,23; 23,23)*^
НОМА-IR	2,2 (1,7; 2,69)	2,5 (1,59; 3,29)*	5,24 (2,54; 6,5)*^

Примечание: Группа 1 – пациенты с нормальной концентрацией лептина, группа 2 – пациенты с гиперлептинемией. \* – различия с группой контроля статистически значимы, ^ - различия с 1-й группой статистически значимы.

Затем анализировались данные опросника MOS SF – 36®. На рисунке представлены результаты оценки КЖ в двух группах пациентов, выделенных по уровню лептинемии, и в группе контроля. Интересным нам кажется факт отсутствия статистически значимых различий между показателями КЖ в группе пациентов с ГБ, имеющих нормальный уровень концентрации лептина в сыворотке крови (группа 1) и в группе контроля, тогда как у больных с гиперлептинемией (группа 2) КЖ было ниже, чем у пациентов 1-й группы и лиц контрольной группы ( $p < 0,016$ ).

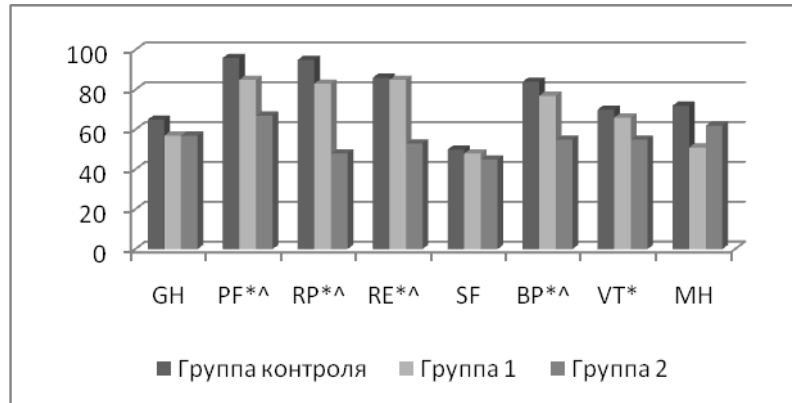


Рис. Сравнительная оценка показателей качества жизни (баллы) пациентов ГБ с МС и разным уровнем лептина в сыворотке крови.

Примечание: \* – различия между 2-ой группой и группой контроля статистически значимы, ^ - различия между 1-й и 2-й группами статистически значимы.

Корреляционный анализ показал наличие обратных статистически значимых взаимосвязей между уровнем лептина и рядом показателей КЖ: физическое функционирование (PF) ( $r = -0,632$ ,  $p < 0,05$ ), влияние физического состояния на ролевое функционирование (RP) ( $r = -0,541$ ,  $p < 0,05$ ), влияние эмоционального состояния на ролевое функционирование (RE) ( $r = -0,434$ ,  $p < 0,05$ ), интенсивность боли, ее влияние на функционирование (BP) ( $r = -0,460$ ,  $p < 0,05$ ) и жизнеспособность (VT) ( $r = -0,393$ ,  $p < 0,05$ ).

#### Заключение

Установлено, что больные ГБ II стадии с МС, имеющие гиперлептинемию, статистически значимо отличаются большей выраженностью как клинико-лабораторных маркеров МС и активностью системного воспалительного ответа, так и более низким уровнем КЖ. Обнаружена статистически значимая обратная взаимосвязь концентрации лептина в сыворотке крови с большинством шкал КЖ (SF-36) пациентов с МС.

Таким образом, гиперлептинемию можно рассматривать не только как показатель, характеризующий функциональное состояние жировой ткани и лежащий в основе развития АГ и других компонентов МС, но и как фактор, влияющий на снижение КЖ.

Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы (номер государственного соглашения: 8601) и Российского фонда фундаментальных исследований (договор № 13-04-01225 А).

#### Список литературы:

1. Мычка В.Б., Жернакова Ю.В., Чазова И.Е. Рекомендации экспертов Всероссийского общества кардиологов по диагностике и лечению метаболического синдрома (второй пересмотр). М.: Доктор.Ру, 2010. - 18 с.
2. Беспалова И.Д., Медянцева Ю.А., Калюжин В.В. и др. Качество жизни больных гипертонической болезнью с метаболическим синдромом // Артериальная гипертензия. - 2012. - Т. 18, № 4. - С. 304-309.
3. Беспалова И.Д., Медянцева Ю.А., Калюжин В.В. Качество жизни больных ишемической болезнью сердца: взаимосвязь с компонентами метаболического синдрома и маркерами системного воспаления // Бюллетень сибирской медицины, 2012. - №6. - С. 17-20.
4. Калюжин В.В., Тепляков А.Т., Рязанцева Н.В., Беспалова И.Д. и др. Качество жизни больных ишемической болезнью сердца, ассоциированной с метаболическим синдромом: результаты факторного анализа // Терапевтический архив. -2012. - № 12. - С. 18-22.

**Роль системного воспаления в механизмах метаболического синдрома и снижении качества жизни больных гипертонической болезнью****Беспалова И.Д., Калюжнин В.В., Рязанцева Н.В., Медянцева Ю.А.\*, Мурашев Б.Ю., Осихов И.А.**

ГБОУ ВПО СибГМУ Минздрава России, г.Томск

\*МУЗ «Томская центральная районная больница», Россия, г. Томск

[innadave@mail2000.ru](mailto:innadave@mail2000.ru)

Обобщение большого количества новых данных позволило выйти на качественно новый уровень понимания воспаления как универсального патологического процесса, лежащего в основе большого числа заболеваний, в том числе и заболеваний неинфекционной природы, среди которых особый интерес вызывают патологические процессы, объединенные рамками метаболического синдрома (МС).

Хроническое воспаление является одним из наиболее обсуждаемых в последние годы процессов, консолидирующих компоненты МС, которые относят к модифицируемым факторам риска развития и тяжелого течения ряда социально значимых заболеваний, способствующих значительному снижению качества жизни (КЖ) современного человечества [1-7]. Прямая связь выраженности основных клинико-лабораторных проявлений метаболического синдрома, а также риска развития заболеваний сердечно-сосудистой системы и сахарного диабета 2 типа (СД 2) с уровнем маркеров системного воспаления убедительно показана в многочисленных экспериментальных и клинических исследованиях [4, 5]. Этот факт послужил основанием для того, чтобы признать проявления хронического субклинического воспалительного процесса одним из компонентов МС [8]. При этом влияние системного воспаления на КЖ пациентов гипертонической болезнью (ГБ) с МС изучено недостаточно.

Цель исследования: изучить взаимосвязь активности системного воспалительного ответа с КЖ и выраженностью метаболических расстройств у пациентов ГБ с МС.

Материал и методы: В амбулаторных условиях проведено одномоментное (поперечное) исследование 86 пациентов с ГБ II стадии в сочетании с метаболическим синдромом (основная группа), диагностированными согласно рекомендациям Всероссийского научного общества кардиологов [1]. Средний возраст пациентов составил  $55,22 \pm 9,27$  года, длительность АГ на момент исследования колебалась от 3 до 25 лет. Абсолютное большинство пациентов представлено женщинами – 74 (86%). Группу контроля составили 18 практически здоровых человек, не имеющих признаков МС и сопоставимых по демографическим характеристикам с группой пациентов. Лиц с симптоматической АГ, с тяжелыми сопутствующими заболеваниями и с заболеваниями воспалительной природы другой локализации в исследование не включали. Протокол исследования одобрен этическим комитетом ГБОУ ВПО СибГМУ Минздрава России (регистрационный № 1707). Для оценки степени ожирения и характера распределения жира проведены измерения антропометрических параметров: массы тела, роста, окружности талии (ОТ), окружности бедер (ОБ), сагиттального абдоминального диаметра (СД). Также определяли индекс массы тела (ИМТ) и индекс ОТ/БО, объем общей жировой ткани (ООЖТ, л), объем висцеральной жировой ткани (ОВЖТ, л), объем подкожной жировой ткани (ОПЖТ, л). Висцеральный тип ожирения устанавливался при значении ОТ > 80 см для женщин и > 94 см для мужчин, при ОТ/ОБ > 0,9 и сагиттальном абдоминальном диаметре > 25 см [1, 3]. В стандартных условиях измерялось артериальное давление (АД). На автоматическом биохимическом анализаторе ABX Pentra 400 (Франция) в сыворотке крови, взятой утром натощак, определяли концентрацию глюкозы, общего холестерина (ОХС), триглицеридов (ТГ), липопротеинов низкой и высокой плотности (ЛПНП и ЛПВП), мочевой кислоты (МК), высокочувствительного С-реактивного белка (вчСРБ). Концентрацию фибриногена в крови устанавливали хронометрическим методом по Clauss на коагулометре (ООО «ТЕХНОЛОГИЯ-СТАНДАРТ», Барнаул). Концентрацию лептина, инсулина и неоптерина в сыворотке крови определяли методом иммуноферментного анализа с помощью наборов ELISA (США). Для диагностики инсулинорезистентности (ИР) использована малая модель гомеостаза (Homeostasis Model Assesment – НОМА). Значения индекса НОМА-IR более 2,77 соответствует ИР. Всем обследуемым проведена оценка КЖ с использованием опросника MOS SF – 36®.

Статистическая обработка полученных результатов проведена с использованием пакета программ STATISTICA 6.0 (StatSoft, Inc., USA). Количественные данные представлены в виде медианы, 25-го и 75-го перцентилей – Me (LQ; UQ), качественные признаки – в виде n, % (число больных с данным признаком, процент от их количества в группе соответственно). Множественные сравнения выполнялись с применением метода Краскела-Уоллиса ANOVA

статистики. При так называемом Post-hoc-анализе использовали непараметрический тест Манна-Уитни с поправкой Бонферрони. Статистически значимыми считали различия при  $p < 0,016$ . Для оценки статистической взаимосвязи между показателями вычисляли коэффициент ранговой корреляции Спирмена.

Результаты и обсуждение: Все пациенты в зависимости от степени активности системного воспалительного ответа были разделены на две группы: группу 1 составили пациенты с умеренной активностью системного воспаления ( $vчСРБ < 2,0$  мг/л), группу 2 – пациенты с выраженной активностью системного воспаления ( $vчСРБ \geq 2,0$  мг/л).

В таблице 1 приведены результаты лабораторных тестов, выполненных в соответствии с протоколом исследования у лиц контрольной группы и вошедших в исследование пациентов. Обращают на себя внимание статистически значимые различия основной и контрольной групп по концентрации в сыворотке крови абсолютного большинства показателей, характеризующих состояние жирового (ОХС, ЛПНП, ТГ), углеводного (инсулин, НОМА) и пуринового (МК) обмена, маркерам системного воспалительного ответа (фибриноген, неоптерин), а также по уровню гормона жировой ткани - лептина. Полученные нами результаты, подтверждают участие воспаления и нарушений пуринового обмена в механизмах развития МС и ассоциированных с ним заболеваний [4, 5, 7]. Системная гиперинсулинемия и гиперлептинемия – состояния, также характеризующие МС.

Таблица 1. Сравнительный анализ клинико-лабораторных показателей в группах пациентов разной степенью активности системного воспаления и группы контроля Me (LQ; UQ)

Показатели	Группа контроля (n=18)	Группа 1 (n=40)	Группа 2 (n=46)
Масса тела, кг	58 (53;65)	83 (71,8;90)*	94 (84;110)*^
ИМТ, кг/м <sup>2</sup>	21,5 (20,6;22)	31,2 (28,8;34,9)*	36,8 (30,9;41,4)*^
ОТ, см	72(66;77)	96 (90; 111)*	111 (102;115)*^
ОБ, см	94 (91;99)	110,5 (105,5;117,5)*	120 (111;130)*^
ОТ/ОБ	0,73 (0,7;0,82)	0,89 (0,85;0,95)*	0,91 (0,85;0,96)*
СД, см	20 (17;21)	26 (23;30)*	29 (26;31)*^
ОЖТ, л	7,5 (2,2;9,4)	27,6 (20;32,9)*	36,6 (27,3;48,1)*^
ОВЖТ, л	2,4 (0,9;2,4)	8 (5,3;10,4)*	9,7 (7,5;11,2)*^
ОПЖТ, л	4,6 (0,2;7)	19,7 (16,6;24,5)*	30,4 (22,7;37,8)*^
САД, мм рт. ст.	112 (110;120)	140 (127;141,5)*	140 (130; 156)*
ДАД, мм рт. ст.	75 (70;80)	82 (80;90)*	90 (80;95)*
Глюкоза, ммоль/л	5,5 (5,1;5,6)	5,2 (4,7;5,9)	5,7 (5,2;6,9)
ОХС, ммоль/л	4,6 (3,6;4,9)	5,3 (4,6;6)*	5,8 (4,9;6,2)*
ТГ, ммоль/л	0,7 (0,6;0,9)	1,3 (1;1,8)*	1,7 (1,1;2,2)*
ЛПНП, ммоль/л	2 (1,9;2,8)	3,6 (2,8;4,6)*	3,8 (3,2;4,5)*
ЛПВП, ммоль/л	1,3 (1,3;1,4)	1,4 (1,2;1,6)	1,3 (1,1;1,6)
МК, ммоль/л	204 (78;242)	259 (221;321)*	267 (216;348)*
Фибриноген, г/л	2,9 (2;3,1)	3,5 (2,7;4,3)*	3,6 (3;4)*
Неоптерин, нмоль/л	2,4 (2,1;2,9)	3,6 (2,5;4,5)*	5,4 (2,4;8)*^
Лептин, нг/мл	12 (6;16,6)	23,6 (8;43,5)*	43,3 (12,4;81)*^
Инсулин, мкМЕД/мл	9,5 (7,4;11,7)	12,5 (8,4;16,6)*	17,7 (11,4;23,8)*^
НОМА-IR	2,2 (1,7;2,9)	2,8 (1,8;4,1)*	4,3 (3,7;5)*^

Примечание: \* – различия с группой контроля статистически значимы, ^ - различия с группой 1 статистически значимы.

Результаты оценки КЖ в двух группах пациентов, выделенных в зависимости от степени активности системного воспалительного ответа, представлены в таблице 2.



Таблица 2. Качество жизни пациентов (баллы) ГБ с МС с разной степенью активности системного воспаления и группы контроля Me (LQ; UQ)

Показатели	Группа контроля (n=18)	Группа 1 (n=40)	Группа 2 (n=46)
GH	67 (62;82)	62 (45;77)	60 (37,5;62)^
PF	95 (95;100)	85 (65;90)*	90 (42,5;90)*
RP	100 (50;100)	75 (50;100)*	75 (0;100)*^
RE	100 (67;100)	67 (34;100)	67 (0;100)^
SF	50 (38;50)	50 (38;50)	50 (38;50)
BP	84 (72;100)	62 (41;100)*	74 (41;73)*
VT	70 (65;75)	65 (45;75)*	60 (35;65)*^
MH	72 (68;80)	64 (56;80)	56 (46;68)

Примечание: \* – различия с группой контроля статистически значимы, ^ - различия с 1-й группой статистически значимы.

Обращает на себя внимание то, что медианы значений по всем шкалам опросника (SF – 36®) у пациентов ГБ с МС ниже, чем в группе контроля. Однако статистически значимые отличия обнаружены лишь по шкале физического функционирования (PF), влияние физического состояния на ролевое функционирование (RP), интенсивности боли (BP) и жизнеспособности (VT).

Сравнение показателей КЖ в группах пациентов с различной степенью активности системного воспаления позволило обнаружить статистически значимые различия по следующим шкалам опросника (SF – 36®): общему состоянию здоровья (GH), влиянию физического состояния на ролевое функционирование (RP), влиянию эмоционального состояния на ролевое функционирование (RE) и жизнеспособности (VT). При этом КЖ у пациентов 2-й группы было ниже.

На следующем этапе исследования проводили построение корреляционной матрицы, которая включала показатели КЖ по восьми шкалам (SF – 36®) и все перечисленные выше клинико-лабораторные параметры. Нами были установлены отрицательные корреляционные взаимосвязи показателей КЖ не только со всеми компонентами МС (степень абдоминального ожирения, уровень АД, выраженность триглицеридемии и гипергликемии), но также с концентрацией в сыворотке крови инсулина, лептина и маркеров системного воспаления (СРБ, фибриноген и неоптерин). Из всех шкал КЖ наиболее сильные взаимосвязи с максимальным числом изучаемых нами клинико-лабораторных показателей, имеет физическое функционирование (PF). И всех лабораторных показателей именно универсальный маркер воспаления - вчСРБ взаимосвязан практически со всеми шкалами КЖ опросника SF-36® за исключением социального функционирования. (SF).

Принимая во внимание мнение многих авторов о том, что системное воспаление лежит в основе патогенеза заболеваний, ассоциированных с МС и определяет высокий коронарный риск [5, 8], его контроль и разработка методов медикаментозной коррекции должны стать приоритетным направлением медицинских исследований.

Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы (номер государственного соглашения: 8601) и Российского фонда фундаментальных исследований (договор № 13-04-01225 А).

#### Список литературы:

1. Мычка В.Б., Жернакова Ю.В., Чазова И.Е. Рекомендации экспертов Всероссийского общества кардиологов по диагностике и лечению метаболического синдрома (второй пересмотр). М.: Доктор.Ру, 2010. - 18 с.
2. Potenza M.V., Mechanick J.I. The metabolic syndrome: definition, global impact, and pathophysiology // Nutr. Clin. Pract. - 2009. - V. 24(5). - P. 560-577.
3. Беспалова И.Д., Медянец Ю.А., Калюжин В.В. и др. Качество жизни больных гипертонической болезнью с метаболическим синдромом // Артериальная гипертензия. - 2012. - Т. 18, № 4. - С. 304-309.
4. Беспалова И.Д., Медянец Ю.А., Калюжин В.В. Качество жизни больных ишемической болезнью сердца: взаимосвязь с компонентами метаболического синдрома и маркерами системного воспаления // Бюллетень сибирской медицины. - 2012. - № 6. - С. 17-20.

5. Беспалова И.Д., Рязанцева Н.В., Калюжин В.В. и др. Системное воспаление в патогенезе метаболического синдрома и ассоциированных с ним заболеваний // Сибирский медицинский журнал (Иркутск). - 2013. - № 2. - С. 5-9.
6. Калюжин В.В., Тепляков А.Т., Рязанцева Н.В., Беспалова И.Д. и др. Качество жизни больных ишемической болезнью сердца, ассоциированной с метаболическим синдромом: результаты факторного анализа // Терапевтический архив. -2012. - № 12. - С. 18-22.
7. Беспалова И.Д., Калюжин В.В., Медянцев Ю.А. Бессимптомная гиперурикемия как компонент метаболического синдрома // Бюллетень сибирской медицины. - 2012. - №3. - С. 14-18.
8. Festa A., D'Agostino Jr. R., Howard G. et al. Chronic subclinical inflammation as part of the insulin resistance syndrome: the Insulin Resistance Atherosclerosis Study (IRAS) // Circulation. - 2000. № 102. - P. 42–47.

#### **Противовоспалительный эффект статинов при метаболическом синдроме**

**Беспалова И.Д., Калюжин В.В., Рязанцева Н.В., Медянцев Ю.А. \*, Мурашев Б.Ю., Осихов И.А.**

*ГБОУ ВПО СибГМУ Минздрава России, г.Томск*

*\*МУЗ «Томская центральная районная больница», Россия, г. Томск*

[innadave@mail2000.ru](mailto:innadave@mail2000.ru)

В механизмах прогрессирования сосудистых и органных нарушений при МС и ассоциированных с ним заболеваний существенную роль играет воспаление. В исследованиях на популяционном уровне продемонстрирована статически значимая взаимосвязь между маркерами системного воспаления в сыворотке крови (белками острой фазы и рядом провоспалительных цитокинов) и компонентами МС [1, 2].

В связи с этим ингибирование продукции цитокинов рассматривается как один из возможных подходов к лечению МС и ассоциированных с ним заболеваний.

Открытие противовоспалительных и иммуномодулирующих свойств ингибиторов 3-гидрокси-3-метилглутарил-коэнзим А-редуктазы (статинов), группы препаратов, рекомендованных пациентам с заболеваниями, ассоциированными с МС для коррекции дислипидемии, имеет большое значение для клинической медицины [1]. При этом механизм их противовоспалительного действия изучен не достаточно.

Цель настоящего исследования: изучение влияния 8-недельной терапии аторвастатином на уровень спонтанной продукции цитокинов мононуклеарными лейкоцитами крови при метаболическом синдроме.

#### **Материал и методы**

В 8-недельное открытое неконтролируемое исследование включили 36 пациентов с гипертонической болезнью (ГБ) II стадии (АД<180/100 мм рт. ст.), ассоциированной с МС. Из них абсолютное большинство представлено женщинами (77,7%; n=28). Средний возраст пациентов - 53,8±8,8 года. МС устанавливался на основании рекомендаций Всероссийского научного общества кардиологов. Для этого определялся необходимый спектр клинических, лабораторных и инструментальных показателей, предусмотренный для пациентов такого профиля [4].

Всем больным после предварительного исследования назначался аторвастатин (липримар® – Pfizer Inc., Нью-Йорк, США) в индивидуально подобранной дозе (от 20 до 40 мг в сутки), достаточной для достижения целевого уровня липидов крови, определяемого исходя из категории общего сердечно-сосудистого риска. Клиническое и лабораторное исследование пациентов проводили дважды по специально разработанному протоколу (одобрен этическим комитетом ГБОУ ВПО «Сибирский государственный медицинский университет Минздрава России» - регистрационный № 1707): до и после 8-недельной терапии аторвастатином.

В исследование не включали лиц с симптоматической артериальной гипертензией, с тяжелыми сопутствующими заболеваниями и с заболеваниями воспалительной природы другой локализации в исследование не включали. Все лица, принявшие участие в исследовании подписали информированное согласие. Оценка безопасности лечения помимо клинического обследования включала определение в сыворотке крови активность трансаминаз и креатинфосфокиназы (КФК).

Концентрацию С-реактивного белка (СРБ) в сыворотке крови определяли иммунотурбидиметрическим методом на автоматическом биохимическом анализаторе АВХ Pentra 400 (Франция), фибриногена - хронометрическим методом по Clauss на коагулометре (ООО «ТЕХНОЛОГИЯ-СТАНДАРТ», Барнаул). Концентрацию лептина, инсулина и неоптерина в

сыворотке крови определяли методом иммуноферментного анализа с помощью наборов ELISA (Канада, США, Германия соответственно). Для диагностики инсулинорезистентности (ИР) использована малая модель гомеостаза (Homeostasis Model Assesment – HOMA).

Мононуклеарные лейкоциты выделяли в стерильных условиях из сыворотки крови методом градиентного центрифугирования с использованием Ficoll-Paque («Pharmacia», Швеция) ( $\rho=1,077$  г/см<sup>3</sup>). Затем их культивировали в полной культуральной среде (90% RPMI-1640 («Вектор-Бест», Новосибирск), 10% инактивированной эмбриональной телячьей сыворотки («Биолот», Санкт-Петербург), 0,3 мг/мл L-глутамин) при температуре 37<sup>0</sup>C и 5% CO<sub>2</sub> в течение суток. Концентрацию цитокинов IL-1 $\beta$ , IL-2, IL-4, IL-6, IL-8, IL-10, TNF $\alpha$ , INF $\gamma$  и MCP1 определяли в супернатантах культур мононуклеарных лейкоцитов методом ELISA с использованием реагентов фирмы «Вектор-Бест» в соответствии с инструкциями производителя.

Статистическая обработка полученных данных производилась с применением пакета программ STATISTICA 10.0 (StatSoft, Inc., USA). Качественные признаки представлены в виде n, % (число больных с данным признаком, процент от их количества в группе соответственно), количественные данные - в виде среднего (M) и стандартного отклонения (SD) и в виде медианы, 25-го и 75-го перцентилей – Me (LQ; UQ) при отсутствии нормального распределения переменных. Проверка нормальности распределения производилась методом Шапиро-Уилка. В связи с отсутствием нормального распределения статистическую значимость различий между зависимыми переменными оценивали с помощью W-теста Вилкоксона. Статистически значимыми считали различия при  $p<0,05$ . Силу связи между изучаемыми количественными показателями и ее направленность выражали через коэффициент ранговой корреляции Спирмена (r).

#### Результаты и обсуждение

Основным эффектом в фармакодинамике аторвастатина считают его гиполипидемическое действие, проявляющееся в снижении содержания в сыворотке крови атерогенных фракций холестерина. В данном исследовании об эффективности проведенного лечения можно судить на основании статистически и клинически значимого уменьшения концентраций в сыворотке крови общего холестерина (ОХС), триацилглицеролов (ТАГ) и ЛПНП (на 16, 15 и 34,2 % соответственно,  $p<0,05$ ). О безопасности данной терапии свидетельствует динамика концентраций в сыворотке крови глюкозы, трансаминаз и КФК. Из перечисленных показателей только концентрация аланинаминотрансферазы имела статистически значимое увеличение, однако медиана и верхний квартиль концентрации этого показателя не превышали нормальных значений. Лечение переносилось хорошо, ни у одного пациента не возникло нежелательных эффектов, вызванных приемом препарата [5].

Динамика уровня спонтанной продукции про- и противовоспалительных цитокинов и концентраций в сыворотке крови белков острой фазы в ходе 8-недельной терапии аторвастатином представлена в таблице.

Из таблицы видно, что у пациентов с МС уровень спонтанной продукции ряда провоспалительных цитокинов (IL-1 $\beta$ , IL-6, INF- $\gamma$ , MCP-1) и противовоспалительного IL-10, выше нормальных значений, предлагаемых ЗАО «ВекторБест». Это согласуется с положением, активно обсуждаемым в настоящее время в литературе, о роли хронического субклинического воспаления в патогенезе МС [2]. Повышение концентрации IL-10 может быть компенсаторным и свидетельствует о резервных возможностях иммунной системы.

Статистически значимое снижение на фоне лечения концентраций в сыворотке крови вЧСРБ, неоптерина и цитокинов в супернатантах мононуклеарных лейкоцитов (IL-1 $\beta$ , IL-6 и TNF- $\alpha$ ) – имеющих наибольшее значение в патогенезе МС (по данным литературы), свидетельствуют о противовоспалительном эффекте проводимой терапии.

Обращает на себя внимание уменьшение на фоне лечения концентрации в сыворотке крови гормона жировой ткани лептина. Динамика концентрации лептина под влиянием лечения аторвастатином нами приведена не случайно. Хорошо известно о взаимосвязи этого адипокина с маркерами системного воспаления, которую объясняют свойством лептина стимулировать клеточный иммунитет и влиять на продукцию провоспалительных цитокинов.

Для установления взаимосвязи уровня спонтанной продукции изучаемых нами цитокинов и концентрации белков острой фазы в сыворотке крови проведен корреляционный анализ, который установил положительную взаимосвязь уровня продукции IL-1 $\beta$  с вЧСРБ ( $r=0,381$ ;  $p<0,05$ ), IL-2 с фибриногеном ( $r=0,319$ ;  $p<0,05$ ), IL-6 с вЧСРБ ( $r=0,320$ ;  $p<0,05$ ) и фибриногеном ( $r=0,290$ ;  $p<0,05$ ), TNF- $\alpha$  с концентрацией всех оцениваемых белков острой фазы: вЧСРБ ( $r=0,277$ ;  $p<0,05$ ), фибриногеном ( $r=0,408$ ;  $p<0,05$ ) и неоптеринном ( $r=0,339$ ;  $p<0,05$ ), а также с лептином ( $r=0,386$ ;  $p<0,05$ ), MCP-1 с вЧСРБ ( $r=0,367$ ;  $p<0,05$ ).

Таблица Динамика уровня спонтанной продукции цитокинов мононуклеарными лейкоцитами крови и концентрации белков острой фазы в сыворотке крови пациентов с метаболическим синдромом на фоне 8-недельной терапии аторвастатином (Me (LQ; UQ))

Показатели	До лечения	После лечения	P
IL-1 $\beta$ (пг/мл)	129,4 (97,52;186,2)	69,54 (44,78;129,8)	0,00509
IL-2 (пг/мл)	0,8 (0;1,99)	0,4 (0;1,33)	0,42843
IL-4 (пг/мл)	1,41 (0,59;2,79)	1,78 (1,11;3,13)	0,89586
IL-6 (пг/мл)	350,2 (290,6;370,1)	329,7 (135,4;352,6)	0,05128
IL-8 (пг/мл)	262,1 (240,2;298,6)	257,9 (240,6;277,2)	0,34629
IL-10 (пг/мл)	34,33 (7,59;88,1)	51,17 (25,33;76,02)	0,49791
IFN- $\gamma$ (пг/мл)	10,67 (6,93;14,93)	8,8 (1,6;13,33)	0,22041
TNF- $\alpha$ (пг/мл)	59,46 (20,49;119,5)	32,69 (15,91;54,46)	0,00105
MCP-1 (пг/мл)	1963 (989,5;2231)	1708 (657,8;2132)	0,13973
вчСРБ, мг/л	2,35 (0,45;7,05)	1,38 (0,31;4,18)	0,00000
Фибриноген, г/л	3,4 (2,94;3,81)	3,37 (3;3,9)	0,79386
Неоптерин, нмоль/л	3,82 (2,82;6,97)	3,4 (2,86;4,84)	0,00007
Лептин, нг/мл	44,38 (16,6;82,92)	38,47 (22,19;68,05)	0,00011

Примечание: P – статистическая значимость динамики показателя; вчСРБ – высокочувствительный С-реактивный белок.

Результаты многочисленных контролируемых клинических исследований с использованием статинов свидетельствуют о том, что эти лекарственные средства, оказывая гиполипидемическое действие, снижают сердечно-сосудистую и общую смертность, улучшают КЖ и прогноз больных с высоким коронарным риском [5]. Противовоспалительный эффект статинов изучался в многоцентровых контролируемых клинических исследованиях, главным образом, по динамике СРБ и обнаруживал себя даже при непродолжительном лечении, что согласуется с полученными нами результатами [6]. При этом работ по изучению влияния статинов на спонтанную продукцию цитокинов и АФК мононуклеарными лейкоцитами крови очень мало.

Установленные нами положительные взаимосвязи концентрации в крови белков острой фазы и уровнем спонтанной продукции цитокинов мононуклеарными лейкоцитами, а также данные литературы, позволяют считать, что в основе противовоспалительного действия статинов лежит с одной стороны, их способность непосредственно благотворно влиять на функциональное состояние мононуклеарных лейкоцитов, уменьшая продукцию в них металлопротеиназ и провоспалительных цитокинов и АФК, которые являются основным стимулятором синтеза белков острой фазы печени. С другой стороны, этот эффект достигается опосредованно через уменьшение синтеза лептина и снижения его влияния на клеточный иммунитет и на продукцию цитокинов иммунокомпетентными клетками. И, наконец, противовоспалительный эффект может быть связан с основным гиполипидемическим действием этой группы препаратов, поскольку известно, что окисленные ЛПНП, связываясь с иммунокомпетентными клетками стимулируют продукцию ими цитокинов.

Таким образом, 8-недельная терапия аторвастатином пациентов с гипертонической болезнью II стадии в сочетании с МС в индивидуально подобранных дозах (от 20 до 40 мг/сутки) не только способствует статистически значимому снижению атерогенных фракций холестерина и является безопасной, но и способствует уменьшению концентрации белков острой фазы в сыворотке крови и уменьшению спонтанной продукции мононуклеарными лейкоцитами крови ряда провоспалительных цитокинов.

Полученные нами данные о повышении уровня спонтанной продукции про- и противовоспалительных цитокинов мононуклеарными лейкоцитами при МС и уменьшении ее на

фоне 8-недельной терапии аторвастатином могут лечь в основу разработки критериев эффективности противовоспалительного лечения для пациентов с МС и стать основанием для расширения показаний к назначению статинов данной категории пациентов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства здравоохранения и науки в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы (соглашение № 8601) и Российского фонда фундаментальных исследований (договор № 13-04-01225 А).

#### Список литературы:

1. Беспалова И.Д., Медянцев Ю.А., Калюжин В.В. Качество жизни больных ишемической болезнью сердца: взаимосвязь с компонентами метаболического синдрома и маркерами системного воспаления // Бюллетень сибирской медицины, 2012. - № 6. - С. 17-20.
2. Беспалова И.Д., Рязанцева Н.В., Калюжин В.В., Афанасьева Д.С., Мурашев Б.Ю., Осихов И.А. Системное воспаление в патогенезе метаболического синдрома и ассоциированных с ним заболеваний // Сибирский медицинский журнал (Иркутск). - 2013. - № 2. - С. 5-9.
3. Атрощенко Е.С. Плейотропные эффекты статинов: новый аспект действия ГМК - КоА-редуктазы // Медицинские новости. - 2004. - № 3. - С. 59-66.
4. Мычка В.Б., Жернакова Ю.В., Чазова И.Е. Рекомендации экспертов Всероссийского общества кардиологов по диагностике и лечению метаболического синдрома (второй пересмотр). М.: Доктор.Ру, 2010. - 18 с.
5. Беспалова И.Д., Калюжин В.В., Рязанцева Н.В., Медянцев Ю.А., Мурашев Б.Ю., Осихов И.А. Влияние 8-недельной терапии аторвастатином на качество жизни больных гипертонической болезнью с метаболическим синдромом // Артериальная гипертензия. – 2013. – Т. 19, № 2. – С. 125-131.
6. Gupta A., Badyal D.K., Khosla P.P., Uppal V., Jaison T.M., Chopra S. Effect of atorvastatin on hs- CRP in acute coronary syndrome. Br. J. Clin. Pharmacol., 2008, Vol. 66, no. 3, pp. 411–413.

#### Инфекционная теория атеросклероза

*В.Т.Волков, Н.Н.Волкова*

*ГБОУ ВПО СибГМУ Минздрава России, г. Томск,*

*e-mail:vt\_volkov@rambler.ru*

В статье авторы обсуждают результаты собственных исследований и многочисленных сообщений зарубежных ученых о причастности активной роли нанобактерии в формировании атероматозных бляшек и атероматозе. Инфекционная нанобактериальная природа атеросклероза четко доказана исследователями крупнейших научных центров США и Европы, Канады, Финляндии (NASA, Клиника Мейо, Гарвардский университет, Купио и др.). В 2002 году на международном конгрессе в Вашингтоне виднейшими кардиологами мира признана инфекционная природа атеросклероза с участием нанобактерии и ее консервативного лечения.

С тех пор как Н.Н. Аничков в начале прошлого столетия в 1912 году, скармливая чудовищные дозы холестерина вегетарианцам - кроликам холестеринотворная теория прочно закрепилась в сознании многих исследователей и широкой армии врачей, сохранив эти позиции в России, и в наши дни.

Атеросклероз в нашей стране рассматривается традиционно как воспалительное заболевание, возникающее вследствие нарушения липидного метаболизма внутри артериальной стенки с ее уплотнением.

Однако правоммерным представляется предположение, что микробная инфекция тоже вносит свой вклад в воспаление сосудов и прогрессирование болезни и увеличивает риск кардиоваскулярных расстройств при присоединении инфекции и формирование атеросклероза подобного рода выводы ни в коей мере не противоречит глубокому убеждению Рудольфа Вирхова, не признающего авторитетов и блестящего авторитета и клинициста Великобритании Уильяма Ослера, что атеросклероз является инфекционным заболеванием. Открытие в области холестерина, холестериновых бляшек в качестве причины атеросклероза (уплотнение артерий) пока не проливает ясность в интимные механизмы самой инфильтрации сосудистой стенки холестерином и кальцификации атеросклеротических бляшек, по мнению Стефана Синатры (2002). Согласно его мнению холестеринотворная теория Н.Н. Аничкова (1912) не в состоянии объяснить случаи явного атеросклероза, и не дает оснований считать не холестеринотворную теорию атеросклероза в качестве универсальной теории поражения сосудов. В подтверждении сказанного

представляет особый интерес экспериментальные модели развития выраженного атеросклероза у тех же вегетарианцев-кроликов, получивших обычную пищу, лишенную холестерина (капуста, морковь и др.) в условиях экспериментального стресса (шумовой эффект, нарушение приема пищи, световой дискомфорт и др.). Эти морфологические данные смертельного атеросклероза коронарных артерий у кроликов на беспуриновой диете противопоставил идеям Н.Н. Аничкова наш Томский ученый Д.А. Грацианов (1978).

Самым сложным механизмом в атерогенезе оказался механизм кальцинации артериальной стенки и бляшек, который увеличивается с возрастом и является «сильным предиктором» сердечно - сосудистой митральности и, вообще, общей смертности. Существуют разные гипотезы сосудистого кальциноза - одни говорят, что кристаллические депозиты возникают в стареющих клетках, другие, что ядра аморфного гидроксил - апатита возникают на фосфолипидах и протиогликанах. Третьи – что внутриклеточные щелочные фосфаты связаны с их локальной концентрацией, четвертые - что гладкомышечные клетки подвергаются формированию кости.

Однако на стыке 20 и 21 веков произошло, по мнению NASA сенсационное событие - открытие нового патогена и нового фактора экологии окружающей среды, человека и животных - нанобактерии, причастной к широчайшему спектру болезней человека и животных, начиная от атеросклероза до нанобактериальной природы новообразований. Согласно данным финских исследователей во главе с E. Kajander (1998) открытие каменной болезни, особой формы хламидий, способной к осаждению кальция приблизило нас к пониманию участия этой формы хламидии к формированию атеросклероза. Интимный механизм причастности нанобактерии к атерогенезу по данным финских исследователей (Kajander E.O. et al 1998) признано во всем мире. Однако вернемся с Вами к потрясающим результатам исследования чешского профессора Ф. Блага – узника в лагере Дахау, с 1941 года он был назначен гитлеровцами производить вскрытие 10.000 трупов. Все трупы имели внешние данные «голодной смерти». Все они перенесли комплекс тяжелых нервно-психических травм (синдром концентрационного лагеря). Пониженное питание сопровождалось гипопроотеинемией. Весь рацион питания узников Дахау состоял из кормовой брюквы, морковного супа и кусочка ржаного хлеба, содержащих 1000 калорий при полном отсутствии холестерина. В конечной стадии болезни люди представляли скелеты, обтянутые высохшей серой кожей с резко выраженной атрофией мышц и практически отсутствием признаков и намеков на ожирение. Смерть узников наступала от печеночной комы и выраженной гипогликемии. Далее Ф. Блага отмечает: «При вскрытии трупов людей, которые в течение пребывания в Дахау имели половину первоначального веса, были выявлены особенно далеко зашедшие склеротические изменения сосудов в виде отложения в интимае так и в виде обызвествления на клапанах и миокарде». Максимум изменений обычно отмечалось в аорте, в венечных сосудах, бедренных артериях. Склеротические обызвествленные бляшки с очагами некроза поражали подключичные и сонные артерии, так же как сосуды брюшной полости и нижних конечностей. Сердца трупов у лиц с пониженным питанием были резко атрофичны. Атрофия сердечной мускулатуры у большинства сочеталась со значительным понижением артериального давления особенно диастолического. Распространенный атеросклероз сосудов определялся даже у лиц 17-30 лет с выраженной липоидной инфильтрацией внутренней оболочки больших сосудов. Следует отметить, что И.Е. Давыдовский, крупнейший авторитет в области морфологии, концепцию гиперхолестериновой природы атеросклероза Н.Н. Аничкова не разделял. Он писал: «Итак, концепция патогенеза атеросклероза человека, основана на искусственной, как бы метафизической модели алиментарного холестерина отравления кроликов-вегетарианцев должна быть отвергнута». Исследования, проведенные профессором Сибирского государственного медицинского университета Д.А. Грациановым, позволили воспроизвести экспериментально выраженный атеросклероз венечных сосудов, повлекший к гибели животных в условиях стресса и безхолестериновой диеты, что в большей мере приближает патологию животных к человеку и явно противоречит холестеринной теории Н. Аничкова, выражает большие сомнения в широкой пропаганде использования дорогостоящих препаратов, направленных на профилактику и лечение атеросклероза, как, впрочем, и диагностику уровня холестерина в крови, нарушение липидного обмена являющихся непременным атрибутом биохимических тестов на уровне поликлиник, клиник и других лечебных учреждений России, научных центров кардиологического профиля. Напрашивается закономерно вопрос в связи с исследованиями Томского ученого Д.А. Грацианова создавшего экспериментальную модель выраженного атеросклероза коронарных артерий у кроликов при отсутствии в их рационе холестерина и как теперь расценивать факторы риска развития атеросклероза у пациентов в соответствии с выводами чешского профессора Ф. Блага аутопсии 10.000 узников Дахау, у

которых напрочь отсутствовали ожирение, артериальная гипертензия, прием алкоголя на фоне низкокалорийной диеты, напрочь лишённой холестерина, что соответствует экспериментальным моделям Д.А. Грацианова (1978). Коснемся еще одной щепетильной проблемы, в которой крупные отечественные исследователи Г.Ф. Ланг и И.В. Давыдовский (1961) придерживались мнения о ясной патогенетической связи атеросклероза и гипертонической болезни. Однако известный российский кардиолог Е.Е. Гогин в своей монографии: «Гипертоническая болезнь» (1997) высказывает мнение, что гипертоническая болезнь и в наши дни остается неопределёвшейся из распространенных болезней века. Очевидно, что не менее прав в этом направлении и другой не менее известный отечественный исследователь Б.И. Шулуток (2001) написавший в своей монографии: «Артериальная гипертензия», что: «Традиционное мышление-очень важный в развитии исследователей фактор в науке, однако, не стоит отказываться от вечной истины, что ошибочные высказывания корифеев могут на долгие годы затормозить процесс. Подтверждением этих размышлений и откровенных высказываний являются работы ряда исследователей, которые отделяют атеросклероз от возрастных дегенеративных изменений сосудов. Особого внимания заслуживают выводы Томского ученого А.И. Осипова (2010), который на основании собственных исследований подтвердил теорию Блага о связи первичного поражения эластической ткани стенок артерий в развитии атеросклероза и приводит при отсутствии эластазы к отложению липидов в местах некроза эластической ткани. Согласно мнению А.И. Осипова (2010) с возрастом у здоровых людей объем восходящей части аорты и дуга аорты увеличивается в 4 раза (в среднем с 11 мл в 18 лет до 44 мл в 65 лет). По мнению автора в науке возникла странная ситуация в вопросах о связи атеросклероза и гипертонической болезни. В этиологии атеросклероза господствует точка зрения, что атеросклероз-заболевание многогранное, а в причине гипертонической болезни имеет место длительное психоэмоциональное перенапряжение, Г.Ф. Ланг считал, что атеросклероз аорты является осложнением артериальной гипертензии, такого же мнения придерживались И.В. Давыдовский и А.Л. Мясников (1961). Однако согласно выводам Томского ученого А.И. Осипова (2010) склероз и эластическая недостаточность восходящего отдела аорты являются основной причиной гипертонической болезни так как для адекватного кровоснабжения сердца во время диастолы организма вынужден повышать артериальное давление. Вполне законным возникает вопрос-не опасно ли снижать артериальное давление при гипертонической болезни как это традиционно заложено со студенческой скамьи широкому кругу в практике врачей с рекомендацией неперемного использования гипотензивной терапии, чтобы избежать осложнений в виде инсульта, инфаркта миокарда. Однако если внимательно рассмотреть бесконечный список нежелательных осложнений фармакотерапии гипертонической болезни нормадипином, расхваливаемых коллегами и обратить внимание что он создает кардиоваскулярные расстройства в виде нарушения сердечного ритма и синкопе то следует своевременно задуматься, что человеческий организм обладает саморегулирующей системой, которую мы сами нарушаем возможностями фармакотерапии и убеждением малограмотных наших коллег, воспитанных многочисленными фарминдустриями и широчайшей армией врачей, нарушающим основной принцип врачевания «Не вреди». Точно так же высказывается в этом направлении академик Е. Чазов и Агаджян (2012) в своей книге «Выход из тупика». В лабиринте расходящихся мнений и попыток объяснить механизм формирования атероматозных бляшек в сосудах и кистах Эртгейма по данным Томского ученого А.И. Осипова (2002) выпадение холестерина и оссификация бляшек по признанию Е. Чазова остается и в наши дни малопонятными феноменами. Однако открытие в 1990 году американским ученым Робертом Фольком (Folk R. 1998) каменной бактерии в горячих водных источниках вблизи Неаполя и выявление ее присутствия в крови человека и животных, по мнению NASA, стало настоящим революционным прорывом и сенсацией в науке. Крошечная бацилла, находясь в каменной мантии имея нанометрические размеры в 50-100 нм при ее изучении медиками, геологами, минерологами сформировали целый ряд новых научных направлений в механизмах формирования и природы значительного диапазона заболеваний человека и животных в том числе атеросклероза, формирование атероматозных бляшек их оссификации и химиотерапии совершенно с иных позиций минуя необходимость хирургических вмешательств.

Во врачебный лексикон с полным основанием вошли новые термины: наномедицина, нанобиотехнология, наноминерология и даже медицинская геология, кафедры которой существуют во всех университетах, кроме России, хотя студентам медикам Томского Императорского университета минералогия была обязательным предметом и читалась геологами Томского Политехнического университета (в то время технологический университет) профессором Зайцевым. Нанобактерия, относящаяся к классу хламидий, была открыта в

организме человека и животных финскими учеными во главе с Каяндером (Kajander E.O. et al 1998). Именно ими было доказано, что нанобактерия единственная из класса хламидий активно осаждают в сосудах, тканях кальциевые депозиты и холестерин. Выбрасывая белок-олигопептид в зонах ее колонизации, она формирует воспалительную пленку в интима сосудов с осаждением холестерина и кальция в сформированной атеросклеротической бляшке (Kajander E.O. et al 1998). По мнению Стефана Синатра (Sinatra S. 2002) и ученых клиники Мейо, NASA, Гарвардского университета и крупнейших исследовательских центров всего мира объединив усилия медиков, биологов, минерологов, геология всесторонне стали изучать и публиковать результаты исследований нового патогена и фактора экологического неблагополучия окружающей среды, человека и животных (Miller V.W. et al., Sommer A.P. et al., Sinatra S. 2002 Hu Y.R. et al. 2009., Benedicts et al 2004, Mezo Getle. 2004., Denis Carson 1998., Волков В.Т. и др. 2001-2008).

По мнению известного американского кардиолога Уэйна Александера открытие инфекционного фактора-нанобактерии как определяющей причины инфаркта миокарда и ее участия в атероматозе является «большим сюрпризом» 20 века. Он опрокидывает все наши представления и теории по этой проблеме. На причастность нанобактерии в развитии аневризма аорты и атеросклерозе венечных артерий указывают E. Rasmussen et al (2002) и Brenda Kirkland et al (2000). Нами (Волков В.Т., и др. 2003) выявлена ассоциация колоний нанобактерий и вирусных частиц в оссифицированных створках митрального клапана у больных ревматизмом с их деформацией, явлений вальвулита укорочением хорд, что формирует ревматический порок (2004). Последующие исследования моих коллег-морфологов (Кожевников и др. (2008) позволили констатировать наличие колоний нанобактерий в толще миокарда сердца с разволокнением как и в створках митрального клапана так и коллагене миокарда. Chohen et al 2004 и Bractos-Perez et al (2008) приводят данные об участии нанобактерий в формировании стеноза устья аорты, а Yu Y.R. et al (2010) опубликовали материалы относительно участия нанобактерии в развитии вальвулита у больных ревматизмом. Следует отдать должное ученым из Венгерской Академии наук (Puskas L.K. 2005), которые первыми указали на участие нанобактериальной инфекции у 60% обследуемых людей, имеющих инфаркт миокарда, инсульт и тромбоз сосудов.

Авторы указывают на способность нанобактерии к токсическому отеку ткани сердца, магистральных сосудов, повышением С-реактивного белка и медиаторов воспаления (цитокины и др.). Выявление колоний нанобактерии в оссифицированных клапанах у больных ревматизмом дает основания для пересмотра этиологической роли не стрептококков, а нанобактерии способной осаждают кальций и вызывать формирование ревматического порока (Волков В.Т., 2004). Инфекционная природа атеросклероза, предсказанная Рудольфом Вирховым и У. Ослером, наконец-то доказана в наши дни многочисленными зарубежными учеными о причастности нового патогена-нанобактерии в развитии ревматизма. Эта теория завоевывает все большую популярность среди крупнейших кардиологов мира. Она занимает центральное место в работах Томаса Грейстона и Иосифа Муленштейна (США), обнаруживших колонии нанобактерий и высокий титр антител к ним в крови у большинства больных атеросклерозом и у лиц, перенесших инфаркт миокарда, подвергая сомнению об участии в этом недуге алиментарного фактора. В эксперименте Пекк Спайка введение хламидий (нанобактерий) в нос кролика получена картина атеросклероза. Согласно данным английского кардиолога Саджий Гуайта нанобактерия вызывает воспаление коронарных сосудов, за которым следует инфаркт миокарда. В работах Kirkland-George (1998) выявлены колонии нанобактерии в атероматозных бляшках каротидных артерий у больных умерших от инсульта К. Akerman et al (1997) используя радиологический метод доказали присутствие нанобактерий в атероматозных бляшках коронарных артерий, что было подтверждено при изучении нами (Волков В.Т., и др. 2004) аутопсийного материала аорты и коронарных артерий при использовании электронной трансмиссионной микроскопии так же множественные колонии нанобактерий D. Karson (1999) в своих комментариях (1998) так же присутствие каменной нанобактерии в тромботических образованиях у лиц, умерших от инфаркта миокарда. Сама нанобактерия в состоянии запустить каскад тромбообразования. Пилотный проект Gary mezzo (2002) позволили разработать использование хелатов (ЭДТА) для эффективной эрадикации нанобактерии у пациентов, страдающих атеросклерозом, минуя хирургические вмешательства.

Согласно исследованиям G. Mezo (2002) у 90% больных атеросклерозом с коронарными симптомами применение нанобак Tx снижало кальцификацию коронарных артерий с исчезновением стенокардии, нормализации артериальной гипертензии Джеймс Робертсон (James C. Roberts 2002) так же как и G Mezo (2006) высоко оценивают лечебный эффект Nanobac Tx в



лечении клинически значимого атеросклероза и открывает новые пути раннего вмешательства в лечении атеросклероза.

Согласно признанию доктора Энрике Гурфинкеля из Буэнос Айреса (Аргентина) им высказывается мнение, что: «Возможно, мы являемся свидетелями начала новой эры в изучении атеросклероза».

#### Список литературы:

1. Волков В.Т. Перспективы изучения нанобактерии в медицине //Мат. 7-международной конференции «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири»,-Барнаул,2001.-с. 130-133
2. Волков В.Т., Волкова Н.Н. Нанобактерия и проблема контагиозности опухоли // Мат. 8-международной конференции «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири» Кемерово, 2002.- с. 140-142
3. Волков В.Т., Волкова Н.Н. Нанобактерия // Сибирский медицинский журнал.-№3-35-8 с.
4. Волков В.Т., Волкова Н.Н. Инфекционная теория и интеллектуальные ресурсы Сибири» Кемерово, 2002.- с. 150-153
5. Волков В.Т., Волкова Н.Н. Инфекционная теория сахарного диабета, узлового зоба и нанобактерия // Мат. 10- международной конференции «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири» Улан-Уде – 2003 с.-85-89
6. Волков В.Т., Волкова Н.Н. Болезни биоминерализации (новейшая экология) Томск 2004 из-во «Гамдем-Арт», 391 с.
7. Волков В.Т., Волкова Н.Н. Перспективы изучения нанобактерии в пульмонологии // Доклады академии наук высшей школы России – 2004 г. №1.-с. 113-122
8. Волков В.Т., Контагиозна ли подагра? Прав ли был доктор Бургаве? // Сибирский медицинский журнал-2003.-№5.-с. 5-10
9. Волков В.Т., Хламидийная теория атеросклероза: гипотеза Ослера и современные исследования // Сибирский медицинский журнал-2004.№2 с. 17-21
10. Волков В.Т. Анализ микрокристаллических образований у больных альвеолярным микролитиазом // Экоген, 1996-№1-с. 56
11. Волков В.Т. Анализ микроэлементов и кристаллических в мокроте при бронхиальной астме // Тер. архив-1998-№3-с. 87-88
12. Волков В.Т., Рихванов Л.П., Волкова Н.Н. Биоминерализационный геоэкологический фактор // Мат. Всероссийской конференции «Энергетика, экология, жизнедеятельность организма» 2008-с. 15-18
13. Волков В.Т., Волкова Н.Н. Пилотный проект лечения нанобактериальной инфекции // Мат. Всероссийской конференции «Энергетика, экология, жизнедеятельность организма» 2009-с. 112-116
14. Волков В.Т., Волкова Н.Н. Нанобактерия и рак // Мат. Всероссийской конференции «Энергетика, экология, жизнедеятельность организма» 2010-с. 98-105
15. Miller V.W., Rodgers G., Charles worth Y.A., Kirkland B. etal Evidence of Nanobacterial-like structures in calcified human arteries and cardiac valves // Am. Y. Physiol Heart Circ Physiol. 2004 Sep; 287 (3): H 1115-24, Epub 2004 May 13
16. Sommer A.P. Kajander E.O. etal. A preliminary investigation into light-modulated replication of nanobacteria and heart disease
17. Sinatra S. Nanobacteria implicated in most all degenerative disease (Nanobacteria: Major breakthrough in arterial health.

#### Вирусная или нанобактериальная природа гепатита?

**В.Т. Волков, Н.Н. Волкова**

*ГБОУ ВПО СибГМУ Минздрава России, г. Томск,  
e-mail:vt\_volkov@rambler.ru*

В статье авторы приводят данные возможной причастности нового патогена-нанобактерии, экологического фактора окружающей среды человека и животных к гепатиту. Авторами совместно с учеными ФГУ «ВНИИЗЖ» г. Владимир, в условиях электронной микроскопии с использованием гистоиммунологических методов, были обнаружены в крови больных гепатитом А, В, С, неуточненной этиологии все формы нанобактерий в концентрации больше 109 клеток 1 мл. с фрагментами разрушенных лимфоцитов это вступает в явное противоречие с устойчивым представлением о вирусной природе гепатитов. Использование широкого арсенала противовирусных препаратов открывает перспективу альтернативной антинанобактериальной терапии гепатитов с использованием нанобиотика Tx (Mezo 2003 и др.)

Из истории науки, посвященной изучению гепатита известно, что в 1967 году американским ученым Барух Самуэль Бламбергом и его сотрудниками проводят у аборигенов Австралии исследования австралийского антигена, пришли к выводу об идентичности данного антигена с вирусом гепатита В, вызывающего воспаление печени и именно это легло в основу представления о вирусной этиологии гепатита В, а так же устойчивого внедрения в практику гастроэнтерологов и гепатологов противовирусной терапии данного заболевания.

Вирусный гепатит В (сывороточный гепатит) является одной из серьезных проблем практического здравоохранения во всем мире в связи с широким распространением этой разновидности гепатита среди людей. Открытие т.н. частиц Дейна диаметром 40-45 нм. у больных гепатитом В, имеющих ядро и оболочку, дало основание исследователям высказать предположение относительно их вирусного происхождения. Ряд зарубежных исследователей (Feinstone A. et al 1973) так же отождествляли вирус гепатита А с частицами Дейна диаметром 27 нм. Однако, вернемся к открытию австралийского антигена (H<sub>bs</sub> Ag), связанного с сывороточным гепатитом (HBV, HBC), признанного комитетом экспертов ВОЗ (1972) специфическим маркером гепатита, играющего ключевую роль в диагностике и этиологии, патогенезе и профилактике этой вирусной инфекции (Бюлл. ВОЗ 1974).

Гепатит С согласно современным данным представляет так же собой вирусное заболевание с одноцепочной РНК положительной полярности, имеющий липоидную оболочку (Безпрозванный БК и др. 1976, Мансуров Х.Х. и др. 1979, Тареев Е.М. 1965, Тареев Е.М. 1970, Подымова С.Д. 1984 и др.). Энтеральный путь болезни Боткина с употреблением питьевой воды, мяса, молока животных достаточно известный факт. Тареевым Е.М. (1970) и Сергиевым (1940) были опубликованы случаи и вспышки катаральной желтухи вскоре после вакцинации. Они же одними из первых высказывали мнение о вирусной этиологии гепатита (Тареев Е.М. и др. 1940). В ряде зарубежных публикаций высказываются данные относительно вирусной природе гепатита и австралийского антигена (Blumberg B.S. et al, 1969, Feinstone S. et al. 1973 и др.). В 3-х томном руководстве Б. Фильдса (1989) так же речь идет о вирусной природе гепатита, перекликаясь с работами клиническими С.Д. Подымовой (1984) и Ногаллера А.М. и др. (1977). В международной классификации болезней печени острый вирусный гепатит определяется как острый некроз и воспаление печени. Вместе с тем следует отметить, что печень поражается герпесом, цитомегалией, вирусом Эпштейн-Барра. Для оценки иммунологических повреждений печени используется метод определения титра противопеченочных антител (реакция преципитации). Однако неясно, против каких антигенов направлены противопеченочные антитела, выявляемые у 46-93% больных гепатитом. Использование экстрактов печени нормальных здоровых добровольцев и больных гепатитом и противопеченочных антител дали одинаковые результаты. Большинство исследователей подвергают сомнению органоспецифичность аутоантител у больных гепатитом, так как они вступают в реакцию не только с печеночными антигенами, но и с экстрактами других органов (сердце, почки и др.) (Walker H. 1969; Fodor Ф. 1967, Подымова С.Д. 1984г.). Размеры австралийского антигена по данным Бюлл. (1974) 20-22 нм, его форма сферическая, тубулярная. Perilles R.P. et al (1979) связывают инфекционную активность сыворотки крови на инфицированность спермы, содержимого влагалища, цельной крови и ее компонентов (плазма, фибриноген), мочи, выделение кала. Переливание крови доноров, практически здоровых лиц, гемодиализ зачастую приводит к развитию острого гепатита у здоровых и ослабленных болезнью почек лиц, что представляет несомненный интерес в поисках конкретного возбудителя гепатита. Работы японцев Инада и Идо (1915) обнаруживших у морских свинок, которым вводилась кровь от больных инфекционной желтухой, огромное количество спирилл (*Spirochaetae icterohaemkasis*). Однако при систематических исследованиях крови и мочи спирохеты у больных катаральной желтухой обнаружить не удалось (Чистович А.Н. и др 1963).

Вирус А у больных гепатитом был открыт Feinstone и соавт. (1973). Его отождествляют с частицами диаметром 27 нм, выявляемыми при электронной микроскопии в экстрактах кала. Эти частицы реагируют со специфическими антителами из крови больных гепатитом в период реконвалесценции, они выделяются не только в кале, но и в моче, дуоденальном содержимом, в крови больных в конце инкубационного периода, остром преджелтушном и желтушном стадиях заболевания. В большинстве случаев уже на 10-15 день желтушного периода виремия исчезает и на большей части жизни в сыворотке крови определяется наличие антител к антигену гепатита А. Эти антитела обнаружены у 40-70% населения [Lander Y. et al, 1978, Horak W. et al., 1979]. Заболевание возникает спорадически в осенне-зимний периоды через 3-5 лет пути передачи заболевания различны от фекально-орального, воздушно-капельного, парентерального до

полового, особенно это касается гомосексуалистов. Важно отметить, что при сывороточном гепатите В выявляются частицы нанометрового размера (40–45 нм) в крови пациентов и сперме, а так же в слюне. Многие авторы [Prince A. 1968, London W. et al. 1969] указывают на наличие у большинства инфицированных вирусом В сферических образований нанометрического диапазона у больных гепатитом, и инфицированность в передаче вируса В половым путем.

Помимо сферических форм вирусоподобных образований у лиц гепатитом В многие исследователи указывают на наличие тубулярных и нитевидных форм, сам австралийский антиген часто обнаруживается при лейкозах (18 %), несмотря на всеобщее признание его специфичности для гепатита, вызванного вирусом гепатита В [Gocke D.Y., Kavey N.B., 1969, Soulier Y.P. et al 1970]. Согласно исследованиям Х.Х. Мансурова (1963) у 85% больных поражение печени и развитие цирроза, как правило, начинается с болезни Боткина, однако у 15% больных в анамнезе вообще отсутствовал вирусный гепатит и не было каких-либо других этиологических факторов, ввиду чего эти случаи многими исследователями отнесены к гепатитам неясной этиологии. [Schmid M., 1959; Wepler W., 1961; Mincon Y. 1962] по данным А.Ф. Блюгера, хронический гепатит у лиц в 65% случаев имел вирусную природу. На этот факт ссылаются и другие исследователи [Голубов И.С., 1969; Подымова С.Д. 1984г.].

Новое направление в науке, зародившееся на стыке 20 и 21 веков было связано с открытием нового фактора экологии окружающей среды и патогена-нанобактерии, каменной нанометрических размеров в 50-100 нм одетую в карбонат-апатитную мантию. Nasa назвала это открытие сенсационным, а вскоре это подтвердилось стиранием белых пятен в медицине ввиду причастности нанобактерии в качестве этиологии широчайшего диапазона болезней, природа которых до настоящего времени была абсолютно неясной (рассеянный склероз, саркоидоз, болезни кожи, катаракта и др.). Нанобактерия перевернула наши знания об атеросклерозе, целого ряда новообразований, болезни зубов, механизмов старения, формирования органоминеральных образований, болезни Альцгеймера и др. Нанобиология, наномедицина, наноэкология внесены по версии «Fast Future» к 20 базисных направлений в науке. В центре внимания не случайно оказались гепатиты и цирроз печени, несмотря на устойчивое мнение врачей и исследователей относительно вирусной природы гепатитов, алкогольных циррозов печени. В интервью Московской телекомпании с А.О. Каяндером (2011 г.) в городе Купио (Финляндия) автор, первым открывшим в крови у человека и животных нанобактерию, отметил этиологическую роль ее у больных, страдающих гепатитом и циррозом печени, что противоречит распространенному представлению относительно вирусной и алкогольной природы этих заболеваний.

Рядом авторов отмечена роль лимфоцитов в иммунологическом повреждении печени, и реакции внутрикожной чувствительности замедленного типа (Warnat Z.H. 1965 et al.). При развитии иммунопатологического процесса иммунные лимфоциты способны повреждать ткань печени с антигенами, которыми они сенсибилизированы (Мохов В.М. 1983; Петров Р.В. 1977). Б.И. Беспрозванный и соавт. (1972) наблюдали в пунктатах печени выход лимфоцитов и внедрение их в печеночные клетки с разрушением гепатоцитов. В наших исследованиях (Волков В.Т. и соавт. 2011) в условиях световой микроскопии х 200 выявлен феномен апоптозиса печеночных клеток с явлением некроза, печеночные клетки находятся в состоянии некробиоза, ядра раздуты, резко увеличены с явлением лимфомакрофагоцитарной инфильтрацией. Введение внутрикожно 10-7 смеси *nanobacteria* Sang. фирмы Nanobac-Lab (Финляндия) вызывает у пациентов, страдающих гепатитом, по нашим данным, инфильтрацию немедленного типа, что свидетельствует о присутствии в крови у больных антинанобактериальных антител. Та же смесь, добавленная в культуру лейкоцитов, позволяет выявить повреждающий эффект, особенно выраженный в культуре макрофагов в виде симпластов, микроядерных клеток. В культуре лимфоцитов наблюдаются цитогенетические нарушения микроядер и фрагментация и лизис лимфоцитов. Пономаревым А.П. и соавт. (2011) в образцах крови больных, страдающих гепатитом, были выявлены лимфоциты с измененной структурой, в отдельных образцах лимфоциты представлены разрушенными в виде фрагментов и даже теней. Возможно, это и есть популяция агрессивных лимфоцитов, вторгающихся в ткань печени и разрушающих гепатоциты, описанных Г.Г. Фрейндом (1979) как тельца Каусальмена-мультифицированные гепатоциты, а частицы Дейна являются корпускулярными формами нанобактерий в нанодиапазонном варианте. В связи с этим следует предположить, что инфицированность печени обусловлена не вирусами, а нанобактериемией и это открывает широчайшую перспективу пересмотра не только этиологической роли нанобактерии, но и поиски альтернативной терапии нанобактериальной инфекции с исключением противовирусных препаратов и применением антинанобактериальной терапии-нанобиотиком ТХ. Невозможно исключить, что именно терапия пилотного проекта Gary

Mezo (2003) может спасти пациентов, страдающих гепатитом и переходом его в цирроз печени. Незнание учеными, что энтеральный путь проникновения нанобактерии в организм с сырой водой, в которой нами (Волков В.Т., Волкова Н.Н.) обнаружены колонии нанобактерий, а также в молоке коров и даже в грудном молоке кормящих матерей обнаружено их присутствие, в говядине крупного рогатого скота, в состоянии привести к поражению печени. Множественные колонии нанобактерий овоидной формы выявлены нами в сыворотке крови здоровых доноров и сухой плазме крови. В условиях электронной трансмиссионной и сканирующей микроскопии из 60 проб крови доноров г. Томска у каждого второго (30%) выявлена контаминация (загрязнение) нанобактерией, что увеличивает риск гепатита при переливании крови пациентам, о чем писал Е.М. Тареев (1970), как и появление катаральной желтухи после вакцинации.

Kajander A.O. et al одним из первых в 2002 году сообщил о контаминации полиомиелитной вакцины нанобактерией, подтвержденной американскими учеными (Mezo G. et al 2005). В связи с тем, что производство вакцин идет с использованием сыворотки крупного рогатого скота, можно предположить, что вся она контаминирована нанобактерией. За рубежом в производстве вакцины сыворотка крупного рогатого скота пропускается через ультрапористые фильтры с диаметром меньше 0,25 микрон, а также тонковолокнистые фильтры, осаждающие нанобактерии и вирусы. Такая вакцина готова для массовой вакцинации.

Наступила эра новых технологий в диагностике наномедицины, позволяющая разрушить старые концепции и парадигмы представлений этиопатогенеза гепатита с учетом появления новых фактов в науке.

Не менее прав и наш соотечественник крупный биолог и вирусолог А.П. Пономарев (2008, 2011) отметивший, что по ранее установившимся в области вирусологии интерпретация сферических структур нанометрического размера, как правило, обозначается специалистами как вирусоподобные частицы Дейна, имеющие ядро с наличием оболочки диаметром нанометрического размера 42 нм и сферической конфигурации, а порою нитевидной формы, двуслойными образованиями.

Используя гистохимический метод Косса в условиях трансмиссионной микроскопии фрагменты печени больных гепатитом нами (Волков В.Т. 2012) отчетливо определяется черная окраска сферических образований и диаметром 30-50 нм, отмечены и тубулярной конфигурации образования.

Сотрудниками городской больницы г. Владимира (Каштанов Д.В., Манина Т.А., Лисицина Е.В., ФГУ «ВНИИЗЖ» (Пономарев А.П. и др.) тщательно обследовали с использованием полимеразной цепной реакции (ПЦР) и электронную микроскопию. Опыты проводились на базе вирусных гепатитов. Для целей микроскопии авторами отбирались сыворотки, в содержимом которых выявляли антитела к поверхностному антигену вируса гепатита В (Hbs As)-20 образцов, антитела к вирусу С (HCV)-20, цирроз печени-5. Электронно-микроскопические исследования показали во всех без исключения наличие в сыворотке структур в форме наночастиц, диаметром от 10-20 до 200-300 нм с концентрацией 109-1010 наночастиц диаметром 10-20 до 200-300 нм. Более крупные наносферы диаметром от 50 до 200-300 нм создавали колонии, среда которых так же выявлялись ните и палочкообразные структуры в соответствии с классификацией нанобактерий (Волкова Н.Н. 2006). Фактически данные структуры по концентрации и по морфологии идентичны структурам, выявляемых в эмбриональных сыворотках телят. Морфологическое совпадение выявленных авторами г. Владимира наноструктур вступает в противоречие с данными литературы о том, что 22 нм частицы являются одной из форм HbV. Высев данных структур на перевиваемую культуру клеток, а так же на искусственные питательные среды (Игла и среда Фрея в соотношении 1:250) сопровождается их ростом и размножением. Электронно-микроскопические наблюдения в течение 2 месяцев за образцами высеянных микроструктур позволили установить увеличение концентрации наночастиц диаметра 50-100 нм. Это сопровождается формированием биопленок и колоний из наносфер, что характерно для нанобактерий на искусственных питательных средах.

Эти исследования, как и наши (Волков В.Т. 2012) наводят на размышления не о вирусной природе гепатитов, а нанобактериальной инфекции требующей иного подхода к лечению с использованием антинанобактериальной терапии и дальнейшего изучения данной проблемы.

#### Список литературы:

1. Беспрозванный Б.К., Апрогина З.Г., Семендяева М.Е. и др. Морфогенез измененный в печени при хроническом активном гепатите. 1976, № 9-с-36
2. Волков В.Т., Волкова Н.Н. и др. Нанобактерия (перспективы исследования)- Из-во «Твердыня» 2003-321 с.

3. Волков В.Т., Волкова Н.Н. Хламидийная теория узлового зоба и сахарного диабета // Бюлл. СО РАМН, -2006-№1 (119)-с 117-123
4. Волков В.Т., Волкова Н.Н. Проблема холелитиализа и нанобактерия // Сиб. мед. журнал 2005.- №2-с 26-31
5. Волков В.Т., Волкова Н.Н. и др. Биоминерализация (новейшая экология) г. Томск Из-во «Тандем-Арт»-392 с.
6. Волков В.Т., Волкова Н.Н. и др. Биоминерализация в организме человека и животных. Томск - Из-во «Твердыня»-2004-498 с.
7. Волков В.Т., Волкова Н.Н. Эколого-геологические особенности природных сред Томского района и заболеваемость населения йод реакцией д. г. м. н.- проф.-А.Г. Бакирова г. Томск – Из-во И.П. Сековой-215 с.
8. Волкова Н.Н. Исследование биоминерализационного геологического фактора в подземных водах Томского района: автореф. канд. диссертации геолого-минералогических наук-Томск-2006-25 с.
9. Волков В.Т., Волкова Н.Н. Нанобактерия // Сиб.мед. журнал-2002-№5-с.5-10
10. Пономарев А.П., Белик Е.В. и др. Электронная микроскопия сывороток крови людей с диагнозом гепатит // Рос. Конференция по электронной микроскопии сывороток крови людей с диагнозом гепатит // Рос. Конференция по электронной микроскопии. Тез. Докладов.- Черногловка. 2008-с.-313
11. Пономарев А.П. Электронная микроскопия нанобактерий и других представителей микро-наномира // г. Владимир, Из-во И.П. Журавлева-2011-180 с.
12. Пономарев Н.П., Пичуева А.А., Никешина и др. // Тр. Федерального центра охраны здоровья животных-г. Владимир, 2009-Т7-с.2020-2039
13. Пономарев А.П., Борисова О.А., Кухаркина О.В. Нанобактерия-новые представители мира бактерий г. Владимир -2008-2047
14. Пономарев А.П., Белик Е.В., Шиляева Р.Р., Гарасько Е.В. Трансформация наноклеток из образцов клеток под воздействием стрессоров физико-химической природы // Тр. Федерального центра охраны животных. - Владимир.2010-т. 8-с. 214-226
15. Пономарев А.П., Белик Е.В., Гарасько Е.В., Шиляев Р.Р. // 23-я Рос. Конференция, по электронной микроскопии: Тез. докл. – Черногловка, 2008. – с. 414
16. Blumberg B.S., Satnic A.J., London N.T. Australia antigen and hepatic – J. AMA., 1965, vol.207, P 1895.
17. Feinstone A., Kapikian A., Purselia Q/ Hepatitis detection by immune electron microscopy – Scientes, 1973, vol 182, P – 1026-28
18. Kajander E.O. Fet al bovine serum: discovery of nanobacteria / E.O. Kajander, Kuronen/ N.Ciftogly//Molecular Biology of cell, Suppl. – 1996.- vol.7.- p 517/

**Клинические и гематологические проявления Эпштейн-Барр вирусного инфекционного мононуклеоза у детей в остром периоде и в анамнезе**

***Помогаева А.П., Потарская Е.В.***

*ГБОУ ВПО «Сибирский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации*

Действие факторов, нарушающих экологическое равновесие, внедрение в медицинскую практику современных методов лекарственной и лучевой терапии, многие из которых не обладают селективностью действия, могут, как показывают клинические и экспериментальные исследования последних лет, иметь своим следствием развитие иммунодефицитных состояний. Они способствуют реактивации бессимптомно персистирующих в организме патогенных и условно-патогенных микроорганизмов. Инфекционный мононуклеоз (ИМ) – одна из типичных персистентных инфекций, возбудителем которой часто является вирус герпеса 4 типа – вирус Эпштейна – Барр (ВЭБ). Данное заболевание могут вызывать также другие вирусы, бактерии, простейшие. ВЭБ характеризуется ubiquitous распространением и обнаруживается у 90-92% населения Земного шара. Среди заболевших ИМ 60% составляют лица в возрасте от 2 до 20 лет. Первичное инфицирование ВЭБ в 90% случаев происходит в раннем возрасте (до 3-х лет) и лишь у 45% инфицированных сопровождается выраженными клинико-гематологическими проявлениями. ВЭБ способен вызывать латентную инфекцию и длительно персистировать в дифференцированных иммунocyтах, подавляя продукцию вирусспецифических антител,

регулируя экспрессию вирусных антигенов инфицированными клеточными элементами и стимулируя продукцию ими иммуносупрессивных и иммуномодулирующих веществ. Эти вещества тормозят иммунные реакции организма.

Цель работы – охарактеризовать клинико-гематологические проявления ИМ у детей в возрасте от 1 года до 14 лет в период разгара и через 3, 6, 9, 12 мес. после болезни.

Методы исследования: клинический, гематологический, серологический, биохимический, бактериологический. Диагноз устанавливался по наличию типичных клинических симптомов, изменений в гемограмме (повышение количества мононуклеарных лейкоцитов, появление атипичных мононуклеаров – АМ) и положительных результатов ИФА сыворотки крови (VCA – IgM, EA – IgG и Na – IgG). Клиническая картина характеризовалась наличием симптомов интоксикации, лимфаденопатии (ЛАП), воспалительными изменениями в ротоглотке, поражением носоглоточной миндалины, гепато- и спленомегалией. В возрастной группе от 1 года до 3 лет было 6 детей (1 группа), в возрасте от 3 до 6 лет – 20, от 6 до 14 лет – 2 человека. Так как многие дети обследовались неоднократно, то количество обследованных детей за весь период наблюдения превышало общее число участников исследования. В зависимости от возраста на момент заболевания ИМ пациенты распределялись в 2 группы: заболевшие в возрасте до 3 лет и заболевшие в возрасте старше 3 лет, так как именно этот возраст является критическим периодом становления иммунной системы. Количество больных в каждой из этих групп было равным – 14 человек. Дети получали общепринятую терапию с включением рекомбинантного интерферона альфа – 2в – виферона. Контроль – 25 детей аналогичного возраста с группой здоровья IIА. Статистическая обработка осуществлялась при помощи программы STATISTICA 6,0.

Исследования проведены в 30 километровой зоне промышленно-ядерного комплекса.

Установлено, что период разгара ИМ ВЭБ у детей характеризуется умеренной интоксикацией, полилимфаденопатией без преимущественного увеличения заднешейных лимфатических узлов, выраженным аденоидитом, ангиной, чаще с наложениями (лакунарной, фолликулярной), гепатомегалией. Спленомегалия отмечается у половины детей. Экзантема, ассоциированная с приемом антибиотиков, обнаруживается у одной трети детей.

Гематологическими признаками острого периода ИМ ВЭБ являются увеличение скорости оседания эритроцитов, умеренный лейкоцитоз с гипорегенераторным сдвигом лейкоцитарной формулы влево, отсутствие лимфоцитоза, умеренный моноцитоз, низкая частота обнаружения атипичных мононуклеаров.

Через 3 месяца после разгара ИМ у большинства детей выявлялись симптомы поражения лимфоидной ткани: затруднение носового дыхания, увеличение размеров небных миндалин, умеренная ЛАП шейной группы, гепатомегалия (у всех детей), спленомегалия (у одной трети). Симптомы интоксикации отсутствовали почти у всех детей. В гемограмме сохранялось повышенное (по сравнению с контролем) общее число лейкоцитов, палочкоядерных нейтрофилов и моноцитов на фоне увеличенной СОЭ.

Через 6 месяцев от разгара болезни синдром общей интоксикации был характерным для 75% наблюдавшихся детей. Выраженность мононуклеозного синдрома уменьшилась. Носовое дыхание, размеры небных миндалин и печени восстановились практически у всех детей. Спленомегалия отсутствовала. Исключением была ЛАП заднее- и переднешейных лимфоузлов (ЛУ), степень выраженности которой увеличилась. Общее количество лейкоцитов, незрелых форм нейтрофилов, моноцитов, величина СОЭ оставались повышенными. Отмечалась большая частота ОРВИ.

Спустя 9 месяцев после ИМ симптомы интоксикации отсутствовали, выраженность мононуклеозного синдрома была незначительной, в том числе уменьшилась ЛАП шейной группы. Однако у детей чаще отмечались гнойные ангины. Изменения гемограммы сохранялись.

Полученные нами результаты наблюдения за детьми через 12 месяцев от начала острого периода ИМ, возможно, были обусловлены истощением противовирусных механизмов, о чем свидетельствовало усиление интоксикации и локальной симптоматики, а также частое возникновение ОРВИ и случаи реактивации ИМ. Общее количество лейкоцитов, незрелых форм нейтрофилов, моноцитов продолжало оставаться повышенным по сравнению с контролем, проявляя умеренную тенденцию к снижению. Лимфоцитоз становился более выраженным. Величина СОЭ приближалась к варианту нормы. Проявление интоксикации и мононуклеозного синдрома через 12 месяцев были более выраженными, чем через 9 месяцев после разгара ИМ.

Таким образом, ближайшие (через 3, 6, 9, 12 месяцев) проявления ИМ характеризуются клиническими и гематологическими нарушениями различной степени выраженности у большинства переболевших. Они более выражены у детей заболевших в возрасте до 3-х лет, на

более долговременные – у детей, перенесших инфекцию в возрасте старше 3-х лет. Следовательно, переболевшие ИМ дети нуждаются в длительном (более 1 года) диспансерном наблюдении с проведением реабилитации до полного исчезновения клинических симптомов и восстановления гематологических показателей.

УДК 616.995.122.21:616.248 – 008.4

**Анализ показателей дельта-пикфлоу у больных бронхиальной астмы до и после лечения  
хронического описторхоза**

**Калинина О.В., Месько П.Е., Бодрова Т.Н., Карзилов А.И., Яким О.В.**

*ГБОУ ВПО СибГМУ Минздрава России, Россия, г. Томск*

[kov7575@km.ru](mailto:kov7575@km.ru)

В последние годы во всем мире отмечается рост ассоциированных заболеваний, в том числе хронических обструктивных заболеваний легких и паразитарных инвазий в популяции. Прежде всего, увеличивается заболеваемость хроническим обструктивным бронхитом и бронхиальной астмой. Из паразитарных инвазий одним из самых распространенных является описторхоз. Это определяет частое сочетание описторхоза с патологией внутренних органов. Одна из наиболее распространенных форм ассоциированных заболеваний – это сочетание бронхиальной астмы (БА) с хроническим описторхозом (ХО). Необходимо отметить, что при хронической описторхозной инвазии, поражаются не только органы постоянного обитания гельминта – печень, желчевыводящие пути, поджелудочная железа, а также вовлекаются органы и системы за пределами обитания сибирской двуустки, что определяет изменения клинических проявлений ассоциированных с паразитом заболеваний внутренних органов, в том числе и дыхательной системы. В многочисленных исследованиях, посвященных проблеме ассоциированного описторхоза, показано ухудшение клинического течения, увеличение степени бронхообструкции, однако, характер и механизмы этих проявлений изучены далеко не во всех аспектах.

Известно, по данным литературы, что ведущим патофизиологическим синдромом при бронхиальной астме в сочетании с хроническим описторхозом является нарушение бронхиальной проходимости или бронхиальная обструкция. В диагностике бронхообструктивных нарушений современная пульмонология опирается на измерение степени ограничения воздушного потока, рассчитанной по кривой форсированного выдоха и по петле поток-объем [1, 2]. Механизм ограничения воздушного потока при этом, и в частности, при спокойном дыхании остается недостаточно изученным. Круг вопросов, который возникает при изучении функциональных показателей проходимости бронхов, послужил основанием для рассмотрения изменений пневмотахограммы (ПТХГ) спонтанного дыхания при прерывании воздушного потока клапаном. В 70-е годы было обращено внимание на то, что у больных хроническими обструктивными заболеваниями легких при спонтанном дыхании на ПТХГ выдоха после открытия клапана прерывателя регистрируется пик воздушного потока [3], обозначенного нами как дельта-пикфлоу - (ДПФ), регистрация данного пика была наименована дельта-пикфлоуграфией (ДПФГ).

Цель исследования - изучение проявления ПТХГ при БА в сочетании с ХО, уточнение характера патогенного влияния инвазии сибирской двуусткой на течение БА, обоснование направления своевременной диагностики названной патологии.

**Материалы и методы**

В проспективном когортном наблюдении было обследовано 48 больных с бронхиальной астмой. Основная группа (I группу наблюдения) составили больные БА, ассоциированные с ХО. Возраст пациентов в среднем составил  $44,3 \pm 3,52$  года. Диагноз бронхиальная астма был поставлен на основании критериев ВОЗ, степень тяжести заболевания устанавливали согласно критериям документа GINA (2006г.) [4, 5]. Диагноз описторхоза верифицировался наличием соответствующего анамнеза, обнаружением яиц *Opisthorchis felinus* копроовоскопическим методом исследования по Като или микроскопическим исследованием желчи, полученной после проведения дуоденального зондирования. Длительность описторхозной инвазии в среднем составляла  $10,4 \pm 6,0$  лет.

Группу сравнения (II группу наблюдения) входили больные с БА после проведения у них дегельминтизации описторхоза. Лечебные мероприятия проводились противогельминтной терапией бильтрицидом по общеизвестной схеме (60 мг на 1 кг массы тела в 3 приема). Контрольное обследование проводилось через год после дегельминтизации.

В каждой группе оценивались показатели бронхиального сопротивления  $Reff$  (кПа/л/с.), записанные на аппарате Erich Jaeger (Германия). Специальное исследование заключалось в регистрации на ПТХГ пика воздушного потока (ДПФ). Для этого был разработан комплекс приборов: 1. Два электроманометра ПМД-1000. 2. Пневмотахографическая трубка Флейша с определенным коэффициентом сопротивления. 3. Автоматический прерыватель воздушного потока на 0,5 сек. 4. Безинерционный прямопишущий регистратор. Изучали амплитуду пика (h) л/с; продолжительность пика (t) сек.; площадь пика (S) л; максимальный поток (МП) л/с; а также отношение h/МП в %.

Полученные данные обработаны статистически. Числовые значения выражены как средние (M), их ошибки (m) и стандартные отклонения. Достоверность различий оценивали с помощью критериев t-Стьюдента, определяя коэффициент корреляции Пирсона (r).

#### Результаты

Исследование показало, что высота ДПФ у больных I группы была выше, чем в группе сравнения. Средние значения продолжительности ДПФ в группах больных были приблизительно одинаковыми и достоверно между собой не различались. Средние величины площади ДПФ и процентного отношения высоты пика к максимальному потоку были значительно выше у наблюдаемых больных основной группы по сравнению с группой сравнения. Максимальный поток в обеих группах не отличался. Корреляционный анализ выявил обратную зависимость средней силы между снижением ОФВ1 и увеличением  $Reff$  и h ( $r=0,64$   $p<0,01$ ), S пика ( $r=0,62$   $p<0,05$ ). Продолжительность пика и максимальный поток не коррелировали ни с одним из показателей ВФЛ.

Таблица 1. Показатели ОФВ1 и дельта-пикфлоу у больных БА до и через 1 год после проведения дегельминтизации описторхоза ( $M\pm m$ )

Показатели		БА + ХО (I группа)	БА + через год после дегельминтизации ХО (II группа)	P
ОФВ1 (%)		57,6 ±1,7*	78,4 ±2,5	*
ДПФ	h л/с	2,36 ±0,31	1,82 ±0,46	*
	t сек	0,07 ±0,02	0,06 ±0,004	-
	МП л/с	3,86 ±0,47	3,74 ±0,7	
	h/МП %	57,4 ±3,2	34,0 ±4,2	*
	S л	0,06 ±0,005	0,04 ±0,005	*

Примечание: звездочкой отмечены статистически достоверные различия в группах

#### Обсуждение

Полученные результаты свидетельствуют о неблагоприятном влиянии описторхозной инвазии на бронхиальную обструкцию у больных БА. Зависимость между основными параметрами ВФЛ (ОФВ1,  $Reff$ ) и данными ДПФ (площадь пика, отношение амплитуды пика к максимальному потоку) свидетельствуют о нарушении бронхиальной проходимости и изменений ПТХГ при прерывании воздушного потока клапаном у больных с БА при сочетании с хроническим описторхозом. Это позволяет данной категории больных рекомендовать проведение дегельминтизации.

#### Список литературы:

1. Канаев Н.Н. Руководство по клинической физиологии дыхания. Л: Медицина, 1980.
2. Майкл А.Гриппи. Патофизиология легких. М: Медицина, 1997.
3. Knudson P.J.// Contribution of airway collapse to supramaximal expiratory flows. J. Apple physiol. 1974. 36.C. 653-667.
4. Бронхиальная астма: Руководство для врачей России (Формулярная система). – М., 1999. – 40с. – (Приложение к журн. «Пульмонология»).
5. Глобальная стратегия лечения и профилактики бронхиальной астмы / под ред. А.Г. Чучалина. М.: Атмосфера, 2002. 160 с.



УДК 616.2-08:612.2

**Состояние регуляции дыхания у здоровых лиц при электромеханическом воздействии на аппарат внешнего дыхания***Карзилов А.И., Тетенев Ф.Ф., Калинина О.В., Якис О.В., Месько П.Е., Карзилова А.А.**ГБОУ ВПО СибГМУ Минздрава России, Россия, г. Томск**karzilov@mail.ru*

Экологический фактор является одним из ведущих в развитии заболеваний органов дыхания, таких как хроническая обструктивная болезнь легких и бронхиальная астма, закономерно приводящих к развитию дыхательной недостаточности и нарушениям регуляции дыхания [3]. Следовательно, одним из важных вопросов экологической физиологии дыхания является изучение состояния регуляции дыхания у здоровых лиц в условиях возмущающего воздействия на регуляцию дыхания и вентиляционную функцию аппарата внешнего дыхания. Наиболее физиологичным методом возмущающего воздействия на аппарат внешнего дыхания и регуляцию дыхания является чрескожная электростимуляция диафрагмы (ЧЭСД) [1, 2].

В механике дыхания основополагающей парадигмой функционирования легких в составе аппарата внешнего дыхания является концепция Ф. Дондерса, описывающая в самом простом виде вентиляцию легких и не учитывающая в должной мере влияние регуляции дыхания и механизмы обеспечения устойчивости работы аппарата внешнего дыхания. Недавно предложенная теория биомеханического гомеостаза аппарата внешнего дыхания позволяет достаточно надежно оценить устойчивость вентиляционной функции аппарата внешнего дыхания и регуляции дыхания у здоровых лиц, а также у больных с бронхообструктивными нарушениями [1, 2].

Цель работы: исследовать функциональные связи между паттернами вентиляции легких и восприятием дыхания у здоровых лиц при проведении ЧЭСД с позиций биомеханического гомеостаза аппарата внешнего дыхания.

Материал и методы исследования. Исследования были проведены на группе здоровых лиц – (20 мужчин, ср. возраст 20,2), которые были представлены тщательно обследованными лицами без заболеваний легких в анамнезе. Для исключения возрастных и половых влияний на восприятие дыхания группа здоровых была сформирована из лиц мужского пола молодого возраста, занимающихся спортом и имеющих 2 и 3-й спортивный разряд.

Оценка восприятия дыхания у здоровых лиц проводилась в баллах. Инструментальное функциональное исследование включало оценку состояния дыхательного центра, которая оценивалась по максимальному времени задержки дыхания в секундах после спокойного выдоха, индексу инспираторной активности, скорости вдоха и выдоха в л/с, частоте дыхания в минуту [1, 2].

Механические свойства легких оценивались по объему форсированного выдоха за первую секунду в литрах (характеризует бронхиальную проходимость) и общей работе дыхания в кгм/мин (характеризует внутрилегочное сопротивление), определяемой по кривым объема и транспульмонального давления при текущем значении минутного объема дыхания, которые регистрировались при помощи пневмотахографа с интегратором («Медфизприбор», г. Казань) [5].

Всем исследуемым лицам проводился разовый сеанс ЧЭСД при помощи электростимулятора серийного производства ЭСД-2П. Перед проведением сеанса ЧЭСД исследуемых лиц тщательно инструктировали. Через 30 минут после сеанса ЧЭСД исследуемые получали 4 ингаляционные дозы (высшая разовая терапевтическая доза) беродуала с целью получения максимального бронхолитического эффекта [1, 2].

Оценка восприятия дыхания, показателей работы дыхательного центра и вентиляционной функции легких проводилась до сеанса ЧЭСД, через 5 минут после него, и через 20 минут после последней ингаляции беродуала. Общую работу дыхания определяли до и после сеанса ЧЭСД.

Результаты и обсуждение. Сеанс ЧЭСД у здоровых лиц вызвал достоверное улучшение восприятия дыхания ( $p < 0.01$ ), увеличение времени задержки дыхания ( $p < 0.03$ ), скорости вдоха ( $p < 0.03$ ), скорости выдоха ( $p < 0.01$ ), минутного объема дыхания ( $p < 0.01$ ) и общей работы дыхания ( $p < 0.01$ ).

Ингаляции беродуала после сеанса ЧЭСД у здоровых лиц вызвали достоверное улучшение восприятия дыхания ( $p < 0.01$ ) и увеличение объема форсированного выдоха за первую секунду ( $p < 0.001$ ).

Улучшение восприятия дыхания у здоровых лиц свидетельствует о том, что формирование восприятия дыхания является результатом достижения баланса разнонаправленных процессов, формирующих дыхательные ощущения в лимбической системе центральной нервной системы, которые могут смещать данный баланс не только в сторону ухудшения восприятия дыхания (одышка), но и в сторону улучшения восприятия дыхания (легкость дыхания, дыхательная эйфория).

Подобная трактовка механизма формирования восприятия дыхания может быть полностью осмыслена только с позиций теории биомеханического гомеостаза аппарата внешнего дыхания, объясняющей развитие данного эффекта механизмами антагонистической регуляции на основе обратной биологической связи в саморегулирующейся системе, стремящейся к достижению устойчивого состояния [1, 2].

Механизмы реализации эффекта улучшения восприятия дыхания у здоровых лиц могут быть объяснены в рамках теории биомеханического гомеостаза аппарата внешнего дыхания снижением интенсивности афферентного потока с дыхательной мускулатуры, наступившим вследствие оптимизации паттерна работы дыхательной мускулатуры под влиянием ЧЭСД (внелегочный механизм) или активацией внутрилегочного источника механической активности [4], уменьшающего долю работы дыхательной мускулатуры по преодолению внутрилегочного сопротивления (внутрилегочный механизм).

Особенности функционирования лимбической системы центральной нервной системы оценивались при помощи корреляционного анализа. Были найдены следующие закономерности: относительно низкий порог реакции дыхательного центра на действие ЧЭСД и бронхолитического средства беродуал; отсутствие жесткой связи длительности задержки дыхания с работой ДЦ, внутрилегочным сопротивлением и бронхиальной проходимостью; ЧЭСД и бронхолитического средства беродуал оказывают слабое влияние на формирование паттернов дыхания.

Таким образом, проведенное исследование показало перспективность исследования регуляции дыхания и вентиляционной функции вентиляции аппарата внешнего дыхания у здоровых лиц в условиях электромеханического возмущающего воздействия на аппарат внешнего дыхания при помощи чрескожной электростимуляции диафрагмы. Полноценная оценка полученных результатов исследования возможна только с позиций нового парадигмального мышления – теории биомеханического гомеостаза аппарата внешнего дыхания.

#### Список литературы:

1. Карзилов А.И. Биомеханический гомеостазис аппарата внешнего дыхания и механизмы его обеспечения/ А.И. Карзилов// Бюллетень сибирской медицины. – 2007. – №1. – С.13-38.
2. Карзилов А.И. Регуляторное обеспечение устойчивости биомеханики дыхания при обструктивных заболеваниях легких: Автореф. дисс...д-ра мед. наук. – Барнаул, 2009. – 39с.
3. Пульмонология: руководство (клинические рекомендации) / Под ред. А.Г. Чучалина. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2007. – 240 с.
4. Тетенов Ф.Ф. Биомеханика дыхания/ Ф.Ф. Тетенов.- Томск: Изд-во Том. ун-та, 1981.- 145с.
5. Тетенов Ф.Ф., Бодрова Т.Н., Тетенов К.Ф., Карзилов А.И., Левченко А.В., Калинина О.В. Исследование функции аппарата внешнего дыхания. – Томск, 2008. – 164с.

УДК 616.127:613.84:614.1:312.2

#### Факторы риска преждевременной смертности в открытой популяции г. Томска

*Конобеевская И.Н., Ефимова Е.В.*

*ФГБУ «НИИ кардиологии» СО РАМН, Томск*

[kin@cardio-tomsk.ru](mailto:kin@cardio-tomsk.ru)

В настоящее время продолжительность жизни в России меньше, чем в других странах в связи с высокой преждевременной смертностью, приведшей к необратимым негативным демографическим, а значит экономическим и социальным последствиям [2, 4, 8, 10]. Западная Сибирь относится к территориям неблагоприятного полюса северо-восточного градиента смертности, что обусловлено особенностями образа жизни населения и связано как с широкой распространенностью факторов риска (ФР) неинфекционных заболеваний так и доступностью ресурсов здравоохранения [3]. В соответствии с современными представлениями, факторы риска – это потенциально опасные для здоровья факторы поведенческого, биологического, генетического, экологического, социального характера, окружающей и производственной среды, повышающие вероятность развития заболеваний, их прогрессирования и неблагоприятного исхода [6,7]. В 80%

случаев особенности образа жизни – неправильное питание, низкая физическая активность (НФА) и курение (К) - приводят к хроническим неинфекционным заболеваниям (ХНИЗ), в том числе, сердечнососудистым болезням, являющимся основной причиной убыли населения [1,5]. Около 60% общего бремени болезней приходится на долю 7 ведущих ФР: повышенное артериальное давление (АГ-12,8%), К (12,3%), алкоголь (А-10,1%), гиперхолестеринемия (8,7%), избыточная масса тела (ИМТ - 7,8%), недостаточное потребление фруктов и овощей (4,4%), НФА (3,5%). В 37 из 52 европейских государств – членов ВОЗ ведущим ФР смерти остается АГ, а в 31 – табакокурение [6,7]. Кроме того, у многих лиц, особенно принадлежащих к социально неблагополучным группам, ФР часто сочетаются, взаимно усиливая друг друга [9]. В условиях Сибирских регионов, установление реальных цифр распространенности ФР в различные периоды онтогенеза популяций интересна и чрезвычайно важна для решения проблем, связанных с сохранением здоровья населения в конкретных ситуациях

Цель: изучить распространенность конвенционных факторов риска (артериальной гипертензии, избыточной массы тела, статуса курения, приема алкоголя и т.п.) у населения г. Томска.

Материал и методы: исследование проведено в рамках международного проекта, по контракту о сотрудничестве между Генеральным директоратом ВОЗ в рамках программы по изучению Здоровья России (“Epihealth Russia”), поддержанного Европейским Комитетом ВОЗ по программам - «Эпидемиологическое исследование причин роста смертности населения России» и «Мониторинг здоровья населения России». Помимо российских центров (ФГБУ «НИИ кардиологии» СО РАМН г. Томск, Российский научный онкологический центр им. Н.Н.Блохина РАМН г. Москва и Алтайская государственная медицинская академия г. Барнаул), участниками исследования являлись центры Франции, МАИР (Международное Агентство Исследования Рака, г. Лион) и Великобритании (Университет, Оксфорд). Проект в Томске осуществлялся при поддержке Администрации города и области в рамках совместной работы с практическим здравоохранением. В реализации проекта использовались стратегии Международной программы CINDI. Основные усилия были направлены на привлечение первичного звена здравоохранения к участию в исследовании, повышению информированности медицинских работников в оценке основных факторов риска ХНИЗ, обучению стандартизованным методам эпидемиологического исследования, а также на сотрудничество с различными службами (СМИ, Бюро судебной медицинской экспертизы, органов Федеральной службы государственной статистики, ЗАГС и т. д.). В проекте участвовали амбулаторные службы 15 медицинских учреждений, обслуживающих население города. Работа проводилась в период 2001-2012гг. Участковые врачи из 15 ЛПУ г. Томска были обучены стандартным методам эпидемиологического исследования (технике интервьюирования, правилам заполнения анкет, методике измерения АД и антропометрических данных, оценки факторов риска и т.д.). Использовался анкетный метод, заполнялись стандартизованные вопросники на живых и умерших членов семей; изучались архивные данные статистического управления г. Томска, данные бюро судмедэкспертизы и актовых записей бюро Загса. У членов семей проводился забор проб крови и волос с целью изучения влияния наследственных и экологических факторов. Базы данных создавались в формате “Access”, для программного обеспечения статистической обработки данных использовался пакет прикладных программ “Statistica 6.0”.

Результаты: В итоге обследовано 67 316 человек в возрасте 30-74 лет. Следует отметить высокий комплаинс исследования. Имелись лишь единичные (менее 1%) случаи отказа от осмотра и опроса, что свидетельствовало о высоком доверии населения и готовности сотрудничать с работниками первичного звена практического здравоохранения. Более половины обследованных (56,2%) составили мужчины и в основном как у группы мужчин (79,2%), так и у женщин (64,8%) это были лица трудоспособного возраста. В группе мужчин молодого возраста курило более 2/3 населения (78,2%) и ещё каждый пятый дополнительно являлся пассивным курильщиком. В группе женщин курила каждая пятая (19,2%), в молодом возрасте это было более 40% лиц и если учесть, что половина женщин (50,3%) дополнительно окуривались дома или на работе, следует прийти к выводу о том, что большинство населения курит. Основная часть (85% мужчин и 69% женщин) выкуривали в среднем одну пачку сигарет в день и 8,5% мужчин и 1% женщин ежедневно выкуривали ежедневно две и более пачки сигарет, т.е. были злостными курильщиками. Обращала внимание высокая распространенность артериальной гипертензии как у группы женщин (51,63%), так и у группы мужчин (45,5%). Отмечались различия в частоте заболевания, связанные с возрастом. Если в молодом возрасте (30-34, 35-44 лет) АГ выявлялась в группе мужчин в 2 раза чаще, то в следующих возрастных группах эти цифры выравнивались, а в

последней возрастной группе количество женщин с повышенным артериальным давлением превышало таковое у мужчин. Ассоциированным с артериальным давлением и так же распространенным фактором риска являлась избыточная масса тела, выявленная у каждого второго мужчины и каждой третьей женщины. А если прибавить к их числу лиц с различными степенями ожирения, то практически у 62% мужчин и 66,3% женщин имелся этот фактор риска. Обращал внимание также широко распространенный в группе мужчин (52,3%) андронидный (абдоминальный) тип ожирения (индекс талия/бедро более 0.9). Особенно неблагоприятным являлось наличие сочетанных вариантов различных ФР. Так, у каждого четвертого мужчины отмечалось сочетание трех факторов (26,9%), у каждого третьего-второго двух факторов риска (32,6-51,4%). У группы женщин сочетанные формы встречались значительно реже, от 6,6% (три ФР) до 8,9-41,5% (два ФР). Вместе с тем, это свидетельствовало о том, что население г. Томска можно отнести к популяциям высокого риска снижения длительности и качества жизни.

Таблица 1. Распространенность факторов риска у населения г. Томска (n=67 316)

		Мужчины	Женщины
Без факторов риска	n	745	1 958
	%	2	6,6
1 фактор риска	n	25 821	5 687
	%	68,2	19,2
Пасс. К	n	3 160	14 869
	%	8,3	50,3
АГ	n	17 137	15 121
	%	45,5	51,3
ИМТ	n	23 433	19 566
	%	62,0	66,3
2 фактора АГ+ИМТ	n	12 333	12 237
	%	32,6	41,5
АГ+К	n	14 386	2 614
	%	38,1	8,9
ИМТ +К	n	19 407	4 228
	%	51,4	14,3
3 ф.р. АГ+К+ИМТ	n	10 172	1 955
	%	26,9	6,6

Анализируя структуру причин смертности за этот период в Томске следует отметить, что первое место на протяжении всего исследуемого периода занимала смертность от болезней системы кровообращения, во втором месте у мужчин – смертность от внешних причин, у женщин – смертность от новообразований, и третью позицию занимали у женщин смертность от внешних причин – у мужчин – смертность от новообразований. Особенностью этих классов причин смерти населения являлось то, что они зависели от условий жизни и в большей мере определялись поведенческими факторами. Резкие отличия смертности мужчин и женщин Томской области наблюдались по основным классам причин смерти. Так, смертность мужчин превышала смертность женщин от новообразований в 1,4 (2001г.) – 1,3 раза (2007г.); от инфекционных и паразитарных болезней – в 3,4 – 2,1 раза; от болезней органов дыхания – в 2,9 - 2,8 раза; болезней органов пищеварения – в 1,6 - 1,3 раза; от внешних причин – в 3,7 - 3,6 раза соответственно. Исследование поведенческих факторов риска по полу и возрастным группам показало, в группах умерших мужчин выявлена широкая распространенность курения (86,5%) и употребления алкоголя (75,4%). Отмечено, что больше всего курили и употребляли алкоголь лица трудоспособного возраста, причем, у мужчин эти показатели в два и более раза превышали аналогичные данные женщин. Все эти факторы вели в итоге к увеличению смертности мужского населения, особенно это заметно в трудоспособном возрасте. Анализ структуры причин смерти населения в трудоспособном возрасте показал рост числа умерших от новообразований на 12,7%; от болезней органов дыхания – на 8,7%; от болезней органов пищеварения – на 11,8%. Первое место занимали внешние причины (несчастные случаи, убийства, самоубийства, отравления и травмы), они составляли на протяжении ряда лет 35%. Смертность мужчин и женщин в трудоспособном возрасте оказывала самое неблагоприятное воздействие на формирование и состав трудовых ресурсов области. Ежегодные потери населения трудоспособного возраста

составляли треть общего числа умерших, подавляющее число из них – мужчины (78%). Их смертность в 3,6 раза превышала смертность женщин. Рост смертности в трудоспособных возрастах и повышенная смертность мужчин вели к увеличению в населении численности вдов, несовершеннолетних сирот и одиноких женщин.

Заключение. Таким образом, выявленные особенности свидетельствовали о широком распространении и неблагоприятном профиле факторов риска у населения города, а так же о необходимости разработки и внедрения в условия практического здравоохранения профилактических мероприятий, ориентированных на конкретные факторы. Установлено, что в структуре общей смертности населения г. Томска произошли изменения: выросла доля смертей от сердечнососудистых заболеваний у мужчин и женщин, внешние причины смерти вышли на 2-е место у мужчин и на 3-е у женщин. Тренд смертности у мужчин практически в 2 раза выше, чем у женщин. Известно, что большинство неинфекционных болезней и травм можно предупреждать и контролировать через комплексную национальную программу, реализуемую на федеральном, региональном и местном уровнях, с учетом рекомендуемых, международно-признанных мер. Пришло время признать масштабность социальных и экономических факторов, влияющих на состояние здоровья, включая ответственность самих граждан за состояние собственного здоровья и ответственность государства за создание условий, позволяющих населению делать выбор в пользу здорового образа жизни.

#### Список литературы:

1. Кардиоваскулярная профилактика. Национальные рекомендации. ВНОК // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. – 2011 – N 10. – приложение 2. – 64 с.
2. Маркес П.В. Рано умирать. Проблемы высокого уровня заболеваемости и преждевременной смертности от неинфекционных заболеваний и травм в Российской Федерации и пути их решения. Международный банк реконструкции и развития / Всемирный банк, 2006; 147 с.
3. Мониторинг поведенческих факторов риска в российских регионах CINDI в 2000 - 2002 гг. [Электронный документ]. ([http://cindi.gnicpm.ru/monitoring-regiones\\_2000-2002.htm](http://cindi.gnicpm.ru/monitoring-regiones_2000-2002.htm)). Проверено 23.05.2012.
4. Оганов Р.Г., Масленникова Г.Я. Демографическая ситуация с сердечнососудистыми заболеваниями в России: пути решения проблем // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. – 2007. – N 6. С. 7 – 14.
5. Beaglehole R. The search for new risk factors for coronary heart disease: occupation therapy for epidemiologist? / R. Beaglehole, P. Magnus // Int. J. Epidemiol. – 2002. – Vol. 31. - P. 1117 – 1122.
6. Kannel W.B. The Framingham experience / W.B. Kannel // Coronary heart disease epidemiology. – Oxford: Oxford University Press, 1996. – P. 67 – 82.
7. O'Donnell M. Risk factors for ischemic and intracerebral hemorrhagic stroke in 22 countries (the INTERSTROKE Study: a case - control study Reference / M. O'Donnell, D. Xavier, L. Liu, H. Zhang // Lancet. – 2010. – Vol. 376. – P. 112 – 123.
8. WHO. Global InfoBase [Электронный документ]. ([http://www.who.int/ncd\\_surveillance/infobase/en/](http://www.who.int/ncd_surveillance/infobase/en/)) Проверено 25.05.2012.
9. WHO / Europe Mortality indicators by 67 causes of death, age and sex (HFA- MBD). [Электронный документ] – 2012 (<http://www.euro.who.int/en/what-we-do/data-and-evidence/databases/mortality-indicators-by-67-causes-of-death,-age-and-sex-hfa-mbd>). Проверено 25.05.2012
10. Yusuf S. On behalf of the INTERHEART study investigators. Effect potentially modifiable risk factor associated with myocardial infarction in 52 countries (the INTERHEART study): case-control study / S. Yusuf, S. Hawken, S. Ounpu et al. // Lancet. – 2004. – Vol. 364. – P. 937 – 952.

УДК 614.1:314.144(571.16)

#### Характеристика 20-летнего тренда демографической ситуации в Томске

*Конобеевская И.Н., Ефимова Е.В.*

*ФГБУ «НИИ кардиологии» СО РАМН, Томск*

*[ev@cardio.tsu.ru](mailto:ev@cardio.tsu.ru)*

В последние десятилетия в России наметилась отчетливая тенденция к катастрофическому ухудшению всех демографических показателей, а именно снижение показателя рождаемости с одновременным увеличением показателя смертности и естественной убылью населения в 78 регионах страны и 27 субъектах России, в которых проживает 93% ее населения [1,2,3]. Демографические тенденции и особенности России сегодня весьма

неблагоприятно влияют на возможности страны и ее народа. В частности, они отражаются на социальных условиях россиян, на экономическом и военном потенциале России, а также на роли страны на международной арене [8,9]. Поскольку в основе современного роста смертности лежат факторы большой инерционности: низкая культура жизнесохранительного поведения, нездоровый образ жизни, необратимая патология и ухудшение генофонда населения, неблагоприятная половозрастная структура населения, постарение населения, снижение рождаемости, затяжной экономический кризис, – они не могут быть изменены в короткое время. В то же время решение демографической проблемы должно осуществляться не только за счет повышения рождаемости, на что была в последнее время направлена государственная политика, но и на то, что является стратегически не менее важным, – снижение смертности и возрастание продолжительности жизни. Нарастающий отрицательный естественный прирост населения в России обусловлен чрезмерно высокой смертностью и относительно низкой рождаемостью, и при этом вклад высокой смертности в процесс депопуляции достаточно велик и оценивается в 65%, а вклад рождаемости – в 35% [6,7]. Кроме того, смертность более подвержена внешним воздействиям по сравнению с рождаемостью, и снизить ее можно в более короткие сроки (3–5 лет), чем повысить рождаемость (10 лет и более). В течение последних 15 лет в России ежегодно умирали более 2 млн человек, что в расчете на 1 тыс. населения в 2 раза больше, чем в Европе и США, в 1,5 раза больше, чем в среднем в мире [6,8]. В тоже время характеристика медико-демографических показателей в условиях различных регионов, интересна и чрезвычайно важна для решения проблем, связанных с сохранением здоровья населения в конкретных ситуациях [4,5].

Цель исследования: изучить динамику демографической ситуации и оценить смертность населения г. Томска в период 1990-2010гг.

Таблица 1. Численность населения г. Томска по возрасту на начало года (оба пола)

Года	0-14	15-24	25-34	35-44	45-54	55-64	65-74	15-74	75 и >	Все
1990	111556	100873	88709	77572	48881	42507	21819	380361	13592	505509
1991	109577	99802	86275	82176	48079	42637	23215	382184	13848	505609
1992	106756	98703	84302	84412	48948	42639	25094	384098	13855	504709
1993	103139	95552	81894	85292	49829	43298	27069	382934	13736	499809
1994	98910	93245	80440	85942	50955	43771	28470	382823	13776	495509
1995	91163	85778	78278	81518	49624	41928	28073	365199	12847	469209
1996	88786	84868	80893	82153	51442	42655	29057	371068	12872	472726
1997	86122	85544	81744	82185	53942	43179	29542	376136	12890	475148
1998	82603	87004	82871	81716	58104	42337	29985	382017	13118	477738
1999	79275	89270	83507	81267	63218	41129	29718	388109	13734	481118
2000	75694	91046	83788	79720	68177	39625	29334	391690	14420	481804
2001	72569	92832	84535	77991	72083	38799	29366	395606	14916	483091
2002	69286	93978	85220	76554	73974	39486	29278	398490	15790	483566
2003	67126	132936	73292	66020	67168	36650	28825	404891	16846	488863
2004	65697	130816	75889	64032	67935	37343	29112	405127	17685	488509
2005	65350	126330	79027	62296	68050	38436	29676	403815	18192	487357
2006	65229	122721	83436	61247	68661	39739	30111	405915	18735	489879
2007	66236	114362	91837	60936	68631	41933	30297	407996	18756	492988
2008	68146	104673	100533	61567	68211	45042	29602	409628	18745	496519
2009	71165	92849	112639	62161	67672	48499	28356	412176	18443	501784
2010	74518	82774	123876	63690	66135	52347	27094	415916	18170	508604

Методы исследования: в рамках “Epidemiological studies into long-term trends of population health in Russia» с участием МАИР (Международное Агентство Исследования Рака,

г.Лион, Франция), НИИ канцерогенеза РОНЦ (г.Москва, Россия) и с привлечением медицинских работников практического здравоохранения (программа CINDI-Томск) проводилось эпидемиологическое исследование, с использованием стандартизованных вопросников на умерших и живых членов их семей; изучались данные статистического управления г. Томска, областного бюро судмедэкспертизы и актовые записи бюро ЗАГСа.

Результаты: Динамика показателей численности населения г. Томска за период 1990-2010 гг., свидетельствовала о том, что вначале (1990-95гг.) происходило уменьшение общей численности населения на 36 300 чел (7,19%), затем возрастание (на 39 395 человек) и в итоге прибавление на 3 095 человек (0,6%), причем, в основном за счет групп 45 лет и старшего возраста (табл.1, рис.1). Увеличение численности населения отмечалось за счет лиц трудоспособного (на 26 496 чел., 8,3%) и старше трудоспособного (на 14 110 чел., 20,5%) возрастов, несмотря на снижение числа лиц моложе трудоспособного периода. Таким образом, если в 1990 г. доля лиц этого возраста (<16 лет) составила 118 103 (23,4%), то в 2010 – 78 384 человек (15,4%), что свидетельствовало о развившемся в настоящее время неблагоприятном рестриктивном (регрессивном) типе популяции.

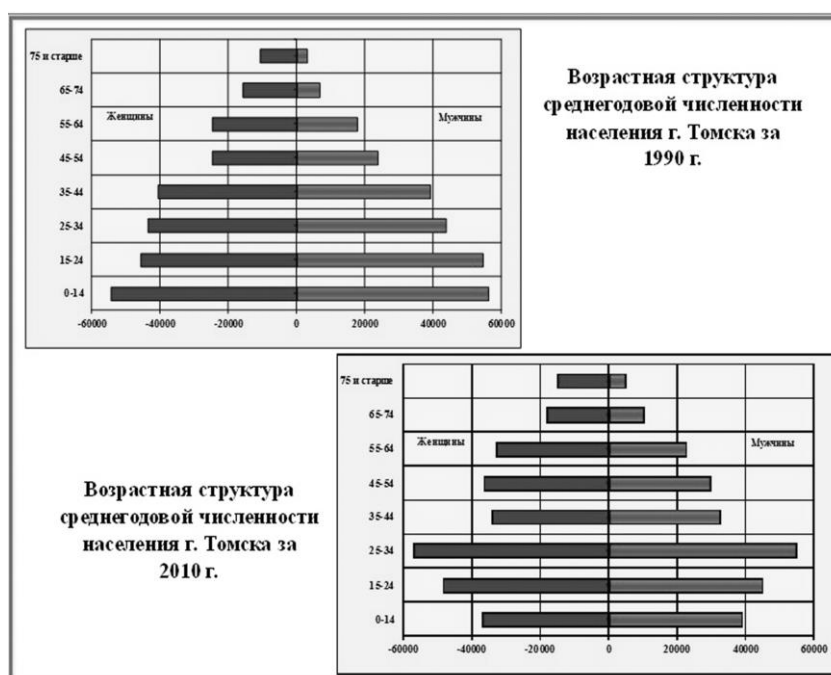


Рис. 1. Динамика возрастно-половой структуры населения г. Томска, 1990-2010гг.

Одно из главных составляющих демографических процессов – это естественный прирост населения, состоящий в разнице между числом рождений и смертей. Динамика естественного движения населения за исследуемый период (рис. 2) свидетельствовала о депопуляции – убыли его, начиная с 1992 по 2005гг., вызванной как снижением коэффициента рождаемости с 11,8 в 1990 году до 7,1 в 1993, так и одновременным повышением коэффициента смертности с 8,2 в 1991 до 13,2 в 1994 году. В тоже время, следует отметить, что, начиная с 2006 г. происходило возрастание коэффициента рождаемости (с 12,0 до 14,5), что наряду со снижением коэффициента смертности (с 11,8 до 10,5), привело в итоге к некоторому приросту населения, которое продолжалось и в последующие годы.

Интегральным демографическим показателем, характеризующим уровень и качество жизни, является ожидаемая продолжительность жизни (ОПЖ), обозначающая среднее количество лет предстоящей жизни человека данного поколения. Свидетельством демографического неблагополучия в г. Томске являлся низкий показатель ОПЖ (табл.2.) (который равнялся у мужчин 60,86 лет, у женщин – 73 года (в 1991году - 63,36 и 74,56 и в 2010 - 62,36 и 74,15 лет соответственно). Разрыв в продолжительности жизни женщин и мужчин составил в среднем 12,14 лет, с колебаниями от 10,68 в 1999 году до 13,42 лет в 1993. Следует отметить, что самые низкие показатели ОПЖ как у мужчин, так и у женщин были в 1993 году (57,82 и 71,24 года

соответственно), и хотя в дальнейшем произошел рост показателя, но даже в 2010 году он не достиг исходного уровня.



Рис. 2. Естественное движение населения г. Томска (1990-2010 гг.)

Таблица 2. Ожидаемая продолжительность жизни населения г. Томска

	1991	1995	2000	2005	2010
мужчины	63.36	59.07	60.66	60.37	62.36
женщины	74.56	71.98	72.40	72.71	74.15
оба пола	69.01	65.18	66.37	66.47	68.29

Таким образом, резюмируя в целом результаты мониторинга данных, следует подчеркнуть, что с начала 90-х годов в условиях типичного города Западной Сибири происходила депопуляция населения, продолжающаяся до 2005 года, которая привела к убыли населения на 7,2% (36 360 человек) и затем, сменилась некоторым ростом (0,6% - 3 095 человек) числа городских жителей. Этот же период сопровождался изменением структуры населения за счет снижения доли лиц молодого возраста (<16 лет) на 8% и повышения численности групп лиц старшего возраста (мужчины >61 и женщины > 56 лет - на 3,4%, что привело к развитию неблагоприятного в прогностическом отношении регрессивного типа популяции, а так же к утрате демографического потенциала роста и постарению населения. Этот процесс нашел отражение в увеличении среднего возраста мужчин и женщин и сопровождался изменениями коэффициента демографической нагрузки. В целом можно прийти к выводу о том, что процесс демографического старения населения стал практически необратимым. Свидетельством неблагоприятного демографического развития города являлся так же низкий показатель ожидаемой продолжительности жизни, который в динамике к 2010 году (68,3 лет) не достиг исходного уровня исследования (69.1 лет). Особенно обращала внимание беспрецедентная для многих популяций мира и сохраняющаяся на высоком уровне гендерная разница в продолжительности жизни мужчин и женщин, составляющая 12,14 лет. В то же время резкое убывание численности населения после 45 лет подтверждало необходимость разработки и внедрения профилактики преждевременной смертности населения не только на индивидуальном и групповом, но, что особенно важно и обосновано результатами работы - популяционном уровнях.

#### Список литературы:

1. Вишневский А.Г. Незавершенная демографическая модернизация России / А.Г. Вишневский // SPERO. – 2009. – N 10. – С. 55 – 82.
2. Гундаров И.А. Демографическая катастрофа в России: причины, механизмы, пути преодоления. М., 2001. - 206 с.
3. Данишевский К. Д. Демографический кризис в России: оптимальные пути преодоления // Отечественные записки. – 2006. - №2 (29). – С. 50—62.
4. Касинский С. В., Дырко И. П., Ласкеева Н. И., Лаптева И. А. Томск в цифрах (2002-2009 гг.).



- Статистический сборник. — Томск: Томскстат, 2010. — 258с.
5. Кладов С.Ю., Конобеевская И.Н., Карпов Р.С. Факторы демографической нестабильности населения Томской области – Томск: Изд-во «Печатная мануфактура», 2009. – 224 с.
  6. Комаров Ю.М. Медицинские аспекты демографических процессов 22.01.2008 <http://www.demographia.ru/>
  7. Комаров Ю.М. Высокая смертность как ведущая причина депопуляции /Материалы 3 Всеросс. Форума «Здоровье нации – основа процветания России», М. 2007. – т.2,ч.2. С.96-101
  8. Неравенство и смертность в России / Под ред. В. Школьников, Е. Андреева и Т. Малевой. М.: Центр Карнеги, 2000. – с. 86.
  9. Николас Эберштадт Депопуляция - смертельная угроза для России. <http://www.inosmi.ru/translation/207544.html>.

#### Лечение рубцовых последствий ожогов

*Мельник Д.Д., Гюнтер В.Э., Шалыгин В.А., Трохимчук Н.И., Шериф Л.А.*

*Сибирский государственный медицинский университет. Россия, г. Томск*

*Донецкий национальный медицинский научно-исследовательский университет. Украина, г. Донецк*  
[kin@cardio-tomsk.ru](mailto:kin@cardio-tomsk.ru)

Ожоговая травма – это тяжелые повреждения, которые требуют многообразных методов лечения. Несмотря на постоянное совершенствование способов лечения и внедрение новых методик, конечные результаты лечения не всегда вызывают удовлетворение как комбустиологов, так и самих пациентов. Исходы после лечения ожогов могут быть:

- полное выздоровление, то есть заживление обожженной поверхности путём эпителизации (при поверхностных ожогах) или в результате кожной пластики (при глубоких ожогах) и полное восстановление функции повреждённого органа;
- заживление ожоговой раны с утратой функции повреждённого органа и области;
- заживление ожоговой раны с утратой функции, трудоспособности в той или иной степени, до полной потери её включительно;
- гипертрофические и келоидные рубцы, сопровождающиеся зудом, болезненностью, изъязвлением, выраженным косметическим дефектом.

Цель работы: изучить возможность коррекции патологических рубцов и функциональных послеожоговых нарушений, так как, несмотря на лечение пострадавших с ожогами ШБ степени в специализированных стационарах этих последствий не всегда удастся избежать.

Реабилитация обожженных лиц осуществляется во все периоды ожоговой болезни. В детской комбустиологии она имеет свои особенности, т.к. она направлена на пациента, который ещё окончательно не сформирован как личность и не может с полной ответственностью осознавать проводимых этапов лечения и профилактики. Со стороны пациента фигурирует негативное отношение к проводимым вариантам воздействия по предотвращению осложнений (своевременное изменение положения тела и отдельных его частей, наложение фиксирующих повязок, давящих повязок, проведение инфузионной терапии), особенно если эти мероприятия связаны с болевыми ощущениями и другими неудобствами. Реабилитация в этих случаях осуществляется во все периоды лечения и начинается сразу после получения травмы. Как это ни парадоксально, но достигнутые успехи по улучшению лечения тяжелообожженных, в прошлом обреченных на гибель, является теперь причиной увеличения частоты послеожоговых патологических рубцов и деформаций. Самый важный фактор для развития неправильных рубцов – рана, заживающая вторичным натяжением, особенно если заживление идёт более 3 недель – это раны подвергающиеся инфекции, длительному воспалению. Здесь происходит потеря механизма контроля, который обычно регулирует баланс ремонта ткани и регенерацию.

Различают 3 вида патологических рубцов: гипертрофические, келоидные и атрофические. Гипертрофические – толстые плотные с бугристой поверхностью, покрытые шелушащимся эпителием. Они начинают формироваться сразу после эпителизации ран, к 6-12 месяцам приобретают четкие очертания, отграничиваясь от атрофической части рубца и неповреждённой кожи, могут изъязвляться. Гипертрофические рубцы никогда не распространяются за зону повреждения. Постоянная травматизация, надрывы и изъязвления эпидермиса поддерживают хронический воспалительный процесс.

Келоидные рубцы четко очерчены, иногда возвышаются (как бы нависают) над поверхностью окружающей кожи. Границы их нередко распространяются за пределы первичного

поражения. Для них характерны резкие разрастания иногда причудливой формы. Начало роста образований часто происходит через 1-3 месяца после эпителизации ожоговой раны. Поверхность келоидов гладкая, блестящая, синюшно багрового цвета, никогда не изъязвляется. Часто больные испытывают чувство боли и жжения в рубцах. Патогенез келоидов неизвестен, некоторые авторы расценивают их как доброкачественные опухоли. Мы согласны с мнением, что несомненное влияние на развитие келоидных и гипертрофических рубцов оказывает несвоевременное, некачественное, недостаточное проведение инфузионной терапии и местного лечения ожоговых ран. На формирование патологических рубцов также оказывает влияние состояние эндокринной и иммунной системы: в зоне повреждения появляется антиген F, в ответ на который вырабатывается избыточное количество иммуноглобулина E. Все эти факторы в комплексе с другими и не до конца изученными в настоящее время, способствуют развитию патологических рубцов.

Известные консервативные методы лечения гипертрофических и келоидных рубцов (фонофорез с гормональными мазями, лидазой, обработка контрадуксом, давящие компрессионные костюмы и другие методы) не всегда позволяют добиться желаемого результата. Значительно улучшить состояние рубцовой послеожоговой ткани нам удалось добиться, используя криолечение жидким азотом (температура 196 градусов), по разработанной методике. Применялось двухкомпонентное воздействие на рубцы волокнистым тампоном в чередовании с инструментами-катками из пористого никелида титана (рис.1). Курс лечения состоял из 15-20 сеансов, которые выполнялись через 3-5 дней.

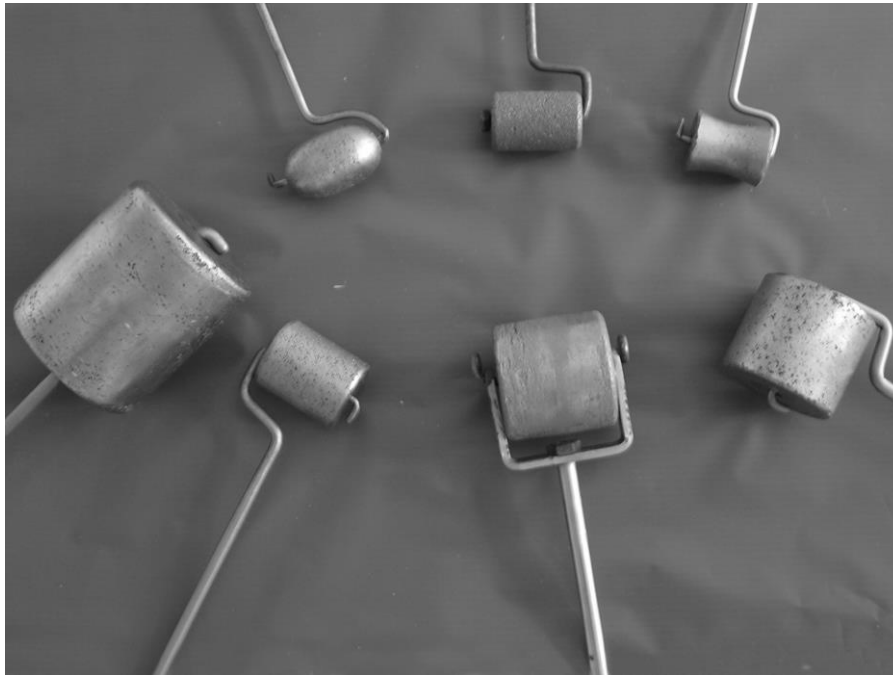


Рис 1. Инструменты из пористого никелида титана для лечения послеожоговых рубцов

Мы провели исследование у 88 пациентов, перенесших ожоги IIIA-IIIБ степени в возрасте от 2 месяцев до 15 лет с обширным поражением (8-26% поверхности тела). Гипертрофические рубцы диагностированы у 19 больных (в возрасте 2-14 лет), келоидные - у 2 (возраст 12 и 14 лет). Мы учитывали возраст обожженных детей предполагая влияние старшего возраста как фактора усиливающего рубцевание за счет более сложного характера иммунитета. У детей с ожогами грудного возраста заживление ожоговых ран происходит с более нежной эпителизацией, что как мы считаем связано с меньшим возрастным напряжением иммунологических факторов. Келоидные рубцы при ожоговом поражении встречались очень редко, закономерности в их появлении нами не выявлены. Некоторые авторы, не видят причины разделения послеожоговых рубцов на гипертрофические и келоидные, поскольку для лечения их применяют одинаковые методы, но мы считаем это нецелесообразным, т.к. келоидные рубцы более устойчивы к различным видам лечения.

Криолечение жидким азотом нами применено у 9 ожоговых реконвалесцентов с гипертрофическими рубцами через 6 месяцев после заживления ран: во всех случаях рубцовая ткань претерпела положительные изменения, она стала тоньше, мягче, эластичнее, значительно увеличилась её смещаемость, что важно при выполнении корригирующих операций при нарушенных функциях суставов. В контрольной группе эти изменения были минимальны или полностью отсутствовали, что послужило поводом для иссечения рубцовой ткани с тенденцией к повторному рубцеванию.

Криовоздействие жидким азотом нами проводилось на атрофические рубцы у 4 пациентов. Исчезновение и выравнивание тканей, расположенных ниже уровня кожи произошло у 2 пациентов при ширине 0,5-1 см. Атрофические рубцы большей площади потребовали иссечения с последующей криокоррекцией

При расположении рубцов III степени на волосистой части головы аутодермопластика не позволяет решить проблему полного выздоровления: формируются различные участки аллопеций, которые составляют косметический и моральный дефект. Наиболее эффективно удаётся исправить положение применение эндоэкспандеров (рис.2). Лечение с применением экспандерной пластики подвергнуто 28 пострадавших с утратой волосистого покрова головы в возрасте 5-15 лет. Лечение начинали не ранее, чем через 1 год, после заживления ожоговой раны (время окончательного формирования рубцовой ткани).

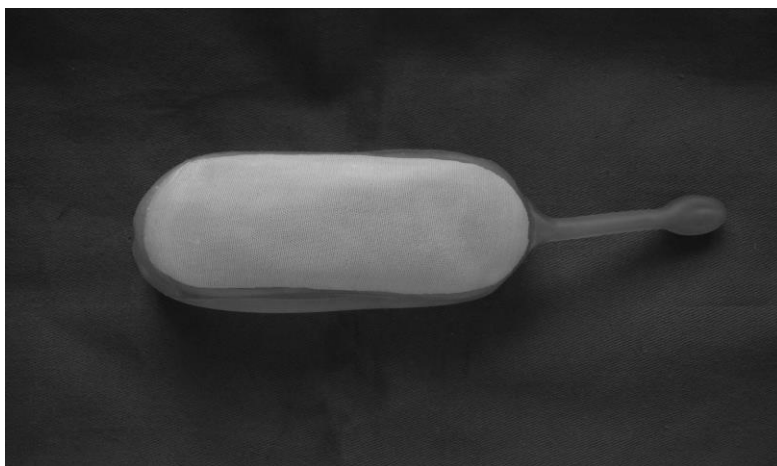


Рис.2 Внешний вид экспандера

Экспандер изготовлен из латекса или силикона, имеет вид цилиндра, от которого отходит длинная узкая «шейка», заканчивающаяся головкой, через которую проводят наполнение экспандера жидкостью. Диаметр его – 45-90мм. Устанавливаются экспандеры через линейный разрез кожи в подкожно-жировую клетчатку. На 2-3 сутки начинается наполнение его жидкостью порциями 5-10-20 мл. Через 20-35 суток с момента установления экспандера создаётся необходимый запас кожи путём растяжения участка, содержащего волосную часть. Во время операции на участке аллопеции иссекается кожный покров, не содержащий волос, образовавшийся дефект закрывается растянутой кожей волосистой части головы с растущими волосами.

Таким образом, описанные методы воздействия на послеожоговые рубцовые ткани позволяют эффективно корригировать последствия глубоких ожогов: устранить болезни патологических рубцов (зуд, боли, изъязвления, контрактуры); восстановить потерянные участки волосного покрова черепа; позволяют получить хороший функциональный и косметический результат.

Разработанные методы криолечения послеожоговых рубцов и деформаций и методы экспандерной пластики – являются важным достижением в реабилитации тяжелообожженных.

#### Список литературы:

1. Использование рубцово-измененных тканей в лечении тотальных послеожоговых контрактур шеи /П.В.Сарыгин, В.Ю.Мороз, Н.А.Ваганова и др. // II Съезд комбустиологов России. -2008.-С. 197-199.
2. Мельник Д.Д. Новое в медицинской практической криологии. - М., 2004.- С.48-50.

3. Ожоги (руководство для врачей)/ под ред. Вихриева Б.С., Бурмистрова В.М. -1981.- 327 с.
4. Чугуй Е.В. Криолечение рубцов покровных тканей: дисс. канд. мед. наук. - Томск.-2003.-149 с.
5. Фаизов Т.Т., Закирова Л.А. История детской пластической реконструктивной челюстно-лицевой хирургии в Казани // Детская хирургия.- 2013.- №2.- С. 53-56.
6. Gage A.A. Baust J. Mechanisms of tissue injury in cryosurgery //Cryobiology.- 1998.- Vol. 37, Pt.3.- P. 171-186.

**Роль цитокинов в 2,03 патогенезе воспаления при метаболическом синдроме**  
**Мурашев Б.Ю. \*, Беспалова И.Д. \*, Рязанцева Н.В. \*, Новицкий В.В. \*, Калюжин В.В. \*,**  
**Медянцева Ю.А. \*\*, Осихов И.А. \***

*\*ГБОУ ВПО СибГМУ Минздрава России, Россия, Томск*

*\*\*МУЗ «Томская центральная районная больница», Россия, Томск*

[innadave@mail2000.ru](mailto:innadave@mail2000.ru)

Метаболический синдром (МС) – одна из ведущих проблем современной медицины, поскольку включает в себя различные факторы риска развития и дальнейшего тяжелого течения ряда социально значимых заболеваний, основных причин высокой смертности. [1-4, 21]. Научные знания и понимания этой проблемы 21 века подошли в настоящее время к своеобразному кризису, связанному с «перепроизводством» непрерывно обновляющейся информации о возможных проявлениях и отсутствием общепринятой доказанной концепции его патогенеза [18]. Эксперты ВОЗ признают приоритетными дальнейшее исследование патогенетических механизмов развития МС и поиск ключевых факторов, консолидирующих отдельные его компоненты, спектр которых непрерывно расширяется [Доклад Комитета экспертов ВОЗ, 2010].

В настоящее время в ряде литературных источников широко обсуждается новая теория патогенеза о взаимосвязи инсулинорезистентности (ИР) и абдоминального ожирения с хроническим вялотекущим воспалением. Непосредственное участие, в котором принимают цитокины и белки острой фазы, вырабатываемые печенью в ответ на стимуляцию цитокинами. До сих пор остаётся не ясным, отражает ли хроническое воспаление наличие уже сформировавшихся нарушений или принимает непосредственное участие в патогенезе. В качестве маркеров системного воспалительного ответа при МС и ассоциированных с ним заболеваниях рассматривают такие показатели как С-реактивный белок (СРБ), фибриноген, фактор некроза опухоли  $\alpha$  (ФНО- $\alpha$ ), интерлейкин-1 (ИЛ-1), интерлейкин-6 (ИЛ-6) и др. [6, 7, 8].

Цитокины являются группой фармакологически активных низкомолекулярных белков с ауто- и паракринным действием, которые являются продуцентами и эффекторами воспаления и иммунной системы. Цитокины могут секретировать самые различные клетки: макрофаги, эндотелиоциты, нейтрофилы, эозинофилы, фибробласты, Т-лимфоциты [15, 18]. В последнее время установлено, что цитокины способны продуцироваться также клетками жировой ткани - адипоцитами [6-13]. Согласно функциональной классификации выделяют четыре группы цитокинов. Провоспалительные цитокины, локальная продукция которых, приводит к формированию очага острого воспаления. Основными продуцентами провоспалительных цитокинов выступают моноциты, макрофаги и лимфоциты. К провоспалительным цитокинам относятся ИЛ-1 $\beta$ , ИЛ-6, ИЛ-8, ФНО- $\alpha$ ., IFN- $\gamma$ . Хемокины, регулирующие движение клеток в организме, проникновение в зону развития воспаления. К этой группе принадлежат ИЛ-8 и MCP-1. Гемопоэтические факторы, к которым относят ИЛ-3, который помимо пролиферативной регенераторной функции численности стволовых клеток, способен стимулировать функции эозинофилов. Иммуномодулирующие цитокины ИЛ-2, ИЛ-4, ИЛ-10 [5]. ИЛ-2 способствует активации Т- и В-лимфоцитов, ИЛ-4, ИЛ-10 способны подавлять продукцию провоспалительных цитокинов (ИЛ-1, ИЛ-6, ИЛ-8, ФНО- $\alpha$ ), то есть обладают противовоспалительным действием.

Хроническое воспаление, которое имеет место при МС, обусловлено повышенной работой иммунной системы [24]. Так установлено, что стимулированная продукция интерферона- $\gamma$ , ИЛ-1 $\beta$ , ИЛ-6 имеет более высокий уровень у пациентов с ожирением, чем у лиц с нормальной массой тела. Основными цитокинами, участвующими в патогенезе воспаления при МС, являются ИЛ-1 $\beta$ , ФНО- $\alpha$ , ИЛ-6. ИЛ-1 $\beta$  усиливает токсичность неэстерифицированных жирных кислот [20]. Наличие хронического неспецифического воспаления при ожирении [8, 9], ИР, СД 2 типа [16, 17] и ранних стадиях атеросклероза [17, 18] позволяет рассматривать воспаление как связующее звено между абдоминальным ожирением, метаболическими нарушениями и сосудистыми заболеваниями [4]. Кроме того, цитокины подавляют дифференцировку клеток предшественников

адипоцитов и индуцируют воспалительный фенотип адипоцитов, что, в свою очередь, приводит к привлечению воспалительных клеток в жировую ткань [6-13]. Висцеральная жировая ткань секретирует огромное количество биологически активных веществ называемых адипокинами, а также ФНО- $\alpha$  (кахексин) – провоспалительный цитокин, который влияет на синтез, секрецию, активность других цитокинов [6-13]. ФНО- $\alpha$  нарушает инсулиночувствительность и стимулирует липолиз [16]. Кроме того, ФНО- $\alpha$  приводит к увеличению адгезии лейкоцитов к эндотелию [15], активации воспалительных путей, опосредованных нуклеарным фактором- $\kappa$ B [17, 18], увеличению экспрессии адгезионных молекул и эндотелина-1, экспрессии матричных металлопротеиназ [19], подавлению экспрессии NO-синтазы. ФНО- $\alpha$  выполняет роль медиатора ИР при ожирении и МС, синтезируется и адипоцитами и макрофагами жировой ткани. Многие исследователи отмечают положительную корреляцию между экспрессией ФНО- $\alpha$  и индексом массы тела (ИМТ). Также снижается экспрессия ФНО- $\alpha$  и его концентрация в крови при уменьшении массы тела. ФНО- $\alpha$  стимулирует адгезивные молекулы эндотелия, повышает их синтез эндотелиальными и гладкомышечными клетками, способствуя тем самым проникновению воспалительных клеток в сосудистую стенку. ФНО- $\alpha$  уменьшает образование оксида азота, что угнетает дилатацию сосудов и способствует дисфункции эндотелия [22]. Установлено, что продукция ИЛ-6 висцеральной жировой тканью сальника примерно в 2-3 раза выше, чем продукция подкожной жировой ткани. Причем, ИЛ-6 выполняет как противо-, так и провоспалительное действия [21, 22], а дисрегуляция ИЛ-6 может играть как защитную, так и провоцирующую роль в развитии воспаления [18]. Считается, что повышение уровня ИЛ-6 приводит к увеличению ИР за счет подавления инсулинозависимого транспортёра глюкозы GLUT4 [22, 23]. Про- и противовоспалительные эффекты ИЛ-6 позволяют предположить, что ИЛ-6 нивелирует воспаление низкой степени выраженности, индуцированное другими провоспалительными медиаторами. Повышенные концентрации в сыворотке крови ФНО- $\alpha$ , ИЛ-6, СРБ и других воспалительных медиаторов подтверждают значительную роль воспаления в патогенезе МС и ожирения [6-10]. Однако вклад воспаления жировой ткани при абдоминальном ожирении в системный воспалительный ответ до конца не изучен. Нуждается в уточнении роль функциональной активности мононуклеарных лейкоцитов крови и адипоцитов и мононуклеарных лейкоцитов жировой ткани в поддержании воспалительного процесса.

Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы (номер государственного соглашения: 8601) и Российского фонда фундаментальных исследований (договор № 13-04-01225 А).

#### Список литературы:

1. Беспалова И.Д. Системное воспаление в патогенезе метаболического синдрома и ассоциированных с ним заболеваний. // Сибирский медицинский журнал (Иркутск). – 2013 – Т. 117, № 2. – С.5-9.
2. Бутрова С.А. Висцеральное ожирение - ключевое звено метаболического синдрома // Ожирение и метаболизм.- 2004.-№ 1.-С. 10-16.
3. Зайчик А.Ш. Патохимия (эндокринно-метаболические нарушения) Учебник для студентов медицинских вузов. Изд. 3-е, дополненное и исправленное. – Спб.: ЭЛБИ-СПб, 2007. – 768 с.
4. Строев Ю.И. Классические и современные представления о метаболическом синдроме. Часть 2. патогенез // Вестник Санкт-Петербургского университета. – 2007.- Вып.4 – С. 3 – 14
5. Черешнев В.А. Избранные труды. Иммунология. Учебник – М.: «Магистр-пресс», 2011. – 421 с.
6. Шварц В. Я. Воспаление жировой ткани (часть 1). Морфологические и функциональные проявления. // Проблемы эндокринологии. – 2009. – Т. 55, № 4. – С. 44-49.
7. Шварц В. Я. Воспаление жировой ткани (часть 2). Патогенетическая роль при сахарном диабете 2-го типа. // Проблемы эндокринологии. – 2009. – Т. 55, № 5. – С. 43-48.
8. Шварц В. Я. Воспаление жировой ткани (часть 3). Патогенетическая роль в развитии атеросклероза. // Проблемы эндокринологии. – 2009. – Т. 55, № 6. – С. 40-45.
9. Шварц В.Я. Воспаление жировой ткани (часть 4). Ожирение — новое инфекционное заболевание? (обзор литературы). // Проблемы эндокринологии. – 2011. - № 5. – С. 63 – 71. 10. Шварц В.Я. Воспаление жировой ткани (часть 5). Взаимосвязь с физиологической инсулинрезистентностью. // Проблемы эндокринологии. – 2011. - № 6 – С. 64 – 70.
10. Шварц В. Я. Жировая ткань как орган иммунной системы. // Цитокины и воспаление. – 2009. – Т. 8, № 4. – С. 3-10.
11. Шварц В. Я. Регуляция метаболических процессов интерлейкином 6. / В. Я. Шварц // Цитокины и воспаление. – 2009. – Т. 8, № 3. – С. 3-10.

12. Шварц В. Я. Физиологическая и патологическая роль рецепторов врожденной иммунной системы жировой ткани. // Патологическая физиология и экспериментальная терапия. – 2010. - № 3. – С. 45-51.
13. Aldhahi W. Adipokines, inflammation, and the endothelium in diabetes. // Current diabetes reports. – 2003. – Vol. 3. – P. 293–298.
14. Alexandraki K. Inflammatory Process in Type 2 Diabetes. The Role of Cytokines. // Annals of the New York Academy of Sciences. – 2006. – Vol. 1084. – P. 89–117.
15. Brent E.W. The inflammatory syndrome: the role of adipose tissue cytokines in metabolic disorders linked to obesity // J. Am. Soc. Nephrol.- 2004.-V. 15.-P. 2792-2800.
16. Chandron M. Adiponectin: more than just another fat cell hormone? // Diabetes Care. - 2003.-V. 26.-P. 2442-2450.
17. Coppack S.W. Pro-inflammatory cytokines and adipose tissue. // Proceedings of the Nutrition Society. – 2001. – Vol. 60. – P. 349 – 356.
18. Dandona P. The anti-inflammatory and potential anti-atherogenic effect of insulin: a new paradigm // Diabetologia.-2002.-N. 45.-P. 924-930.
19. Fantuzzi G. Adipose tissue and atherosclerosis: Exploring the connection. // Arterioscler. Thromb. Vasc. Biol. – 2007. – Vol. 27. – P. 996-1003.
20. Grimble R.F. Inflammatory status and insulin resistance // Curr. Opin. Clin. Nutr. Metab. Care.- 2002.- N. 5.-P. 551-559.
21. Hess K. Bedeutung der Fettinflammation für Insulinresistenz and Atherogenese. // Diabetes, Stoffw. Herz. – 2007. – Vol. 16. – P. 433-440.
22. Klein B.E. Components of the metabolic syndrome and risk of cardiovascular disease and diabetes in Beaver Dam // Diabetes Care. - 2002; 25: 1790-1794.
23. Lyon C.J. Adiposity, inflammation, and atherogenesis // Endocrinology.-2003.-V. 144.-P. 2195-2200.
24. Meigs J.B. Biomarkers of endothelial dysfunction and risk of type 2 diabetes mellitus. // JAMA. -2004.-V. 291.-P. 1978-1986.
25. Mu H. Adipokine resistin promotes in vitro angiogenesis of human endothelial cells. // Cardiovasc. Res. – 2006. – Vol. 70. – P. 146-157.
26. Neels J.G. Inflamed fat: what starts the fire? // J. Clin. Invest. -2006.-V. 116.-P. 33-35.
27. Panousis C.G. Interferon-gamma induces downregulation of Tangier disease gene (ATP-binding-cassette transporter 1) in macrophage-derived foam cells. // Arterioscler. Thromb. Vasc. Biol. – 2000. – Vol. 20. – P. 1565-1571.
28. Pickup J.C. Is type II diabetes mellitus a disease of the innate immune system? // Diabetologia. – 1998. – Vol. 41. – P. 1241–1248.
29. Unger R.H. Lipotoxic Diseases //Annu Rev. Med. -2002.-V. 53.-P.319-336.
30. Vendrell J. Resistin, adiponectin, ghrelin, leptin, and proinflammatory cytokines: relationship in obesity. // Obes Res. – 2004. – Vol. 12. – P. 962-971.
31. Weisberg S.P. Obesity is associated with macrophage accumulation in adipose tissue. // J. Clin. Invest.-2003.-V.112.-P.1796-1808.
32. Wellen K.E. Inflammation, stress, and diabetes // J. Clin. Invest.-2005.-V. 115.-P. 1111-1119.
33. Zeng M. Tumor necrosis factor-alpha-induced leukocyte adhesion and microvessel permeability. // American Journal of Physiology - Heart and Circulatory Physiology. – 2002. – Vol. 283. – P. 2420–2430.

**Терапия острых и хронических ларингитов у пациентов в зависимости от результатов бактериологического исследования микрофлоры гортани**

**Чуйкова К.И.<sup>1</sup>, Зарипова Т.Н.<sup>2</sup>, Мухина В.И.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>ППС ГБОУ ВПО СибГМУ Минздрава России

<sup>2</sup>ФГБУН «Томский НИИ курортологии и физиотерапии ФМБА России»

<sup>3</sup>МБЛПУ Поликлиника № 10

*vim16@sibmail.com*

В настоящее время лечение больных с воспалительными заболеваниями гортани остаётся актуальной проблемой. [2,4,5]. Около 80-90 % больных, страдающих патологией голоса, составляют лица трудоспособного возраста. Неправильно выбранная тактика в ведении таких больных приводят к затяжному течению воспаления, развитию осложнений, может привести к переходу заболевания в хроническую форму. При данной патологии нарушаются такие жизненно

важные функции, как голосообразующая и дыхательная, что зачастую приводит к длительной нетрудоспособности пациентов и в целом представляет сложнейшую медико-социальную проблему. [6,1].

Рост резистентности микроорганизмов и изменения в этиологической структуре инфекций гортани говорят о необходимости пересмотра терапевтических подходов [3,7,8].

Целью работы явилась разработка терапевтических комплексов для больных с острыми и хроническими ларингитами на основе результатов бактериологического исследования микрофлоры гортани.

Задачи:

1. Изучить бактериальный пейзаж слизистой гортани у пациентов с острыми и хроническими ларингитами.

2. Разработать терапевтический комплекс: антибиотик и специфический бактериофаг у больных с острыми и хроническими ларингитами с учетом выделенной микрофлоры.

3. Оценить эффективность влияния разработанного терапевтического комплекса на сокращение сроков нетрудоспособности пациентов и их индекс здоровья.

Объект и методы исследования.

В период с 2009 по 2011 гг. под нашим наблюдением находилось 123 пациента с острым и обострением хронического ларингита в возрасте от 18 до 60 лет, из них 75 женщин и 53 мужчины. Все больные были распределены в группы в зависимости от формы воспалительного процесса и его длительности. С острым ларингитом находились на лечении 43 пациентов в возрасте от 18 до 40 лет, с хроническим ларингитом в стадии обострения 80 человек, в возрасте от 18 до 60 лет. Клиническое обследование пациентов выполнялось до начала лечения и при выписке его на работу.

При этом для сравнения результатов эффективности лечения и длительности нетрудоспособности были выделены основные группы (1а - с острыми ларингитами и 2а - с обострениями хронических ларингитов) и группы сопоставления (1б и 2б, соответственно). Все группы были сопоставимы по полу и возрасту.

В основных группах (1а – 22 больных; 2а – 58 больных) проводилось этиотропное противовоспалительное лечение по разработанной нами схеме комплексной терапии (с применением антибиотиков и специфических бактериофагов), с учетом выделенной микрофлоры гортани, в группах сопоставления (1б – 21 больной, 2б – 22 больных) применяли лечение по традиционной схеме (антибиотики широкого спектра действия без учета чувствительности к выделенной микрофлоре). В обеих группах назначалась также базисная терапия: противовоспалительная десенсибилизирующая терапия, витаминотерапия и посиндромная терапия. Местная терапия применялась в обеих группах больных, в основной группе также с учетом выделенной микрофлоры и индивидуальной чувствительности к антибиотикам и бактериофагам, в группе сопоставления без учета индивидуальной чувствительности.

Все больные в обеих сравниваемых группах предъявляли жалобы на осиплость, сухой кашель, першение, сухость в гортаноглотке, слабость, снижение работоспособности, субфебрильную температуру. Выраженность жалоб зависела от длительности заболевания и остроты воспалительного процесса.

Обследование больных включало непрямую ларингоскопию, электронную ларингостробоскопию, определение времени максимальной фонации. Из лабораторных методов использовались: общий анализ крови с формулой до и после лечения. Помимо этого, каждому пациенту проводилось исследование микрофлоры гортани и ее чувствительности к антибиотикам. Чувствительность микроорганизмов к антибиотикам определяли методом дисков в соответствии с «Методическими указаниями по определению антибиотикочувствительности микроорганизмов к антибиотикам методом их диффузии в агар с использованием дисков», утвержденной МЗ СССР (приказ № 535 от 22 апреля 1985 года). Биоматериал получали путем взятия мазка со слизистой гортани в области вестибулярных складок, межчерпаловидного пространства и слизистой голосовых складок специальным ватным тампоном. Таким же образом выявлялась чувствительность к бактериофагам. Больные обследовались до лечения и после проведенного курса терапии. У исследуемых больных не было тяжелых хронических заболеваний, которые требовали дополнительного постоянного лекарственного лечения. Математическая обработка фактического материала выполнялась с помощью статистической программы SPSS 13.0. Разница частот оценивалась с помощью критериев Фишера (F) и Хи – квадрата (X<sup>2</sup>). Для сравнения показателей использовались непараметрические методы статистического анализа с расчетом критериев Вилконсона (внутригрупповое сравнение) и Манна Уитни (межгрупповое) сравнение.

Критический уровень статистической значимости (P) при проверке нулевой гипотезы принимался равным 0,05.

Полученные результаты и их обсуждение. При бактериологическом исследовании Микробный пейзаж слизистой оболочки гортани был представлен как моно-, так и сочетанными культурами микроорганизмов (Рис.1.2).

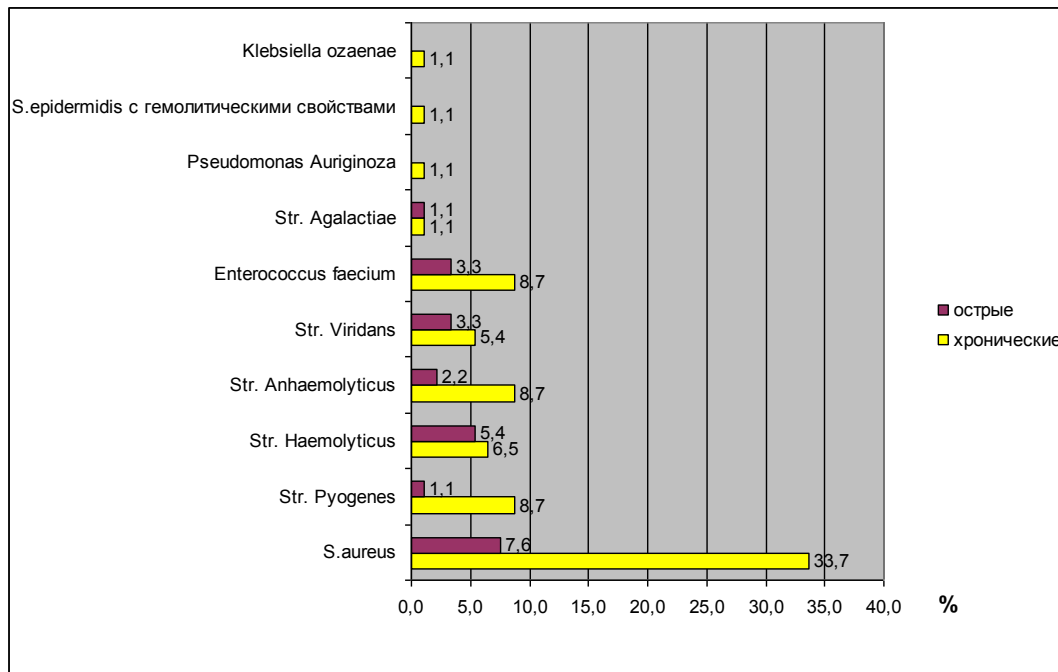


Рис.1. Микробный пейзаж слизистой оболочки гортани пациентов с острыми и хроническими ларингитами (монокультуры).

Как видно из Рис.1, в группе пациентов с острыми ларингитами (n = 22) S.aureus встречается у 7 больных, на втором месте Str. haemolyticus у 5 больных, Enterococcus faecium и Str. Viridans у 3 пациентов соответственно. У больных с обострением хронического ларингита (n = 70) преобладает возбудитель S.aureus у 31 больного, на втором месте Str. Anhaemolyticus, Str. Pyogenes и Enterococcus faecium у 8 больных, и Str. haemolyticus – у 6 больных на третьем месте. Остальные виды микроорганизмов встречаются в единичных случаях.

Микробные ассоциации слизистой оболочки гортани, согласно Рис. 2, у больных с острыми ларингитами (n = 6) и хроническими ларингитами (n = 9) встречались в 6 раз реже, чем монокультуры. Наиболее часто в группе пациентов с острыми ларингитами обнаруживались S.aureus + Str. Anhaemolyticus (13,3% от числа больных с микробными ассоциациями, всего - 15). Сочетания возбудителей S.aureus + Str. haemolyticus встречались только в группе пациентов с острыми ларингитами.

У пациентов с хроническим ларингитом в стадии обострения (n = 9) чаще всего обнаруживались сочетания S.aureus + Str. Anhaemolyticus, S.aureus+ Str. Viridans. С наименьшей частотой определялись микробные ассоциации S.aureus + Str. pyogenes, S.aureus + Str. Anhaemolyticus. Микробные ассоциации условнопатогенных микроорганизмов с факультативными анаэробами Str. haemolyticus + Candida A., S.epidermidis + Candida A, S.aureus + Candida A. встречаются только в группе пациентов с хроническими ларингитами и отсутствуют в группе пациентов с острыми ларингитами.

Обращает на себя внимание, что в структуре микробного пейзажа пациентов с острыми и хроническими ларингитами доминирует S.aureus как в монокультурах, так и в их микробных ассоциациях.

С учетом результатов изучения микрофлоры гортани и определения её чувствительности к антибиотикам больные с острыми и хроническими ларингитами получали терапию по следующим схемам:

Терапия при острых ларингитах:



- Антибактериальная терапия антибиотиками, преимущественно широкого спектра действия.
- Посиндромная терапия (муколитическая, противовоспалительная, противокашлевая и др).
- Десенсибилизирующая терапия.
- Витаминотерапия (преимущественно витамином С).

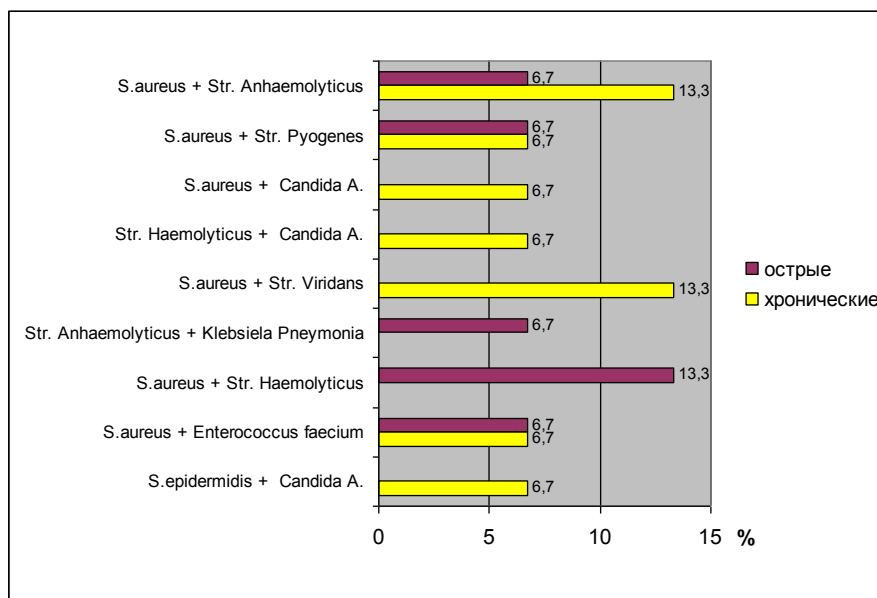


Рис.2. Микробный пейзаж слизистой оболочки гортани пациентов с острыми и хроническими ларингитами (сочетанная микрофлора).

Дополнительно ( в группе 1а) после получения результата бактериологического исследования с 4-5 дня болезни пациенту предлагали терапию антибактериальными препаратами и специфическими бактериофагами с учетом выделенной микрофлоры и чувствительности к ней антибиотиков. Одновременно начинали инстилляциии специфических бактериофагов в гортань в количестве 0,5 - 1 мл в течении 10 дней при острых ларингитах. В случае выраженности воспалительного процесса и тяжелом течении заболевания в это время пациенту назначали бактериофаг внутрь по 1 ст.л 3 раза в день в течение 10 дней.

Терапия при хронических ларингитах:

- Антибактериальная терапия резервными антибиотиками (фторхинолоны, макролиды и др.).
- Десенсибилизирующая терапия.
- Витаминотерапия (преимущественно витаминные комплексы).
- Фитотерапия.
- Диета.
- Отказ от раздражителей.

Дополнительно (в группе 2а) после получения результата бактериологического исследования с 4-5 дня болезни пациенту назначалась терапия антибактериальными препаратами и специфическими бактериофагами с учетом выделенной микрофлоры и чувствительности к ней антибиотиков. Одновременно начинали инстилляциии специфических бактериофагов в гортань в количестве 0,5 - 1 мл в течении 14 дней, а также бактериофаг внутрь по 1 ст.л 3 раза в день в течение 14 дней.

Пациентам группы сопоставления проводилась только базисная терапия.

Предложенные терапевтические комплексы защищены Патентом № 2474431, зарегистрированном в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 10 февраля 2013 года.

Эффективность комплексной терапии (антибиотик + бактериофаг) с учетом выделенной микрофлоры у больных с острым и хроническим ларингитом отразилось и на сокращении сроков нетрудоспособности.

В таблице 1 показана продолжительность нетрудоспособности у больных острым и хроническим ларингитом в зависимости от вида проводимой терапии.

Таблица 1. Влияние комплексной терапии на продолжительность нетрудоспособности у больных с острым и обострением хронического ларингита.

Нозологическая форма	Усредненное время нетрудоспособности больных с (дни)		Δ	P
	Основная группа (комплексная терапия)	Группа сопоставления		
Острый ларингит	8,1±3,0	19,0±4,9	10,9±7,9	0,000
Обострение хронического ларингита	16,8±3,1	29,4±4,2	12,6±7,3	0,000

Средняя продолжительность нетрудоспособности больных с острым ларингитом в результате комплексной терапии составила: 8,1±3,0 дня. Для группы сопоставления этот показатель составил 19,0±4,9 дня. Таким образом, длительность нетрудоспособности у больных в группе с острым ларингитом на фоне комбинированной терапии, проводимой с учетом выделенной микрофлоры, оказалось достоверно меньше, чем в группе сопоставления на 10,9±7,9 дня (P = 0,000).

Продолжительность нетрудоспособности больных с обострением хронического ларингита также различалась в зависимости от проводимой терапии. Продолжительность нетрудоспособности больных в результате комплексной терапии составила 16,8±3,1 дня. Для группы сопоставления этот параметр составил 29,4±4,2 дня, что больше на 12,6±7,3 дня (P = 0,000).

Таким образом, длительность нетрудоспособности у больных с острым и хроническим ларингитом на фоне комплексной терапии оказалась значительно короче, чем у больных на фоне традиционной терапии, без учета микрофлоры пациента.

Следовательно, в обоих случаях нетрудоспособность при комплексном лечении была существенно короче (U 1 тест = 11,0; P = 0,000, U2 тест = 96,5; P = 0,000), чем в группах сопоставления.

По результатам интегральной оценки клинических, функциональных и лабораторных данных был рассчитан показатель уровня здоровья (индекс здоровья – ИЗ) до и после курса лечения. В 16 подгруппе до начала лечения он составил 61,0 [54,5; 63,5]%, после лечения он возрос на 24,5% относительно исходного уровня и стал равняться 76,0 [67,0;79,0]% (P = 0,000). В 1а подгруппе индекс здоровья возрос в результате лечения на 45,3% с 53,5 [50,5; 61,2] до 78,0 [72,2; 79,0] (P = 0,000). Таким образом, прирост ИЗ в основной группе был на 24,3% большим (P < 0,05), чем в группе сопоставления. У больных с обострением хронического ларингита ИЗ возрос в группе сопоставления на 19,5% с 56,5 [50,2;59,7]% до 67,5 [59,0;75,0] %, P = 0,000. В основной группе после лечения ИЗ возрастал на 39% от исходного уровня: с 52,5[45,2;58,0] до 73,0 [65,0;78,0] %; P = 0,000, т.е на 20% больше, чем в группе сопоставления.

Таким образом, включение в лечение больных с острым и обострением хронического ларингита разработанного нами терапевтического комплекса с учетом выделенной микрофлоры позволяет не только сократить длительность нетрудоспособности, но и более качественно, особенно у больных с хроническим ларингитом, восстановить уровень здоровья пациентов.

**Выводы:**

Исследование микрофлоры гортани при острых и обострении хронических ларингитов показало, что наиболее частым возбудителем воспалительных заболеваний гортани является *S. Aureus*, как монокультура, так и в сочетаниях с другими бактериальными ассоциациями.

Учет вида микрофлоры гортани и исследование ее чувствительности к антибиотикам позволяет определить выбор специфической антибактериальной терапии – антибиотик и бактериофаг у больных с острыми и при обострении хронических ларингитов.

Разработанный комплекс лечения пациентов с учетом данных бактериологического исследования микрофлоры гортани способствует оптимизации терапии, позволяет сократить сроки заболевания и нетрудоспособности у пациентов с острыми и обострениями хронических ларингитов и восстановить уровень здоровья пациентов.

**Список литературы:**

1. Василенко Ю.С. Голос. Фониатрические аспекты.- М.: Дипак,- 2013.- 396с.
2. Демченко Е.В., Иванченко Г.Ф., Новаковский Д.Л. Современные аспекты клинко-лабораторной диагностики и лечения хронического гиперпластического ларингита.// Качество жизни. Медицина .- 2007 – с.35-38.
3. Лазарева Е.Б. Бактериофаги и пектины в коррекции нарушений микробиоценозов при гнойно-воспалительных процессах.: Автореф. дисс. докт. мед. наук, М.- 2007.-С.13.
4. Осипенко Е.В. Противовоспалительная терапия в лечении больных хроническим ларингитом.//Вестник оториноларингологии. № 4 - 2009 - с.63-65.
5. Рябова М.А., Немых О.В. Хронический ларингит: принципы патогенетического лечения. - СПб., - 2010.-139с.
6. Свистушкин В.М. Эмпирическая антибактериальная терапия при острых воспалительных заболеваниях верхних отделов дыхательных путей.// Русский медицинский журнал, том 13. - № 4. - 2005.
7. Фаттахов Б.Т. Применение пибактериофага в лечении и профилактике раневой инфекции глаза. Автореф. дисс. канд. мед. наук, Уфа.- 1999.-С.13
8. David R Harper1 & Sandra Morales. Bacteriophage therapy: practicability and clinical need meet in the multidrug-resistance era. Future Microbiol. (2012) 7(7), 797–799

#### **Современный взгляд на использование бактериофагов при воспалительных процессах**

***В.И. Мухина\*; И.А. Смородина***

*\*МБЛПУ «Поликлиника №10, Городской фониатрический кабинет» г.Томск, Россия*

*ФКУЗ МСЧ МВД России по Томской области, Россия*

*e-mail: vim16@sibmail.com*

Многолетнее применение антибиотиков при лечении различных заболеваний привело к возникновению множественной лекарственной устойчивости бактериальных штаммов к антибиотикам. На прошедшей в сентябре 2009 г. в Стокгольме конференции «Инновационные задачи в области эффективности антибактериальных препаратов» было отмечено, что только в странах ЕС от инфекций, вызванных бактериями, имеющими множественную лекарственную устойчивость, умирает более 25 000 пациентов в год. Поэтому многие исследователи говорят о серьезном «кризисе антибактериальной терапии» [10,11,12,13].

Все это заставляет искать новые подходы профилактики и лечения воспалительных заболеваний. Одним из таких подходов стало возвращение к использованию бактериофагов, от которых медицинское сообщество отказалось в середине 20-го века в связи с созданием антибиотиков широкого спектра действия.

В первой половине XX века Н.Ф. Гамалея, З.В. Ермильева, Г.М. Фишер и другие ученые внесли значительный вклад в изучение как самих бактериофагов, так и возможности их применения на практике. Явления лизиса бактерий под влиянием бактериофага открыл в 1898 г. русский ученый Н.Ф. Гамалея, в этом же году фаги стали использоваться при лечении ран и различных инфекций. В 1917 году Феликс д'Эрель назвал бактериофаги «бактериофагами» и охарактеризовал их как «вирусы, размножающиеся в бактериях». Первый известный науке отчет об успешной фаготерапии был сделан в 1921 году Брийонгом и Майсином, которые использовали стафилококковый бактериофаг для лечения инфекций кожи [5].

Бактериофаги - живые агенты, вирусы бактерий, широко распространенные в природе. В медицине используют способность бактериофагов разрушать клетки болезнетворных микроорганизмов. Литическое действие бактериофагов строго специфично. В производстве фаговых препаратов учитывают эту специфичность бактериофагов и готовят специфические бактериофаги или же поливалентные фаговые препараты - смеси бактериофагов, активных в отношении различных типов возбудителей. При применении бактериофаги не нарушают нормального биоценоза человека, могут применяться в комплексной терапии с другими лекарственными средствами.[1,2,3]

Обычно фаг состоит из головки, в которой находится одна молекула двухцепочной ДНК, хвоста и хвостовых фибрилл, образованных белковыми молекулами. Хвост и хвостовые фибриллы служат для прикрепления бактериофага к поверхности бактерии и для впрыскивания его ДНК внутрь этой бактерии. ДНК фага реплицируется и кодирует синтез белков своей оболочки, в результате чего фаг размножается в бактериальной клетке, которая в конце концов лизируется,

фаги высвобождаются и инфицируют другие клетки. Каждый фаг действует избирательно лишь против отдельных видов бактерий [3].

По характеру взаимодействия фага с клеткой все бактериофаги делятся на вирулентные (литические), вызывающие продуктивную инфекцию и лизис бактериальной клетки и на умеренные, вызывающие латентную инфекцию и ассоциацию генома вируса с бактериальной хромосомой. Умеренные фаги, в отличие от вирулентности, не вызывают гибели бактериальных клеток и при взаимодействии с ней переходят в неинфекционную форму фага, называемую профагом. Профаг - геном фага, ассоциированный с бактериальной хромосомой. Профаг, ставший частью хромосомы клетки, при ее размножении реплицируется синхронно с геномом бактерии, не вызывая ее лизиса, и передается по наследству от клетки к клетке в неограниченном числе поколений. Бактериальные клетки, содержащие в своей хромосоме профаг, называются лизогенными. Профаг в лизогенных бактериях самопроизвольно или под влиянием различных индуцированных агентов может переходить в вегетативный фаг. В результате такого превращения бактериальная клетка лизируется и продуцирует новые фаговые частицы. В ходе лизогенизации бактериальные клетки могут дополнительно приобретать новые признаки, детерминированные геномом вируса. Такое явление — изменение свойств микроорганизмов под влиянием профага - называется фаговой, или лизогенной, конверсией (проявление вирус-индуцированной трансформации) [3].

Умеренные фаги, неспособные ни при каких условиях переходить из профага в вегетативный фаг (образовывать зрелые фаговые частицы), называются дефектными, чаще это происходит в результате нарушения стадии сборки вирусных частиц. Некоторые умеренные фаги называются трансдуцирующими, поскольку с их помощью осуществляется один из механизмов генетической рекомбинации у бактерий - трансдукции. Такие фаги могут использоваться, в частности, в генной инженерии в качестве векторов для получения рекомбинантных ДНК и/или приготовления рекомбинантных (генно-инженерных) вакцин [Шлегель Г.1987. Чушков .В.2011г.].

Фаготерапия ([бактерио]фаг (Бактериофаг) + греч. thegapeia лечение) метод лечения больных бактериальными инфекционными болезнями или бактерионосителей, основанный на введении в организм бактериофага. За последние 5 лет отмечено существенное увеличение количества научных статей по применению фаготерапии. Классические и новейшие клинические исследования, а также многочисленные эксперименты на животных, показали, что фаготерапия является эффективной и безопасной альтернативой использования антибиотиков при лечении бактериальных инфекций [6,7].

Следует подчеркнуть наличие ряда преимуществ применения бактериофагов (БФ) перед применением антибиотиков, которые позволяют отнести фаготерапию, к перспективным направлениям для практического здравоохранения:

БФ при лечении инфекций, высоко специфичны и не подавляют нормальную микрофлору, не нарушают естественный баланс внутренней среды организма, т. е. фаготерапия является этиотропным специфическим видом лечения;

БФ не имеют противопоказаний к применению: их можно назначать беременным, кормящим матерям и детям любого возраста, включая недоношенных;

БФ не вызывают резистентности микроорганизмов;

БФ оказывают стимулирующее влияние на функционирование гуморального и клеточного звеньев иммунитета;

БФ не обладают токсическим, алергизирующим и тератогенным эффектами;

БФ эффективны как в монотерапии, так и в комбинации с другими препаратами, в т. ч. с антибиотиками и пробиотиками [6].

Первые сообщения о результатах использования в лечение и профилактике бактериофагов при дизентерии и гнойно-септических инфекциях появились в нашей стране в начале 30-х годов 20 века. Было установлено, что лечение дизентерии фагами нужно начинать как можно раньше, до развития интоксикации. Показана безвредность препарата и его высокая эффективность при правильном применении.

В НИИ урологии МЗМП РФ совместно с НИИ стандартизации и контроля медицинских и биологических препаратов им. Л.А. Тарасовича и НПО "Иммунопрепарат" в течение 1993-1994 гг. проведено изучение клинической эффективности использования препаратов бактериофагов в лечении больных с воспалительными урологическими заболеваниями.

Хорошие результаты лечения бактериофагом при гнойно-септических процессах у урологических больных были так же получены и другими исследователями [9]. При использовании бактериофагов у онкологических больных с послеоперационными гнойно-

воспалительными осложнениями так же был отмечен положительный результат в 81,5% случаев, в то время как при назначении антибиотиков — в 60,6%. Заживление ран происходило без образования деформирующих рубцов и на 6 суток быстрее, чем без бактериофагов [Кочеткова В. А., 1989].

Хороший эффект достигался и у ожоговых больных при пероральном таблетированным лечением пиобактериофагом. В целом положительная клиническая динамика отмечена у 92,6% больных, у пациентов контрольной группы за те же сроки позитивная динамика наблюдалась в 42,5% случаев. При этом сокращалось количество больных, из крови которых высевали микроорганизмы, улучшились показатели клеточного и гуморального иммунитета. Летальность среди больных, получавших фаги, была в 5 раз меньше [8]. Использование в виде аппликаций на раны бактериофага из ацинетобактера позволило снизить уровень заболеваемости гнойно-септическими инфекциями, вызванными ацинетобактером в ожоговом стационаре в 2,2 раза. Отмечены хорошие результаты лечения бактериофагами офтальмологических заболеваний [Фаттахов Б.Т. 1999г.].

Профилактическое применение пиобактериофага позволило снизить частоту бактериальных осложнений у больных с травмой глаза в среднем в 6-7 раз. Экспериментальные исследования на кроликах показали, что его назначение в виде инстилляций и подконъюнктивальных инъекций не оказывает раздражающего и повреждающего влияния на ткани глаза, но ускоряет процесс заживления раны, уменьшает частоту развития гнойного иридоциклита [Азнабаев М. Т., Серезин И. Н., Фаттахов Б. Т. 1999].

При лечении хронического генерализованного пародонтита пиобактериофагом и интерфероном так же отмечено полное исчезновение или резкое снижение клинических признаков воспаления, удлинение сроков ремиссии и коррекция местных механизмов защиты слизистой ротовой полости [Булгакова А. И. 1999].

Во второй половине 90-х годов в Тбилиском НИИ вакцин и сывороток был создан комплексный биологический препарат «Интерфаг», содержащий интерферон и бактериофаги. Его успешно применяли в стоматологической практике для лечения пародонтита [4]. Положительный эффект его назначения составил 85%, а ремиссия продолжалась до 1 года. Отмечено, что лечение больных пародонтитом биологическими средствами приводит к значительно более высоким результатам, нежели лечение антибиотиками.

В Польше наиболее полные публикации, описывающие фаговую терапию [Slopek S. 1987], представлены Институтом иммунологии и экспериментальной медицины Академии наук Польши. Опубликованы позитивные результаты лечения 550 больных с септицемиями, абсцессами, длительно персистирующими гнойными свищами, гнойными инфекциями дыхательных путей, бронхопневмониями, перитонитами и фурункулезом.

В других публикациях из Польши сообщалось об эффективности фагов при лечении церебральных менингитов у новорожденных [Stroj L. и др 1999], а так же кожных инфекций, вызванных *Pseudomonas*, *Staphylococcus*, *Klebsiella*, *Proteus* и *E.coli* [Cislo St. 1987], поддиафрагмальных и подпеченочных абсцессов [Kwarcinski W., 1994].

При изучении стоматологического статуса 38 ВИЧ-носителей установлено, что 61% из них страдает различными воспалительными заболеваниями пародонта, что является следствием иммунодефицитного состояния, способствующего массивной колонизации десневой борозды различными микроорганизмами, большинство их которых является парадонтопатогенными и проявляют при этом значительную устойчивость к антибиотикам. Местное лечение фаговым препаратом на гелевой основе позволило в короткий срок улучшить субъективные и объективные характеристики пародонта: повысить уровень гигиены, снизить индекс РМА и кровоточивости, а также освободить от бактериальной обсемененности десневые борозды у 80% больных, в том числе на 50% уменьшить выделение грибов рода *Candida*. Результаты, полученные при лечении фурункулеза и синдрома диабетической стопы при отсутствии положительной динамики от традиционно используемых местных препаратов (диоксин, левомеколь, ируксол и др.), также позволяют предположить возможность расширения спектра применения препаратов с бактериофагами. Кроме того, фаготерапия совместима с антибиотикотерапией и другими видами лечения бактериальных инфекций, что является немаловажным при остром течении заболевания.

Таким образом, как показал анализ изученной нами научной литературы, фаготерапия может быть очень эффективной, и имеет некоторые уникальные преимущества перед назначением антибиотиков. Она может быть противовесом росту частоты антибиотико-резистентных бактерий и дефициту создания новых классов антибиотиков.

#### Список литературы:

1. Алсынбаев М. М., Медведев К. А., Туйгунов М. М. Биопрепараты и ведущие направления их лечебно-профилактического применения: монография / - Уфа: РИО филиала «Иммунопрепарат» ФГУП НПО Микроген. МЗРФ. 2008. - 100
2. Бондаренко В.М. Клинический эффект и пути рационального использования лечебных бактериофагов в медицинской практике. Фарматека №1-2011г.-29-34;
3. Быков А.С., Быков С.А. Бактериофаги и их клиническое значение. Фарматека, № 5-2011г.- С.67-72.
4. Георгадзе И. И., Ивериели М. В., Топурия Н. В. Интерфаги при заболеваниях вирусно-бактериальной этиологии в стоматологической практике. Мед. нов. Грузии 1997; 10: 16-19].
5. Крестовникова В. А. Фаготерапия и фагопрофилактика и их обоснование в работах советских исследователей. Журн микробиол 1947; 11:56-65.;
6. Катер Э. Бактериофаги. Биология и практическое применение / под ред. Э.Каттер, А.Сулакулидзе // М: «Научный мир». – 2012. – 640 с.
7. Коротяев А.И., Бабичев С.А. Медицинская микробиология, иммунология и вирусология. СПб, СпецЛит, 2008 – 4е изд.-767с.
8. Лазарева Е.Б. Бактериофаги и пектины в коррекции нарушений микробиоценозов при гнойно-воспалительных процессах.: Автореф. дисс. докт. мед. наук.//М.-2007.–18с.
9. Перепанова Т.С., Дарбеева О.С., Майская Л.М. и др. Эффективность препаратов бактериофагов при лечении воспалительных урологических заболеваний// Урология и нефрология.1995.-№ 5-С.14-17.
10. Klein GO. [Bacteriophage therapy can be the rescue when antibiotics no longer work]. Lakartidningen.// 2009 Sep 30-Oct 6. Review. Swedish.
11. Kaur T, Nafissi N., Wasfi O., Sheldon K., Wettig S and al. Immunocompatibility of Bacteriophages as Nanomedicines Review Article Hindawi. Publishing Corporation. Journal of Nanotechnology. 2012; 2: 13. .
12. Debarbieux L [Experimental phage therapy in the beginning of the 21st century]. Med Mal Infect. 2008 Aug;38(8):421-5. Epub 8 Aug 9. Review. French.
13. Ever I . New perspectives of the phage therapy // Klin. Microbiol. Infekc. Lek. – 2007. - № 13(6). – P. 231-235.

**Особенности гормонального статуса в патогенезе воспаления жировой ткани при  
метаболическом синдроме**

**Осиков И.А., Беспалова И.Д., Мурашев Б.Ю., Рязанцева Н.В., Новицкий В.В.**

*Сибирский государственный медицинский университет, Россия, г. Томск*

[innadave@mail2000.ru](mailto:innadave@mail2000.ru)

Результаты исследований последних лет свидетельствуют о роли хронического воспаления в развитии ведущих заболеваний современности: атеросклероза, сахарного диабета, злокачественных новообразований. Полагают, что именно оно лежит в основе известного из эпидемиологических исследований достоверного учащения сочетания сахарного диабета и артрозов, увеличения частоты атеросклероза, повышенного риска инфаркта миокарда [19]. По мнению ряда авторов, сдвиг секреции адипокинов и их метаболизма при абдоминальном ожирении приводит к хроническому воспалению жировой ткани. Важнейшим патогенетическим механизмом в реализации компонентов метаболического синдрома (МС), по имеющимся отдельным данным, является активация факторов воспаления [18, 20]. Хроническое «тлеющее» воспаление жировой ткани, которое характерно для людей, страдающих ожирением, является главным этапом в развитии инсулинорезистентности и сахарного диабета типа 2 (СД 2 типа) [5, 16].

Жировая ткань (ЖТ) представляет собой многофункциональный орган, отвечающий не только за депонирование жира, но и за выработку многочисленных биологически активных молекул, таких как адипокины: адипонектин, лептин, резистин и висфатин [11]. Продукт гена ADIPOQ (адипонектин) – гормон, который синтезируется и секретируется ЖТ (преимущественно адипоцитами висцеральной области). При ожирении отмечается снижение активности и количества адипонектина в крови. Показано, что адипонектин тормозит дифференцировку преадипоцитов, что подтверждает его возможное влияние на регуляцию жировой ткани. Уровень адипонектина в плазме крови обратно пропорционален массе ЖТ и показателю ОТ/ОБ (объем талии к объему бедер). Адипонектин регулирует энергетический гомеостаз и оказывает противовоспалительный и антиатерогенный эффекты [3]. Уровень адипонектина снижается при ожирении и предполагают, что развитие СД 2 типа может быть связано с нарушением регуляции

секреции адипонектина. Провоспалительный эффект адипонектина заключается в снижении образования TNF- $\alpha$  в крови, в стенке сосудов, печени, сердце, и противодействует его воспалительным эффектам. Группой учёных из США под руководством Yukihiko Takemura [12] удалось исследовать молекулярные механизмы действия адипонектина на иммунокомпетентные клетки при воспалении. Адипонектин стимулирует эффективное очищение очага воспаления от погибших клеток благодаря воздействию на поверхностные белки макрофагов. Среди этих белков ведущую роль играет кальретикулин. Благодаря такому воздействию макрофаги усиливают свою функцию и начинают активно фагоцитировать всегда появляющиеся при воспалении погибшие клетки и их части в ЖТ. Очаг воспаления быстро очищается и воспалительный процесс не переходит в хроническую форму [8].

В настоящее время активно изучается с позиций различных состояний, ассоциированных с инсулинорезистентностью, такой гормон жировой ткани, как лептин. Он представляет собой специфический адипоцитокин, который синтезируется только в адипоцитах. Открытие лептина существенно изменило взгляд на роль ЖТ в патогенезе ряда заболеваний, включая МС [1, 9]. Ведущими биологическими функциями лептина являются: регуляция гомеостаза жирных кислот, энергетического гомеостаза, контроль действия инсулина на глюконеогенез, транспорт глюкозы. Установлено, что при МС развивается относительная лептинорезистентность с компенсаторным повышением содержания лептина в крови – гиперлептинемией [14]. Состояние инсулинорезистентности способствует снижению концентрации лептиновых рецепторов и повышению лептина в крови. В таких условиях развивается трансформация эффектов лептина: он приобретает свойства активировать воспаление, стимулировать кальцификацию сосудов, инициировать оксидативный стресс, повышать тонус симпатической нервной системы, изменять цитокиновую регуляцию, что играет важную роль в патогенезе воспалительных поражений [16]. Высокий уровень лептина в плазме крови нередко сопровождается эндотелиальной дисфункцией, оксидативным стрессом, провоспалительной и противовоспалительной цитокинемией. Лептин структурно гомологичен с TNF- $\alpha$ , IL-6 и др. семействами цитокинов и вследствие этого считается цитокиноподобной субстанцией [6]. Воспаление и тромбоз играют важную роль в патогенезе сердечно-сосудистых заболеваний. Одним из механизмов, связывающих воспаление и тромбообразование, является активация сигнальной системы CD40/CD40L, CD40 и CD40 лиганд-трансмембранные гликопротеиды, относящиеся к семейству рецепторов TNF и семейству TNF соответственно. CD40 и CD40L экспрессируются различными клетками атеросклеротической бляшки: В-лимфоцитами, макрофагами/моноцитами, эндотелиальными и гладкомышечными клетками [2, 15].

Участие резистина в стимуляции механизмов воспаления, активации эндотелия и пролиферации клеток гладкой мускулатуры сосудов дает возможность рассматривать его как маркер или даже этиологический фактор развития заболеваний. Он влияет на жировой обмен по принципу обратной связи: с одной стороны, его концентрация повышается при дифференцировании адипоцитов, с другой – резистин подавляет адипогенез. Резистин как причина инсулинорезистентности может быть связующим звеном между ожирением и развитием сахарного диабета и гипертонической болезни [7, 10]. На современном этапе биологические и патофизиологические эффекты резистина в организме человека до конца не выяснены, и данная проблематика остается темой для дискуссий.

В последнее время идентифицирован еще один гормон жировой ткани – висфатин, ген которого экспрессируется в висцеральном жире и способствует его дальнейшему накоплению. Не исключено, что висфатин оказывает свое биологическое действие не только через специфические рецепторы, но и через инсулиновые рецепторы. мРНК висфатина определяется в моноядерных клетках крови у больных СД 2-го типа, и ее количество в несколько раз выше у больных СД 2-го типа по сравнению с пациентами с диабетом, имеющими дефицит веса, или практически здоровыми лицами. Уровень висфатина в циркулирующих клетках крови напрямую коррелирует с индексом массы тела, окружностью талии и индексом инсулиновой резистентности. Считается, что висфатин участвует в патогенезе сосудистых осложнений диабета и атерогенезе [4] Также висфатин обладает функциями иммунной системы и является фактором роста для ранних В-клеток. Секреция висфатина осуществляется макрофагами ЖТ, продуцирующими медиаторы воспаления. Отмечено дозозависимое влияние висфатина на продукцию про- и противовоспалительных цитокинов (IL-6, IL-10, TNF- $\alpha$ ). Это обстоятельство, а также положительная корреляция с С-реактивным белком позволяет связать его функцию с системным воспалением как элементом патогенеза МС [13, 17].

Таким образом, изучение особенностей гормонального статуса является актуальным

направлением при изучении патогенеза воспаления жировой ткани, ассоциированным с метаболическим синдромом. Адекватная коррекция секреции гормонов жировой ткани, участвующих в повышении степени выраженности инсулиновой резистентности, или восстановление до нормальных значений содержания адипонектина в сыворотке крови будут способствовать лучшей компенсации углеводного обмена при сахарном диабете и профилактике развития сосудистых осложнений.

Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы (номер государственного соглашения: 8601) и Российского фонда фундаментальных исследований (договор № 13-04-01225 А).

#### Список литературы:

1. Beitowski J. Leptin and atherosclerosis // *Atherosclerosis*. – 2006. – № 189. – P. 47-60.
2. Cildir G., Akincilar S.C., Tergaonkar V. Chronic adipose tissue inflammation: all immune cells on the stage // *Trends in Molecular Medicine*. – 2013. – Vol. 19. - № 8. P. 487-500.
3. Fernandes-Real J.M., Ricard W. Insulin resistance and chronic cardiovascular inflammatory syndrome // *Endocrine Rev.* – 2003 – Vol. 4. - № 3. – P. 278-301.
4. Kadoglou N.P., Sailer N., Moutzougou A., Kapelouzou A., Tsanikidis H. et al. Visfatin (nampt) and ghrelin as novel markers of carotid atherosclerosis in patients with type 2 diabetes // *Exp Clin Endocrinol Diabetes*. – 2010 – Vol. 118. – P. 75-80.
5. Kalupahana N.S., Claycombe K.J., Moustaid-Moussa N. (n-3) Fatty Acids Alleviate Adipose Tissue Inflammation and Insulin Resistance: Mechanistic Insights // *Advances in Nutrition*. – 2011. – Vol. 2. – P. 304-316.
6. Ozelik F., Yuksel C., Arslan E., Genc S., Omer B., Serdar M.A. Relationship between visceral adipose tissue and adiponectin, inflammatory markers and thyroid hormones in obese males with hepatosteatosis and insulin resistance // *Arch. Med. Res.* – 2013. – Vol. 44. - № 4. – P. 273-280.
7. Pang S.S., Le Y.Y., Role of resistin in inflammation and inflammation-related diseases // *Cell. Mol. Immunol.* – 2006. – Vol. 3(1). – P. 29-34.
8. Phillips A.C., Carroll D., Gale C.R., Drayson M., Thomas G.N., Batty G.D. Lymphocyte subpopulation cell counts are associated with the metabolic syndrome and its components in the Vietnam Experience Study // *Atherosclerosis*. – 2010. – Vol. 213. – P. 294 – 298.
9. Potenza M.V., Mechanick J.I. The metabolic syndrome: definition, global impact, and pathophysiology // *Nutr. Clin. Pract.* – 2009. – Vol. 24. - № 5. – P. 560-577.
10. Qatanani M., Szwegold N.R., Greaves D.R., Ahima R.S., Lazar M.A. Macrophage-derived human resistin exacerbates adipose tissue inflammation and insulin resistance in mice // *J. Clin. Invest.* – 2009. – Vol. 119 - № 3. – P. 531-539.
11. Ronti T., Lupattelli G., Mannarino E. The Endocrine Function of Adipose Tissue: An Update // *Clinical Endocrinology*. – 2006. – Vol. 64(4). – P. 355-365.
12. Takemura Y., Ouchi N., Shibata et al. Adiponectin modulates inflammatory reactions via calcitriol receptor-dependent clearance of early apoptotic bodies // *J. Clin. Invest.* – 2007 – Vol. 117(2). – P. 375-386.
13. Tanigawa T., Iso H., Yamagishi K., Muraki I., Kawamura N., Nakata A., Sakurai S., Ohira T., Shimamoto T. Association of lymphocyte subpopulations with clustered features of metabolic syndrome in middle-aged Japanese men // *Atherosclerosis*. – 2004 - № 173. – P. 295–300.
14. Yadav A., Kataria M.A., Saini V. Yadav A. Role of leptin and adiponectin in insulin resistance // *Clin. Chim. Acta*. – 2013. – Vol. 417. – P. 80-84.
15. Братусь В.В., Талаева Т.В. Воспаление как патогенетическая основа атеросклероза // *Укр. кардиол. журн.* – 2007. - № 1. – С. 90-96.
16. Клебанова Е.М., Балаболкина М.И. Гормоны жировой ткани и их роль в патогенезе сахарного диабета 2 типа // *Лечащий врач*. – 2010. – № 11. – С. 12-16.
17. Кузьмина-Крутецкая С.Р., Репина М.А. Метаболический синдром у женщин (методические рекомендации). – СПб.: Н-Л, 2011. – 76 с.
18. Литвинова Л.С., Кириенкова Е.В., Аксенова Н.Н., Газатова Н.Д., Затолокин П.А. Особенности клеточного иммунитета и цитокинового репертуара у пациентов с метаболическим синдромом // *Бюллетень сибирской медицины*. – 2012. - № 3. – С. 53-58.
19. Маслова О.В., Суянцов Ю.И. Эпидемиология сахарного диабета и микрососудистых осложнений // *Сахарный диабет*. – 2011. – № 3. – С. 6-11.
20. Солнцева А.В. Эндокринные эффекты жировой ткани // *Медицинские новости*. – 2009. - №3. – С.7-12.



**Оценка факторов риска развития железодефицитной анемии у детей в амбулаторно-поликлинической практике***Пономарева Д.А., Ильиных А.А., Нагаева Т. А.**ГБОУ ВПО Сибирский государственный медицинский университет Минздрава России, г. Томск  
d-pon@mail.ru*

В настоящее время железодефицитная анемия (ЖДА) у детей является актуальной проблемой педиатрии. По данным Всемирной организации здравоохранения распространенность ЖДА в России у детей дошкольного возраста составляет 20%, а латентного дефицита железа до 50% [2]. ЖДА оказывает негативное влияние на физическое и нервно-психическое развитие детей, способствует отягощению течения многих заболеваний, угнетению иммунного статуса [1,3]. По данным ряда авторов проживание в экологически неблагоприятных регионах, неадекватное питание беременных и кормящих женщин, нерациональное вскармливание грудных детей оказывают влияние на развитие анемии у детей раннего возраста [1, 4-6]. Вместе с тем, в практическом здравоохранении недостаточно внимания уделяется выявлению факторов риска формирования фоновой патологии и своевременной профилактике заболеваний данной группы.

Целью исследования явилось изучение факторов риска развития железодефицитной анемии у детей раннего возраста для прогнозирования анемического синдрома.

Материалы и методы. Объектом исследования явились 130 детей, прикрепленных для педиатрического наблюдения к поликлиническому отделению №2 детской больницы №1 города Томска. Основную группу составили 100 детей II группы здоровья в возрасте 3-12 месяцев с железодефицитной анемией, подтвержденной клинико-лабораторными методами. В контрольную группу вошли 30 детей без анемии, сопоставимых по полу, возрасту, группе здоровья с пациентами основной группы. Проведено клинико-anamnestическое обследование детей с детализированным изучением перинатальных факторов риска возникновения дефицита железа и факторов внешней среды (качество жизни, характер вскармливания, перенесенные заболевания). Лабораторное исследование включало определение показателей красной крови (гемоглобин, эритроциты, эритроцитарные индексы) стандартными гематологическими методами. Статистическая обработка результатов исследования проведена с использованием интегрированного пакета программ STATISTICA 6.0. Определялись средняя арифметическая ( $\bar{X}$ ) и ошибка средней арифметической ( $m$ ). Уровень статистической значимости различий сравниваемых показателей устанавливали с использованием непараметрического критерия Манн-Уитни, качественные признаки оценивали с помощью критерия  $\chi^2$ . Различия между средними величинами в сравниваемых группах считались достоверными при  $p < 0,05$ .

В результате проведенного исследования выявлено, что средний возраст детей основной группы, в котором впервые диагностировалась анемия, составил  $8,26 \pm 0,33$  месяца. Наличие факторов, определяющих риск возникновения ЖДА, имело место у всех детей данной группы. Анализ перинатальных факторов риска развития дефицита железа показал, что во время беременности у матерей 35 (35%) детей данной группы диагностировалась анемия 1-2 степени и у 27 (27%) матерей – гестоз второй половины беременности; данные состояния встречались достоверно чаще ( $p < 0,001$ ) по сравнению с аналогичными показателями детей контрольной группы. От многоплодной беременности рождено 2 (2%) ребенка, путем кесарева сечения – 24 (24%) ребенка ( $p < 0,001$ ), недоношенными – 9 (9%) детей, с задержкой внутриутробного развития (ЗВУР) 1-3 степени – 15 (15%) детей ( $p < 0,001$ ). В группу риска по развитию анемии вошли 84 (84%) ( $p < 0,001$ ) ребенка с перинатальной энцефалопатией, 10 (10%) детей с перенесенными заболеваниями органов желудочно-кишечного тракта (синдром мальадсорбции, дисбактериоз, кишечные инфекции) ( $p < 0,05$ ). Аллергические заболевания отмечались у 41 (41%) ребенка основной группы, частые острые респираторные инфекции у 67 (67%) детей, что встречалось достоверно чаще по сравнению с аналогичными показателями детей контрольной группы ( $p < 0,001$ ). Ранний перевод на искусственное вскармливание наблюдался у 16% детей, на смешанное вскармливание – у 12% детей первой группы. В контрольной группе преимущественно у всех детей отмечалось длительное грудное вскармливание, на смешанном вскармливании находилось 10% детей. Одновременное сочетание нескольких факторов, таких как раннее искусственное вскармливание, нерациональное питание, позднее введение продуктов и блюд прикорма, частые острые респираторные заболевания, дисбактериоз кишечника имело место у 67% детей основной группы, что увеличило риск развития ЖДА и способствовало реализации антенатальных факторов риска.

В результате лабораторного исследования выявлено, что уровень гемоглобина у детей основной группы составил  $103,87 \pm 0,64$  г/л, причем анемия легкой степени со снижением цифр гемоглобина (Hb) до 90-110 г/л и эритроцитов (Эр) до  $3,5 \times 10^{12}/л$  в общем анализе крови регистрировалась у 96% (96%) детей, анемия средней степени (Hb – менее 90г/л, Эр – до  $3,0 \times 10^{12}/л$ ) – у 4 (4%) детей. Показано, что анемия у данной группы детей носила микроцитарно-гипохромный характер (MCV менее 75 фл, MCH менее 27 пг, MCHC менее 32 г%).

Анализ медицинской документации (ф112/у) показал, что назначение железосодержащих препаратов в профилактических дозах детям из группы риска по развитию анемии отмечалось только у 23 (23%) детей, а своевременное лечение диагностированной ЖДА проводилось 38 (38%) детям. Проведенная своевременная ферропрофилактика у детей, имеющих антенатальные факторы риска развития железодефицита, позволила предотвратить развитие ЖДА у детей контрольной группы.

Таким образом, у всех обследованных детей с ЖДА в антенатальном и постнатальном периоде выявлялись факторы риска развития анемии, реализация которых имела место в раннем возрасте. Адекватное прогнозирование возникновения ЖДА и проведение специфической профилактики имело место только у 23 % детей. Полученные данные позволяют обосновать необходимость проведения углубленного анамнестического исследования для выявления факторов риска ЖДА и назначения превентивных мероприятий детям данной категории.

#### Список литературы:

1. Богданова Н.М., Булатова Е.М., Габрусская Т.В. Дефицит железа и его отрицательное влияние на развитие детей раннего возраста. Диетологические возможности постнатальной коррекции дефицита железа // Лечащий врач. – 2011. – №8. – С. 38-44.
2. Захарова И.Н., Горяйнова А.Н., Мачнева Е.Б. Дефицит железа у детей раннего возраста и способы его коррекции // Вопросы современной педиатрии. – 2013. – №2. – С. 52-58.
3. Казюкова Т.В., Тулупова Е.В., Алиева А.М. Отдаленные последствия дефицита железа у детей раннего возраста // Вопросы детской диетологии. – 2012. – №3. – С. 39-46.
4. Ладодо К.С., Нетребенко О.К., Старовойтов М.Л. Распространенность железодефицитных состояний у детей первых двух лет жизни // Педиатрия. – 1996. – №4. – С. 14-19.
5. Нагаева Т.А., Огородова Л.М., Кравец Е.Б. Основы превентивной педиатрии. – Томск: Изд-во «Печатная мануфактура», 2007. – 272 с.
6. Щеплягина Л.А., Нестеренко О.С., Курмачева Н.А. Значение микронутриентов в улучшении состояния здоровья критических групп населения // Информационный бюллетень «Здоровье населения и среда обитания». М., 2001. - №2. - С. 7-9.

#### Виды недостаточности внешнего дыхания у ликвидаторов последствий аварии на черновыльской АЭС

*Поровский Я.В., Бодрова Т.Н., Кузнецова О.В., Тетенев Ф.Ф.*

*ГБОУ ВПО СибГМУ Минздрава России, г. Томск*

[porovs@sibmail.com](mailto:porovs@sibmail.com)

Виды хронической недостаточности внешнего дыхания (НВД) подразделяют в зависимости от поражения ведущего функционального звена аппарата внешнего дыхания (АВД) на вентиляционный, диффузионный, нарушение легочного кровотока или гемодинамический вид, регуляторный, а также аэрогенный вид, обусловленный, изменение газового состава вдыхаемого воздуха [5]. Для диагностики видов НВД используют клинические методы обследования (опрос, осмотр, физические методы исследования), а также параклинические методы исследования (вентиляционных показателей, диффузионной способности легких, соотношения «вентиляция – кровотоки», газового состава артериальной крови).

Ликвидаторы последствий аварии (ЛПА) на Чернобыльской АЭС подверглись внешнему  $\gamma$ -облучению в малых дозах и облучению при ингаляционном поступлении радионуклидов в составе «черновыльской пыли» [6]. Это обосновывает углубленное исследование системы дыхания как для оценки собственно вклада облучения в часто регистрируемую среди ЛПА патологию легких, так и определения нарушения функционального звена АВД.

Материалы и методы. Обследовано 49 ЛПА на Чернобыльской АЭС через 14-16 лет после участия в восстановительных работах в 30 км зоне АЭС. У 18 диагностирована хроническая обструктивная болезнь легких (ХОБЛ), у 19 – хронический бронхит (ХБ) и 12 относились к «безусловным курильщикам» табака. Группу сравнения составили пациенты, не подвергавшихся

облучению сверх естественного радиационного фона, с таким же процентом соотношения нозологических форм заболеваний бронхолегочной системы, контрольную группу - здоровые лица, не подвергавшиеся облучению, сопоставимые с ЛПА на Чернобыльской АЭС и пациентами группы сравнения по полу и возрасту.

Количественная оценка одышки у больных проводилась во время повседневной активности по шкале MRC. По показаниям проводились рентгенологическое исследование легких и ФБС.

Показатели вентиляции легких (МОД, ОЕЛ, ЖЕЛ, ФОЕ, ООЛ, ОФВ1, ПОС, МОС25, МОС50, МОС75), бронхиальное сопротивление (Raw tot) и диффузионную способность легких (TLCO), дополнительные показатели (TLCO/VA, Va/TLC, TLCOSB) определяли с использованием универсальной камеры «Masterlab Pro» (Erich Jaeger, Германия).

Показатели биомеханики дыхания (ОРД, УРД, ЭРД, ОНРД вд, ОНРД выд, Cdyn, Cst, ЭТЛ, ОНС, АС, ТТ) записывали путем одновременной регистрации спирограммы, пневмотахограммы и транспульмонального давления с помощью методики зондирования пищевода на пневмотахографе («Медфизприбор», г. Казань).

12 ЛПА на Чернобыльской АЭС с подозрением на новообразование в легких проведены компьютерная томография легких по методике высокого разрешения (КТВР) и перфузионная скинтиграфия легких (ПС). КТВР проводилась на односрезовом спиральном компьютерном томографе «Toshiba Xrgress GX» (Япония) по стандартной программе с денситометрической оценкой плотности легочной ткани. ПС легких проводилась на гамма-камере «Searle Scintiscan» (США) с  $^{99m}\text{Tc}$  – микросферами альбумина, с определением апикально-базального градиента перфузии Upper/Low (U/L).

Газовый состав крови ( $p\text{O}_2$ ,  $p\text{CO}_2$ ,  $\text{SaO}_2$ ) определяли с помощью пакета программ «Stat Profile» на приборе «Nova Biomedical» (США).

Систему центральной регуляции дыхания, ведущие составляющие функционирования нервной системы обеспечивающие пути регуляции паттерна дыхания исследовали с помощью МРТ головного мозга и электронейромиографическим методом (ЭНМГ).

При ЭНМГ определяли величину порога возбудимости, амплитуду М-ответа и скорость проведения импульса (СПИ) по двигательным волокнам предплечья (n.medianus) и на уровне голени (n.peroneus).

Состояние терминальных нервных проводников исследовали у 9 ЛПА на Чернобыльской АЭС в образцах кожно-мышечного лоскута из области задней поверхности внешне неизменной кожи голени импрегнированных 20%-м раствором азотнокислого серебра по Бильшовскому–Грос.

Результаты. Особенностью клинических проявлений заболеваний органов дыхания у ЛПА на Чернобыльской АЭС было преобладание одышки ( $(2,37 \pm 0,09)$  балла против  $(1,82 \pm 0,08)$  балла в группе сравнения), рентгенологически – большая распространенность пневмофиброза в сочетании с эмфиземой легких – у 26 (53%) против 19 (33%) ( $\chi^2 = 5,08$ ;  $p = 0,0242$ ) в группе сравнения.

Исследование вентиляционной функции легких (ВФЛ) в группе ЛПА на Чернобыльской АЭС выявило только статистически значимое увеличение МОД.

Исследование работы дыхания и ее фракций показало увеличение общей работы дыхания (ОРД) в группе ЛПА на Чернобыльской АЭС относительно группы сравнения ( $(0,64 \pm 0,08)$  кг м/мин против  $(0,41 \pm 0,06)$  кг м/мин.;  $p < 0,05$ ) за счет увеличения минутного объема дыхания (МОД) ( $(12,8 \pm 0,9)$  л/мин против  $(9,4 \pm 0,3)$  л/мин;  $p < 0,05$ ). Эластическая работа дыхания (ЭРД) в группе ЛПА на Чернобыльской АЭС была повышена за счет снижения статической растяжимости (Cst) преимущественно в подгруппе ликвидаторов, страдающих ХБ ( $(2,05 \pm 0,14)$  л кПа-1 против  $(2,63 \pm 0,13)$  л кПа-1;  $p < 0,05$ ). ОНС в группе ЛПА было повышено за счет тканевого трения на выдохе (ТТ), в том числе и за счет повышения ТТ выд у ликвидаторов – «безусловных курильщиков» ( $(0,21 \pm 0,04)$  кПа л-1 с против  $(0,05 \pm 0,01)$  кПа л-1 с ( $p < 0,001$ )).

По результатам проведенных КТВР и ПС у ЛПА на Чернобыльской АЭС выявлено нарушение перераспределения кровотока в верхние отделы легких: коэффициент перфузии U/L составил в среднем  $1,13 \pm 0,08$  против  $1,31 \pm 0,07$  в группе сравнения ( $p < 0,05$ ), при сопоставимой плотности легочной ткани в верхних, средних и нижних отделах легких. При этом у шести из двенадцати ликвидаторов более низкая плотность легочной ткани в нижних отделах легких по сравнению с верхними характеризовалась преобладанием перфузии нижних отделов, т.е. не сопровождалась соответствующим обеднением сосудистого русла. Периваскулярный фиброз присутствовал у всех 12 исследованных, против 9 (60%) из 15 пациентов группы сравнения ( $\chi^2 = 6,17$ ;  $p = 0,0130$ ).

При анализе диффузионной способности легких выявлено снижение TLCO в группе ЛПА ( $9,25 \pm 0,40$ ) ммоль/мин/кПа) относительно этого показателя у пациентов группы сравнения ( $10,63 \pm 0,64$ ) ммоль/мин/кПа;  $p < 0,05$ ), что указывало на большую выраженность у ликвидаторов изменения альвеолярно-капиллярных мембран.

Снижение парциального давления  $P_{aCO_2}$  артериальной крови отмечалось у большинства – 9 (60%) из 15 ( $\chi^2 = 5,71$ ;  $p = 0,0169$ ) ЛПА на Чернобыльской АЭС, против 5 (22%) из 23 лиц группы сравнения.

Анализ результатов МРТ головного мозга у ЛПА на Чернобыльской АЭС и пациентов группы сравнения показал увеличение у ликвидаторов размеров тела правого бокового желудочка ( $1,28 \pm 0,37$  см, против  $0,63 \pm 0,10$  см  $p < 0,05$ ), признаки ликвородинамических изменений в виде усиления интенсивности сигнала ликвора ( $1374,71 \pm 104,14$  отн. ед. против  $1259,17 \pm 134,75$  отн. ед.,  $p < 0,01$ ), при отсутствии различий в размерах других ликворосодержащих пространств (передних и задних рогов правого бокового желудочка, показателей левого бокового желудочков, правого и левого мостомозжечкового угла, поперечника, длинника третьего желудочка) и подкорковых структур, интенсивности белого вещества.

У ЛПА на Чернобыльской АЭС выявлен смешанный тип (аксональный и демиелинизирующий) поражения нервных волокон: повышение порога возбудимости ( $74,5 \pm 12,6$  мА) по отношению к пациентам группы сравнения ( $44,9 \pm 8,3$  мА,  $p < 0,05$ ), снижение амплитуды М-ответа, соответственно  $75,5 \pm 5,3$  Мкв и  $119,4 \pm 34,8$  Мкв ( $p < 0,05$ ) и снижение СПИ по двигательным волокнам, соответственно  $32,5 \pm 5,6$  м/сек и  $64,8 \pm 10,5$  м/сек ( $p < 0,05$ ).

При морфологическом исследовании терминальных нервных окончаний кожи у ЛПА на Чернобыльской АЭС в отличие от контроля, отмечались усиление тинкториальных свойств проводников, наличие дисхромии, неодинаковой величины и формы утолщения и единичные наплывы нейроплазмы по ходу многих волокон, участки истончения осевых цилиндров и разволокнения нейрофибрилярного аппарата, которые относятся преимущественно к дистрофическим, «явлениям раздражения».

Результаты и обсуждение. Наличие одышки, увеличение МОД, при отсутствии изменений в интегральных показателях ВФЛ, снижение парциального давления  $P_{aCO_2}$  артериальной крови позволило сделать заключение о гипервентиляционном синдроме (ГВС) у ЛПА на Чернобыльской АЭС.

По данным исследования механических свойств легких известно, что повышение ТТ обусловлено следующими факторами: 1) ньютоновским трением; 2) трением между хорошо и плохо вентилируемыми участками легких; 3) трением, обусловленным изменением кровенаполнения легких; 4) дыхательными изменениями распределения сурфактанта на альвеолярной (респираторной) поверхности легких. Роль 4-го фактора – сурфактанта, вероятно была мало значимой, так как его изменения сопровождаются тяжелым состоянием пациентов, существенными изменениями показателей ВФЛ (ЖЕЛ, ОФВ1, ОЕЛ). Повышение ТТ можно объяснить ньютоновским трением или структурной вязкостью вследствие развития фиброзной ткани. У ЛПА отмечалась большая распространенность пневмофиброза в сочетании с эмфиземой легких. Однако пневмофиброз был выражен умеренно (не приводил к явным рестриктивным нарушениям) и определялся не у всех пациентов. При этом ТТ было повышено практически у всех ЛПА. Можно предположить, что дополнительной причиной повышения ТТ могло быть обусловлено изменением кровотока в легких.

Выявленные особенности регионарного изменения коэффициента  $U/L$  у ЛПА предполагают локальное нарушение соотношения легочной вентиляции и кровотока ( $V/Q$ ), за счет периваскулярного фиброза, приводящего к менее эффективному использованию функционально мертвого пространства. Вклад гемодинамического вида в развитие НВД на данном этапе незначителен, так как отсутствовали признаки легочной гипертензии, легочного сердца по данным рентгенологического и ЭКГ исследований. Значение этого вида может быть уточнено в динамике с помощью нелучевых методов исследования (например, ЭхоКГ), исключающих лучевую нагрузку на пациента.

Нарушение диффузионной способности легких зависит от характера заболевания и отражает состояние структур составляющих барьер - альвеолярных мембран (альвеолит), капилляра (васкулит) и степень фиброза периальвеолярного пространства. Значение диффузионного вида нарушения АД за счет легочного фиброза в развитие НВД ограничено, так как отсутствовало снижение ЖЕЛ, ОЕЛ. Другие особенности изменения альвеолярных мембран, состояние собственно мембранного компонента диффузии, может быть установлено с помощью

морфологического исследования легочной ткани – при трансбронхиальной и трансторакальной биопсии, которые в клинике проводятся по строгим показаниям.

Эффекты ионизирующего излучения (ИИ) на ткани организма определяются радиочувствительностью клеток и скоростью клеточного обновления ткани. Результаты экспериментальных исследований свидетельствуют, что радиочувствительность эндотелиоцитов, по критерию хромосомных aberrаций, близка к клеткам крови [2]. Эндотелий является основным структурным компонентом сосудистой стенки, для него характерны изменения после воздействия ИИ чувствительность к повреждающим факторам, длительная внутриклеточная компенсация повреждения, отдаленное проявление повреждения [1].

Ранее проведенные нами исследования сосудов микроциркуляторного русла (МЦР) у ЛПА на Чернобыльской АЭС в морфологических образцах миокарда правого желудочка, кожно-мышечных биоптатах из области плеча и голени выявило их генерализованное вовлечение от васкулопатии до продуктивного васкулита различной степени выраженности [3,4]. Наличие конечно воспалительных изменений сосудов МЦР в морфологических образцах кожно-мышечного лоскута (склероза сосудистой стенки, периваскулярног фиброза, запустения сосудов) свидетельствует, что нарушения трансапиллярного обмена могут быть ведущей причиной изменения миелиновых оболочек нервных волокон, широко приставленных как в периферической так и в центральных отделах нервной системы.

Выводы. У ЛПА на Чернобыльской АЭС с ХОБЛ, ХБ и «безусловных курильщиков» табака по клиническим данным, показателям основных функциональных звеньев АД, исследованию газового состава крови диагностирован ГВС. Результаты МРТ головного мозга, ЭНМГ и морфологического исследования нервных проводников свидетельствуют, что изменения миелиновых волокон могут быть ведущей причиной, приводящей к нарушению афферентных, эфферентных проводящих путей сомато-висцеральной системы, центральных (интегративных) механизмов обработки информации возникновения ГВС, хронической НВД преимущественно регуляторного вида.

#### Список литературы:

1. Воробьев Е.Н. Степанов Р.П. Ионизирующее излучение и кровеносные сосуды – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 296 с.
2. Иванов Ю.В. К вопросу о влиянии ионизирующей радиации на репродуктивную способность эндотелия кровеносных сосудов // Радиобиология. – 1970. – Т. 10, № 1. – С. 124–127.
3. Поровский Я.В., Недосеков В.В., Рыжов А.И., Тетенов Ф.Ф. Результаты патоморфологического исследования кожно-мышечного лоскута у лиц, подвергшихся воздействию малых доз ионизирующего излучения // Бюл. сиб. медицины. – 2010. – № 5. – С. 77–82.
4. Способ диагностики латентной лучевой болезни: пат. 2414707. Рос. Федерация. № 2009146498/15; заявл. 14.12.2009; опубл. 20.03.2011. Бюл. №8. – 2 с.
5. Тетенов Ф.Ф., Бодрова Т.Н., Тетенов К.Ф. и др. Исследование функции аппарата внешнего дыхания. Основы клинической физиологии дыхания: учебное пособие– 2-е изд., доп. и испр. – Томск: Изд-во «Печатная мануфактура», 2008. – 164 с.
6. Чучалин А.Г., Черняев А.Л., Вуазен К. Патология органов дыхания у ликвидаторов аварии на Чернобыльской АЭС – М.: Грантъ, 1998. – 272 с.

#### **Состояние щитовидной железы и коры надпочечников у детей, проживающих на территории, загрязненной радиационно-химическими веществами и микроэлементного состава волос, почв, молока**

*Матковская Т. В., Барановская Н. В., Ямановская Е.А.*

*Сибирский государственный медицинский университет, Томский государственный политехнический университет, Томск*

В апреле 1993 г, после аварии на плутониевом производстве, было выброшено в атмосферу облако радиоактивных и химических веществ (трибутилфосфат, четыреххлористый углерод, плутоний и др). Это облако прошло в северо-восточном направлении и захватило территории пос. Георгиевка, Наумовка, Надежда Томского района. Представленные исследования у детей проведены 1993-2008гг в данной местности.

Материалы исследования. Клинико-лабораторное исследование проведено у детей в зимнее время 1993-2008 гг. Дети были разделены на 2 группы: основная – дети, проживающие в радиационно-химическом следе после аварии в апреле 1993г на промышленно-ядерном комплексе

и контрольная группа дети, проживающие вне следа аварии, в 50 км от места аварии. Обследованы в 1993-1994гг 140 детей основной группы и 71 контрольной группы, в 1994-1995гг - 121 ребенок основной группы и 40 – контрольной, в 1995-1996гг - соответственно 103 детей. 41 ребенок контрольной группы обследованы дети только клинически. Кроме того дети основной группы и контрольной были разделены на постоянно проживающие и приезжие (проживание от 5мес. до 3-х лет).

Методы исследования. Проведено клиническое обследование, УЗИ щитовидной железы. Определение содержания тироксина и трийодтиронина (Т3, Т4), кортизола осуществлялось при помощи радиоиммунного метода с использованием стандартных тест наборов кортизол (-К)-стерон, К125 I-M, тироксин (Т4) – рию Т4 - 3, трийодтиронин (Т3) – рию - Т3 - 3, уровень Na, Ca, Sc, Cr, Fe, Co, Zn, Br, Rb, Ag, Sb, La, Ce, Sm, Yb, Lu, Th, U, Hf, Au, Se, Ba, Sr, Cs, Tb, Ta, Eu, As, Hg исследовали методом инструментальным нейтронно-активационным анализом в волосах детей, молоке (8 проб), почвах (9 проб).

Результаты. В 1993-1994гг отмечалось увеличение щитовидной железы у 44 детей основной группы и высокое содержание Т4, кортизола, в контроле – увеличение щитовидной железы у 6 детей. В 1994-1995 гг найдено динамическое нарастание числа детей с диффузным увеличением щитовидной железы и появление симптомов гипотиреоза в основной группе детей, что свидетельствовало о напряжении в гормонально-регуляторном звене адаптационного процесса на воздействие химических веществ. В 1995-1996гг увеличение щитовидной железы определялось у 96 детей из 103 гипоплазия щитовидной железы у одного ребенка. Увеличение щитовидно железы Iа степени отмечалось у 18(17,5%) детей, Iб степени- у 61(69,2%)детей, 2 степени – у 17(16,5%) детей и снижение функциональных показателей щитовидной железы. В контрольной группе увеличение щитовидной железы имела место у 19 из 41 ребенка, причём Iа степени - у 14 (34,1%) детей, Iб степени- у 5(12,2%).

Таблица №1 Результаты исследования концентрации гормонов (Т3, Т4, кортизола) у школьников основной группы в динамике наблюдения (1993-1996) в зависимости от длительности проживания в данной местности.

Показатели	Местные			Приезжие		
	1993-94гг	1994-95гг	1995-96гг	1993-94гг	1994-95гг	1995-96гг
Т3	2,4±0,1	2,2±0,1	2,17±0,08	2,27±0,23	2,36±0,2	2,17±0,1
Т4	320,9±39,0	107,8±2,5**	85,8±5,6**	137,4±31,7	108,4±3,5*	71,7±4,6**
Кортизол	583,2±31,7	382,8±27,3**	335,1±7,7**	412,4±55,8	411,9±36,5	341,6±15,5**

Как видно из таблицы №1 у местных детей после аварии резко возросло содержание гормонов в щитовидной железе и коре надпочечников с последующим их достоверным снижением. В группе приезжих детей эти изменения были менее выраженными (некоторые из этих детей приехали после аварии).

Таблица №2. Результаты исследования концентрации гормонов (Т3, Т4, кортизола) у школьников контрольной группы в динамике наблюдения (1993-1996) в зависимости от длительности проживания в данной местности.

Показатели	Местные			Приезжие		
	1993-94гг	1994-95гг	1995-96гг	1993-94гг	1994-95гг	1995-96гг
Т3	2,2±0,1	2,14±0,07	-	1,96±0,07	1,97±0,09	-
Т4	108,2±3,6	76,74±3,1**	-	114,97±3,7	66,6±4,47**	-
Кортизол	338,8±21,6	412,2±24,2	335,1±7,7**	367,9±16,7	392,3±23,9	

В контрольной группе были также изменения в функции эндокринных желез, но они были менее выраженными. Менее выраженная была первичная реакция на стресс.

Динамика клинико-гормонального статуса школьников на этапах обследования указывает на поражение тиреостата и коры надпочечников, что является прогностически неблагоприятным фактором и требует медицинской коррекции.

Более значительные изменения в щитовидной железе коры надпочечников и состояния здоровья соответствовали изменениям в уровнях показателей микроэлементного состава волос

молока и почв. К 2008 г в волосах детей уменьшилось содержание Na, Sc, Cr, Fe, Co, Br, La, Cs, Sm, Tb, U, Eu, повысилось содержание Ca, Rb, Ag, Yb, Au, Se, Hg, без изменений определялся уровень Zn, Hf.

В почвах уровень микроэлементного состава был следующим: содержание Na колебалось от 15200-5200 мг/кг сухого вещества, Ca-20000-12000 мг/кг сухого вещества, Sc – 4,2-10,8 мг/кг, Cr – 234,4-54,1 мг/кг сухого вещества, Fe – 38000-12000 мг/кг, Co – 16,4-7,3 мг/кг сухого вещества, Br – 18,2-11,0 мг/кг, Rb - 70,3-29,3 мг/кг, Ag - <4 мг/кг, Sb – 1,8-0,1 мг/кг сухого вещества, La – 31,4-11,3 мг/кг, Ce – 62,8-25,3 мг/кг, Sm – 8,2-3,1 мг/кг сухого вещества, Yb – 2,9-1,0 мг/кг, Lu – 0,54- 0,18 мг/кг, Th – 7,9-2,8 мг/кг сухого вещества, U – 3,1-1,3 мг/кг, Hf – 10,8-4,1 мг/кг сухого вещества, Au – 0,049-0,009 мг/кг, Ba – 974-395 мг/кг сухого вещества, Sr - 200 мг/кг, Cs – 3,9-1,3 мг/кг, Tb – 0,99-0,28 мг/кг, Ta – 1,17-0,1 мг/кг, Eu – 1,64-0,56 мг/кг, As – 25,1-<2 мг/кг сухого вещества.

Содержание микроэлементов в молоке колебалось в следующих пределах сухого вещества: Na -4000-1800 мг/кг, Ca – 9000-4000 мг/кг, Sc – 0,007-0,001 мг/кг, Cr - 0,1 мг/кг, Fe -<100 мг/кг, Co – 0,07-0,01 мг/кг, Zn – 59,5-19,7 мг/кг, Br – 38,8-6,4 мг/кг, Rb – 10,8-3,0 мг/кг, Ag -0,1 мг/кг, Sb – 0,04 мг/кг, La – 0,07-0,01 мг/кг, Ce – 0,1 мг/кг, Sm – 0,003 мг/кг, Yb – 0,03 мг/кг, Lu – 0,04-0,02 мг/кг, Th – 0,02-0,01 мг/кг, U – 0,05 мг/кг, Hf – 0,02-0,01 мг/кг, Au – 0,002 мг/кг, Se – 0,2 мг/кг, Ba - 10 мг/кг, Sr - <15 мг/кг, Cs – 0,05 мг/кг, Tb - 0,001 мг/кг, Ta – 0,02 мг/кг, Eu – 0,01 мг/кг, As - <1 мг/кг, Hg – 1,3-0,9 мг/кг.

Таким образом, выброс химических веществ привел к изменению микроэлементного состава почв и молока. Щитовидная железа и кора надпочечников отреагировали на радиоактивные и химические вещества как при реакции на стресс в дальнейшем токсическим поражением щитовидной железы и развитием у части детей клинических признаков гипотиреоза, требующего медицинской коррекции.

УДК 616.441-006.5:576.8

#### **Нанобактериальная этиология узлового зоба**

***В.Т.Волков, Н.Н.Волкова***

*ГБОУ ВПО СибГМУ Минздрава России, г. Томск,*

*e-mail:vt\_volkov@rambler.ru*

В статье авторы анализируя историю изучения эндемического зоба, касаются не только классической йододефицитной теории Прево и Шатена как единственной и определяющей причины зубной эндемии и сохранившей свое влияние на современных исследователей как неопровержимая истина, но и уделяют достойное внимание инфекционной концепции зубной эндемии Мак Каррисона и, на основании собственных исследований, высказывают предложение о возможном участии в эндемической гиперплазии щитовидной железы нанобактерии, открытой финскими учеными на стыке прошлого и настоящего столетий.

Зоб известен с глубокой древности, в Ведах уже встречаются упоминания об этом заболевании, как и в более поздних сочинениях древнеримских писателей Плиния, Пертрувинуса и др. В средние века ему уделяют свое внимание Парацельс и другие исследователи, указывая на связь между кретинизмом и зобом в Швейцарии. В последующем Сосюром подробно показаны эндемические очаги распространения зоба в альпийских местностях. В 1736 году в России одним из первых дал описание зоба Гмелин, однако интенсивное и всестороннее изучение зубной болезни началось с середины 19 века и связано оно с именами Прево, Шатена, Кохера, де Кревена, Ашофа, Вегелина, Байаргера, Мак Каррисона и др. [16]. Влияние йода на щитовидную железу было раньше всего отмечено клиницистами. Первым, кто высказал идею об этиологической роли йода в окружающей среде, водных источниках был Прево (1849г.) [16]. Другой исследователь Шатен (1850) [16] так же обратил внимание на то, что зоб встречается там, где в почве и в питьевой воде нет йода. Благодаря своим многочисленным наблюдениям и анализам йода в продуктах питания, воздухе, в водных источниках, почве долин он окончательно сформулировал теорию дефицита зоба и ее классическая модель устойчиво вошла в сознание многих современников и дошла как непогрешимая истина до наших дней и была закреплена на Ассамблее ВОЗ в 1952 году в Лондоне. Первые результаты экспериментального удаления щитовидной железы и выяснения ее роли были проведены Рейгардом [16] и Шиффом [16] в 1859 году, затем Реверденом [16] в 1882 году, однако вопрос о роли щитовидной железы был поднят Кохером [16], он один из первых обращает внимание на снижение мозговой деятельности вплоть до полного идиотизма после удаления или травмы щитовидной железы с признаками физического

недоразвития у молодых субъектов детского и подросткового возраста. Он вводит понятие *sachexia Strumipriva* и *thjreopriva*, не потерявшие значения в наши дни. Особенно резкие изменения наблюдаются у молодых животных. Гофмейстеру [16] Симпсону и Бидлю [16] удалось наблюдать резкое запаздывание в развитии собак, овец и кроликов после эксирпации щитовидной железы, а также задержку окостенения и атрофию яичников. Бауман [16] одним из первых обнаружил в щитовидной железе большое количество йода и он одним из первых выделил из щитовидной железы быка йодотирин – белковое вещество со значительным содержанием йода, а Кендалл [16] получил в кристаллическом виде гормон тироксин, содержащий йод, Грингтон и Рендаль [16] выделили дийодтирозин. По мнению первых исследователей, йод является составной частью и главным действующим началом щитовидной железы, оказывающей существенное влияние на физическое, умственное и психическое состояние организма и его репродуктивные возможности. Кохер в числе первых предупреждал с осторожностью приема йода из-за развития йодбазедевизма с возможным летальным исходом, если даже принимать в каплях йодную настойку с целью лечения и предупреждения атеросклероза. Во времена Кохера опытными клиницистами и исследователями уже были отмечены отрицательные результаты лечения йодом лиц в эндемических местностях с длительным периодом заболевания зобом и значительными морфологическими изменениями, а при узловом зобе ранние исследователи вообще не отмечали терапевтического эффекта.

Исследования Фелленберга (1926) [16] подтвердили теорию Прево и Шатена относительно этиологической роли дефицита йода при зобной болезни и окончательно легло в основу йодной профилактики в зонах эндемического зоба, закрепленную в наши дни.

Справедливости ради следует отметить, что и во времена Шатена не все исследователи разделяли непогрешимость его теории и сформулированных постулатов. Наличие эндемических очагов зобной болезни в местностях с достаточным уровнем йода в водных источниках и почве, неудачные эпизоды йодной профилактики с использованием больших доз йода подвергали сомнению идеи Прево и Шатена. Фелленберг (1926) одним из первых указал, что экскреция йода с мочой весьма вариателна и зависит не только от характера питания, но и от функциональных способностей почек, влияние на элиминацию йода сопутствующей почечной патологии.

Противники теории йодной недостаточности ссылаются на очаги эндемического зоба в Приморских береговых районах (Данциг, Голландия, Норвегия, Финляндия) где достаточное содержание йода в почве и водных источниках и йод не является специфическим средством против зоба (Лика). Авторы приводят данные, указывающие на нормальное содержание йода в ткани зоба и даже большее содержание, чем у здоровых лиц в очагах эндемического зоба. По мнению Вегелина [16], недостаток йода как активатора функции щитовидной железы должен приводить не к гиперплазии щитовидной железы, а, напротив, к ее атрофии.

Опыты с молодыми людьми, получающими воду богатую йодом из грязных источников и в сыром виде, позволили Мак Каррисону отметить увеличение щитовидной железы у добровольцев и отсутствие увеличения железы у тех, кто употреблял кипяченую воду. Де Кревен (1936) [16] получил экспериментальную гиперплазию щитовидной железы при бактериальной интоксикации.

Добавляя в питьевую воду антисептики Мак Каррисон отметил уменьшение размеров щитовидной железы у крыс, добавление же эмульсии экстракта фекальных масс больных эндемическим зобом в его исследованиях вызывает у собак, крыс и коз гиперплазию щитовидной железы, а добавление в питьевую воду и пищу сала, тимола и других антисептиков закономерно приводит к уменьшению размеров щитовидной железы у животных, что давало исследователю уверенность, что в патологии зобной болезни помимо дефицита йода и даже в условиях достаточной его концентрации действует еще какой-то инфекционный фактор, природа которого еще не ясна.

Следует особо подчеркнуть, что поиски инфекционных агентов велись Мак Каррисоном путем простой микроскопии вплоть до своей смерти, а электронный микроскоп будет изобретен лишь в последующем. Вводя фильтрат эмульсии культур анаэробных бактерий крысам Мак Каррисон получил образование экспериментального зоба у животных и их потомстве наряду с отдельными случаями экспериментального кретинизма и поражением парашитовидных желез. Многие ранние исследователи обращали внимание на роль кальция в этиологии эндемического зоба. Ашоф и Арндт указывают на значение одновременного действия дефицита йода и кальция, Мак Каррисон, Танабэ, Гельвинг [16] прибавляя к обычной пище соли кальция получили у крыс и голубей увеличение щитовидной железы с накоплением коллоида в фолликулах. Танабэ [16],



комбинируя экспериментальную йодную недостаточность с действием кальция, получил резкое увеличение щитовидной железы, но уже с картиной паренхиматозной гиперплазии.

Признавая ценность и поучительность истории изучения проблемы эндемического зоба, его этиологии и патогенеза, мы решили проверить йоддефицитную теорию Прево и Шатена в ее классическом варианте, изучения уровня йода в питьевой воде и идеи Мак Каррисона о возможном инфекционном факторе зобной болезни с использованием электронной микроскопии конденсата питьевой воды и фрагментов удаленной щитовидной железы, а также проведения коррелятивных показателей заболеваемости зобом в 5 медицинских округах Томского района за последние 5 лет. Актуальность подобного рода исследований определяется своевременной статистикой и данным ВОЗ, международного контроля за йоддефицитными заболеваниями, согласно которым во всем мире около 2 млрд. жителей Земли испытывают хронический дефицит йода [11] и создает угрозу здоровью 100 млн. нашим соотечественникам в России [12]. Диапазон клинической патологии йоддефицитных заболеваний довольно велик, распространяясь на физическое, психическое и интеллектуальное состояние подростков и взрослых. В первую очередь нами изучены фрагменты гиперплазированной щитовидной железы (узловой зоб), удаленной в ходе операции у 18 пациентов (12 женщин и 6 мужчин, средний возраст  $\pm$  30 лет). Изучение ультраструктуры проводилось методом трансмиссионной микроскопии [Карупу В.Я., 1984] ультратонкие срезы готовили по методике Б.Уикли [1975], обработанные по нашей методике молибденово-кислым аммонием (10% р-р). Полученные срезы на ультратоме Ultratom III (Швеция) рассматривали в электронном микроскопе JEM-100 CXII (JEOL Япония) с апертурной диаграммой 25-30 мкм., при ускоряющем напряжении 86 кВ. При увеличении  $\times$  19000 – 36000 нам удалось выявить в измененных участках обызвествленные ткани узлов, множественные колонии нанобактерий овоидной формы, размером 0,8-0,9 мкм, окруженных карбонат-апатитной оболочкой (данные дисперсного рентгено-структурного микроанализа ЕДХ). Колонии нанобактерий обнаружены у всех 18 пациентов. В целях идентификации нанобактерии нами дополнительно проведена иммунофлюоресцентная микроскопия с моноклональными антинанобактериальными антителами А-4003 61-81 (Nanobac, Finland), меченными флюорохромом. Аналогичные колонии нанобактерий выявлены нами в строме железы у 4 больных с паренхиматозными аденомами (2) и карциномой (2). Нанобактерия, открытая Робертом Фольком (Folk R., 1990) [19] в окружающей природе и питьевой воде, а также обнаруженная финскими исследователями (Kajander E. O.et.al, 1998) [20] у человека, относится к классу хламидий и способной к обызвествлению и поражению ткани, а также новообразованиям. Открытие ее нами в патологически измененных участках узлового зоба не исключает ее активного участия в формировании узлового зоба и малигнизации щитовидной железы. Изучение конденсата питьевой воды в 22 поселках 5 медицинских округов Томского района нами во всех заборах удалось при проведении сканирующей электронной микроскопии  $\times$  5000-80000 выявить колонии нанобактерии, что подтверждает исследования американского геолога Роберта Фолька [19]. Полученные результаты наших исследований не исключают попадания нанобактерий с питьевой водой через желудочно-кишечный тракт в щитовидную железу. С учеными Томского политехнического университета и ТУСУРа нами исследован уровень йода в питьевой воде (65 проб) в 65 поселках 5 медицинских округов Томского района. Использована методика концентрации йодид-ионов ртутно-пленочного электрода методом инверсионной вольтамперии (ТПУ). Кроме того, нами впервые проведены исследования уровня нанобактерии в 1 мл3 питьевой воды 22 поселков Томского района, изучен уровень заболеваемости (на 1000 населения) узловым зобом и диффузным его вариантом за последние 5 лет (1999-2003), исследована жесткость питьевой воды и содержание железа. Приведенные показатели коррелятивного взаимоотношения между уровнем йода в питьевой воде и уровнем заболеваемости узловым и диффузным зобом не позволили выявить связи между этими показателями ( $r_1 = -0,075$  и  $r_2 = -0,122$ ).

При изучении корреляции между уровнем заболеваемости узловым зобом на 1000 населения и концентрацией нанобактерии в 1 мл3 питьевой воды получена тесная связь между этими показателями ( $r = +0,971$ ). Сильная степень корреляции нами отмечена между уровнем заболеваемости узловым зобом на 1000 населения и жесткостью воды ( $r = +0,959$ ), а также между содержанием железа в воде и уровнем нанобактерии в 1 мл3 ( $r = +0,933$ ). Согласно выводам финских исследователей (Kajander E. O.et.al, 1998) [20], нанобактерия обладает способностью к нуклеации и осаждению кальция в связи с формированием карбонат-апатитной оболочки и единственная из класса хламидий участвует в процессах оссификации ткани и органов, выделяя белок-олигопептит она вызывает воспалительную реакцию, а проникая без особого труда в ядро клетки меняет ее информацию и запускает механизм апоптозиса клетки или ведет ее к

малигнизации (Дж.Coulton 1998) [20]. При составлении схематической карты жесткости воды, уровня йода и заболеваемости узловым зобом на 1000 населения нами получены зоны наибольшего распространения узлового зоба в зоне максимальной жесткости воды и максимального уровня йода (Лоскутовский медицинский округ), в этой же зоне наибольший уровень железа, марганца и нанобактерии.

Учитывая способность нанобактерии к осаждению кальция в питьевой воде и тканях, что приводит к повышению жесткости воды и наибольшую ее плотность в средах с большим содержанием железа (Рихванов Л.П. и соавт., Волков В.Т. и соавт., 2003) [8] следует считать эндемической территорией зобной болезни местность с большим содержанием железа, марганца и высокой плотностью нанобактерии, активно поглощающей железо, а не только уровень йода и йодурии. Определенный интерес представляет, на наш взгляд, способность щитовидной железы к утилизации йода при морфологических изменениях щитовидной железы, обусловленных локализацией в ней нанобактерии и ее способности к оссификации и воспалительным изменениям стромы железы и даже ее малигнизации. Именно этим можно объяснить эндемию зоба в местностях, богатых йодом. В природе йод находится в различных соединениях – органических и неорганических. Пул неорганического йода всасывается и не выделяется. Пул органического йода находится в соединении с тиреоидными гормонами. Щитовидная железа усваивает только неорганический йод. Значительная часть йода представлена йодитами и йодатами. Мы предполагаем, что обнаруженная нами нанобактерия у больных эндемическим зобом вызывает глубокие морфологические изменения в щитовидной железе, что приводит к нарушению утилизации йода щитовидной железой и ведет к ее компенсаторной гиперплазии.

Если дальнейшие исследования этиологической роли нанобактерии будут подтверждены в генезе эндемического зоба другими исследователями, то инфекционная природа этого заболевания в очередной раз подвергнет сомнению односторонний подход с позиции йоддефицита и специфической роли йодной профилактики эндемии зобной болезни, расширит перспективу более радикального лечения, не доводя до малигнизации щитовидной железы и ее хирургического удаления.

#### Список литературы:

1. Белякова Н.А., Колейников Д.В., Курочкин Н.Н., Лесникова Л.Б. и др. Йодный дефицит и его клинично-функциональные проявления у детей // Сибирский медицинский журнал – 2004, №4. – с.767-9.
2. Волков В.Т., Волкова Н.Н., Смирнов Г.В., Сухих Ю.И. Болезни биоминерализации (новейшая экология) Из-во «Тандем-Арт» Томск, 2004, 392 с.
3. Волков В.Т., Перспективы изучения нанобактерии в медицине // мат.7-международной конференции «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири». Барнаул-2001-с. 130-133
4. Волков В.Т., Смирнов Г.В., Волкова Н.Н., Панова Ю.К. Нанобактерия и проблема контагиозности опухоли // мат.8-международной конференции «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири». Кемерово-2002-с.140-142.
5. Волков В.Т., Смирнов Г.В., Волкова Н.Н., Сухих Ю.И. Нанобактерия // Сибирский медицинский журнал – 2003 - №3. – с.5-9.
6. Волков В.Т., Смирнов Г.В., Медведев М.А., Сухих Ю.И., Волкова Н.Н. Нанобактерия. Из-во «Твердыня» Томск, 2003г. 358 с.
7. Волков В.Т., Сухих Ю.И. Подагра. Из-во «Твердыня» Томск 2003г., 428 с.
8. Волков В.Т., Волкова Н.Н., Смирнов Г.В., Полиенко А.К., Бакиров А.Г., Рихванов Л.П., Ермолаев В.А., Сухих Ю.И. Биоминерализация в организме человека и животных. Из-во «Тандем-Арт» Томск, 496 с.
9. Волков В.Т., Смирнов Г.В., Волкова Н.Н., Цыров Г.И. Перспективы изучения нанобактерии в пульмонологии. // Доклады академии наук высшей школы России – 2004г. - №1. – с.113-122.
10. Волков В.Т., Смирнов Г.В., Волкова Н.Н., Панова Ю.К. Инфекционная теория атеросклероза, инфаркта миокарда // мат. 8-международной конференции «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири». Кемерово – 2002г. – с.150-153.
11. Герасимов Г.А., Фазея В.В., Свидеренко Н.Ю. и др. Йоддефицитные заболевания в России – М. – 2002г. – 220 с.
12. Дедов И.И., Свидеренко Н.Ю., Герасимов Г.А. и др. Оценка йодной недостаточности в отдельных регионах России // Пробл. эндокринологии – 2000 - № 8. – с.3-7
13. Мак Каррисон// цит. по [16].
14. Прево, Шатен // цит. по [16].
15. Фелленберг, де Кревен, Танабэ, Гельвинг, Пфейфер, Маринэ, Ленгард, Тайлорд, Арнд // цит. по

- [22].
16. Хетцел Б. Повесть о йодной недостаточности. Международные усилия в области питания // Пер. с англ. – М., 1994. – с.19-98.
  17. Шершевский Н.А., Степун О.А., Румянцев А.В. Основы эндокринологии. Биомедгиз. 1936г. – 631с.
  18. Delange F., Iodine Deficiency in Europe / Thyroid International / 1994 – v.3. – p.2-7
  19. Folk R.L., Lynch F.L. Nanobacteria in the laboratory in the natural environment in carbonate Sediments and rocks
  20. Folk R.L. Nanobacteria in the natural environment and in medicine // J. Minerabogy 7(1): p.87-89
  21. Kajander E.O., Kuronen J., Akerman K., Ciftioglu N. Nanobacteria from blood the smallest culturable automously replicating of Earth // Science 3 II p.420, 1997
  22. Indicators for Assessing Iodine Deficiency Disorders and Their Control Throug Salt Jodization WHO / Nut.Geneva, 1994.
  23. Zimmermann M.B., Molinari L., Spehe et al. Updated Values for Sonagrahie Provisional in Jodine-Replete School-age children // IDD Newsletter – 2001 – vol. 17, №1. p.32
  24. WHO: Indicators for Fssessing Jodine Deficiency Programmes // Report of a Ioiat WHO /UNICEF/ICCIDD Consultation – September – 1993.

УДК: 616.24-002-008.4:612.21/.24

**Отрицательный общий и эластический гистерезис легких у здоровых людей и при пневмонии**

*Тетенев Ф.Ф., Тетенев К.Ф., Бодрова Т.Н., Агеева Т.С., Карзилов А.И.*  
ГБОУ ВПО СибГМУ Минздрава России, Россия, г. Томск  
[karzilov@mail.ru](mailto:karzilov@mail.ru)

Согласно законам классической механики гистерезис означает сдвиг фаз между действием силы на изучаемый предмет и результатом действия силы. Термин означает затрату работы на преодоление трения, в связи с чем фаза действия силы всегда опережает проявление результата действия силы. В механике дыхания действующей силой является внутриплевральное давление, а искомый предмет – легкие. Классический опыт Ф. Дондерса с пассивной вентиляцией легких под колоколом, имитирующим грудную клетку, резиновую мембрану, имитирующую диафрагму вошел в представление о механике дыхания в физиологию и клиническую физиологию дыхания [3] в качестве парадигмы. В современной литературе имя Ф. Дондерса не упоминается и исследовали вентиляции легких у людей при спонтанном дыхании не замечают, за редким исключением, что Ф. Дондерс проводил свой опыт с изолированными, мертвыми легкими и что в механике дыхания при жизни должны быть определенные поправки. Однако парадигма имеет свои собственные свойства способствовать развитию науки в начальном периоде её становления и тормозить – в период, когда в науке накопилось большое количество фактов, не укладывающихся в действующую парадигму [1] (в частности парадигму Ф.Дондерса) в том числе фактов, представляющих собой фундаментальное противоречие дондерсовской теории и дающих основание для смены парадигмы.

Одним из наиболее серьезных парадоксальных явлений в биомеханике дыхания является извращение общего и эластического гистерезиса легких, то есть гистерезиса с отрицательным знаком [4]. Это означает, что движения предмета связаны с действием источника силы, заключенном в самом предмете и что изучаемые движения обусловлены, по крайней мере, действием двух сил: внешней силы и силы действия внутреннего источника механической энергии. Для физиологии дыхательных движений внешней силой является сила действия дыхательной мускулатуры. Внутренний источник механической энергии все еще представляет из себя загадку: легочная паренхима – весьма тонкая структура, гипотезы о вероятной функции гладкой мускулатуры в этом отношении не имеют поддержки официальной физиологии. Современный уровень развития клинической физиологии дыхания и клинической фармакологии пока устраивает простая, привычная модель легких в виде пассивного эластического органа и бронхиального дерева с гладкой мускулатурой. Эта мускулатура способна сокращаться, повышая бронхиальное сопротивление и расслабляться, способствуя расширению бронхов. При этом исследователей не интересует тот источник силы, который расширяет бронхи при расслаблении мышц, суживающих их просвет [5]. Ранее было описано извращение дыхательной петли спонтанного дыхания. Это явление встречалось сравнительно редко и расценивалось как

вероятное проявление артефактов, однако было достаточно оснований рассматривать извращение петли общего легочного гистерезиса проявлением повышенного проявления механической активности легких. Регистрация дыхательного объема производилась с помощью механической системы регистрации, инерция которой могла увеличить гистерезис, но не уменьшить до такой степени, чтобы он стал отрицательным.

Целью настоящего исследования было повторить исследования общего и эластического гистерезиса с помощью безинерционной методики регистрации изменения легочных объемов (пневмотахограммы) и построения диаграммы давление-объем традиционным методом и с помощью компьютера.

Биомеханика дыхания исследовалась у 17 практически здоровых людей и 28 больных внебольничной пневмонией. Средний возраст исследованных здоровых лиц составлял  $28,2 \pm 1,6$  лет, больных –  $24,3 \pm 2,1$  года. Исследования проводились после подписания информированного согласия и здоровых лиц и пациентов пневмонией. Утром натощак исследуемому лицу специальный зонд с латексным баллоном на конце вводился через нос в нижнюю треть пищевода. Исследуемый дышал в пневмотахографическую трубку с прерывателем воздушного потока. Транспульмональное давление (разница между давлением в пищеводе и во рту исследуемого) регистрировали одновременно с пневмотахограммой, которая интегрировалась в спирограмму с помощью многоканального самописца и специально оборудованного компьютера. Специальное исследование заключалось в том, что исследуемый совершал дыхательные движения, глубиной близкой к половине жизненной ёмкости легких и частотой от 4 до 7 дыханий в 1 мин. Глубина и частота дыхания определялись пределами комфортного дыхания индивидуально самим исследуемым. На вдохе и выдохе производились по 3 прерывания воздушного потока на 0,5 с. При этом на спирограмме регистрировалось плато, а на пневмотахограмме – отсутствие воздушного потока. На кривой транспульмонального давления регистрировались фигуры, отражающие величины альвеолярного давления соответственно на вдохе и выдохе. Минутный объем дыхания рассчитывали с учетом суммарного времени прерывания воздушного потока. По величинам динамического транспульмонального давления строилась петля общего легочного гистерезиса. Внутри петли откладывались величины альвеолярного давления, измеренного на вдохе и выдохе, соответственно по 3 величины и строили петлю эластического гистерезиса. Величины общего и эластического гистерезиса выражали в единицах работы дыхания (кгм/мин). При построении петель общего и эластического гистерезиса обращали внимание на положение диаграммы давление-объем на вдохе – она располагалась в зоне более низкого давления, по сравнению с таковой, на выдохе гистерезис был положительным, что не противоречило классическим законам механики. В тех случаях, когда диаграмма общего и (или) эластического гистерезиса на вдохе располагалась ниже, по сравнению с таковой на выдохе, гистерезис был положительным и не противоречил классическим законам механики. В тех случаях, когда диаграмма общего и (или) эластического гистерезиса на вдохе располагалась выше таковой на выдохе, гистерезис был извращенным и противоречил классическим законам механики. Противоречие состояло в том, что при извращении гистерезиса объем легких изменяется раньше, по сравнению с изменением давления. Это означало, что дыхательные движения легких в случаях извращения гистерезиса осуществлялись внутрилегочным источником механической энергии. Изменения же внутригрудного давления были дополнением к инспираторному или экспираторному действию внутрилегочного источника механической энергии.

Результаты исследования. Минутный объем дыхания у здоровых людей при исследовании гистерезиса составлял в среднем  $18,6 \pm 6,1$  л/мин. Эластический гистерезис варьировался от  $-0,477$  до  $0,107$  и составлял в среднем  $-0,062 \pm 0,035$  кгм/мин. У 11 исследованных лиц он был отрицательным и у 6 – положительным.

Общий легочный гистерезис у здоровых людей варьировался от  $-0,202$  до  $0,189$  и составлял в среднем  $0,060 \pm 0,024$  кгм/мин. У 4 исследованных лиц он был отрицательным.

У больных пневмонией при МОД равном в среднем  $17,2 \pm 4,13$  л/мин эластический гистерезис варьировался от  $-0,303$  до  $0,343$  и составлял в среднем  $-0,097 \pm 0,034$  кгм/мин. У 18 больных он был отрицательным и у 9 – положительным. Общий гистерезис варьировался от  $-0,031$  до  $0,305$  и составлял в среднем  $0,193 \pm 0,054$  кгм/мин. Только у 2 больных он был отрицательным.

Таким образом, извращение эластического гистерезиса у здоровых людей отмечалось у большинства здоровых людей и больных пневмонией. Положительный эластический гистерезис расценивался как затрата работы дыхания на преодоление тканевого трения. Отрицательный эластический гистерезис свидетельствовал о преодолении тканевого трения за счет работы внутрилегочного источника механической энергии. Кроме того отрицательная величина

эластического гистерезиса соответствовала величине потенциальной работы внутрилегочного источника механической энергии по преодолению сопротивления клапана, прерывающего воздушный поток. По величине отрицательного эластического гистерезиса в описанных условиях было предложено оценивать максимальную потенциальную работу внутрилегочного источника механической энергии [6]. Отрицательный общий легочный гистерезис определялся только у отдельных исследованных лиц, однако сам факт наблюдения этого явления указывает на реальность выраженной способности легких самостоятельно участвовать в механизме дыхательных движений.

#### Список литературы:

1. Кун Т. Структура научных революций: пер. с англ. М., 1975. – 283 с.
2. Тетенев Ф.Ф. Биомеханика дыхания. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1981. 152 с.
3. Тетенев Ф.Ф. Обструктивная теория нарушения внешнего дыхания. Состояние, перспективы развития. // Бюлл. сибирской медицины, 2005. – №4. – С. 14 – 26.
4. Тетенев Ф.Ф. Обоснование к новому пониманию физиологии механического движения внутренних органов. // Бюлл. сибирской медицины, 2012. – №4. – С. 86 – 92.
5. Тетенев Ф.Ф. Для чего необходимо исследовать механику диастолы сердца, пульсовой волны и расширения внутренних органов, не имеющих скелета. // Сиб. мед. журнал, 2013. – Т.28, №1. – С. 117 – 123.
6. Пат. № 2432901 Россия. Способ определения максимальной работы внутрилегочного источника механической активности. Тетенев Ф.Ф., Тетенев К.Ф., Бодрова Т.Н., Агеева Т.С., Левченко А.В., Диш А.Ю., Ларченко В.В., Карзилов А.И., Камалов М.Н. // Бюл. откр. и изобр., 2011. – №20.

УДК: 616.24-008.711.1-072.7.612.24:612.212

#### Роль функционального снижения эластичности легких при гиперинфляции

*Тетенев Ф.Ф., Тетенев К.Ф., Бодрова Т.Н., Агеева Т.С., Карзилов А.И.*

*ГБОУ ВПО СибГМУ Минздрава России, Россия, г. Томск*

[karzilov@mail.ru](mailto:karzilov@mail.ru)

В современной клинической физиологии дыхания механизм гиперинфляции легких объясняется как результат клапанного сужения бронхов на выдохе и улавливанием воздуха в респираторном отделе легких. Такое теоретическое толкование механизма развития эмфиземы легких основывается на представлении о легких как пассивном эластическом органе, эластическое напряжение которого имеет фиксированную постоянную характеристику. Увеличение содержания воздуха в респираторном отделе легких приводит к растяжению легких и это должно приводить к увеличению напряжения эластической структуры. Этот механизм адекватен развитию вздутия доли или сегмента легкого при начальной стадии обтурационного ателектаза. В таком случае воздух заходит в легкое на вдохе и не выходит на выдохе.

Тем не менее, при исследовании механики дыхания в условиях провокации бронхоспазма было обнаружено обратимое увеличение общей емкости легких, сочетающееся со снижением эластической тяги [1]. Это противоречило общепринятому представлению о механике дыхания, в связи с чем авторы, находясь во власти парадигмы Дондерса, отнесли это явление не к области знания, а к области удивительного, т.е. не дали объяснения этим фактам. Аналогичные результаты обратимого уменьшения эластической тяги легких и увеличения общей емкости легких нами были обнаружены при исследовании изменений механики дыхания у больных эмфиземой легких под влиянием введения атропина. С точки зрения обструктивной теории – это явление является парадоксом. Примерно в эти же годы были получены клинко-экспериментальные подтверждения гипотезы о механической активности легких. Позднее была сформирована теория механической активности легких [3] и данный парадокс получил свое объяснение. К существующим представлениям о механизме эмфиземы легких был обоснован и добавлен еще один механизм гиперинфляции легких, связанный с обратимым снижением эластического напряжения легких. В таком случае первичным является снижение эластического напряжения легких, а гиперинфляция легких – вторичным, следствием преобладания силы со стороны грудной клетки, смещением дыхательного объема легких в сторону резервного вдоха и увеличение общей ёмкости легких.

При персистирующей бронхиальной астме при нормальных основных показателях бронхиальной проходимости и нормальных показателях вентиляционной функции легких было найдено снижение динамической растяжимости легких и повышение общей растяжимости легких

[6]. Это явление было расценено как парадокс ввиду того, что легкие не могут обладать одновременно и сниженной и повышенной растяжимостью, или повышенной и пониженной эластичностью. Повышение эластичности легких при спонтанном дыхании было расценено как компенсаторный механизм, направленный на обеспечение нормальной вентиляционной функции легких. Снижение эластичности в условиях определения эластической тяги легких на уровне резервного объема легких тоже было расценено как компенсаторная реакция, направленная на снижение работы дыхательной мускулатуры при маневре дыхания в момент измерения эластической тяги легких. Таким образом, изменения растяжимости легких от величины динамической при спонтанном дыхании до общей растяжимости легких были расценены как функциональные. Был предложен функциональный коэффициент эластичности легких (отношение общей растяжимости к динамической растяжимости легких) как показатель механической активности легких [5]. У здоровых людей КФЭЛ составлял 0,6 – 1,1. При хронической обструктивной эмфиземе легких он был повышен, что противоречило представлению о практически полной утрате легкими эластичности при эмфиземе. Важно заметить, что эластичность изолированных легких при эмфиземе резко снижена [2]. При жизни, однако, как показывают исследования, при выраженной эмфиземе легких последние активно соучаствуют в дыхательных движениях. При эмфиземе, вероятно, механическую активность сохраняют только функционирующие отделы легких.

В качестве иллюстрации приводим результаты измерения показателей эластического сопротивления у 4 пациентов хронической обструктивной эмфиземой легких (ХОБЛ) до и через 15 мин после подкожной инъекции 1 мл 0,1 процентного сернокислого атропина. Определяли показатели вентиляционной функции легких и показатели механики дыхания. Остаточный объем легких определяли методом разведения гелия. Показатели механики дыхания определяли методом одновременной регистрации спирограммы и транспульмонального давления. В настоящем сообщении приведены результаты измерения общей ёмкости легких (ОЕЛ), эластической тяги легких (ЭТЛ), общей растяжимости легких (ОРЛ), коэффициента ретракции легких (KR), динамической растяжимости легких при спонтанном дыхании (ДРЛ), функционального коэффициента эластичности легких (КФЭЛ), показателей аэродинамического (бронхиального) сопротивления легких на вдохе и выдохе до и через 15 мин после инъекции атропина. У всех пациентов значительно уменьшилась одышка, уменьшилось бронхиальное сопротивление, но увеличились ОЕЛ, КФЭЛ и снизилась ЭТЛ. Результаты измерений приведены в таблице 1.

Таблица 1.

№ исследования	ОЕЛ (л)		ЭТЛ (см вод.ст.)		ОР (л/см вод.ст.)		ДР (л/см вод.ст.)		КФЭЛ (ОР/ДР)	
	до введения атропина	после введения атропина	до введения атропина	после введения атропина	до введения атропина	после введения атропина	до введения атропина	после введения атропина	до введения атропина	после введения атропина
1	6,2	8,0	13,0	8,3	0,477	1,040	0,083	0,155	5,7	9,04
2	5,14	6,80	10,0	7,0	0,5414	0,971	0,111	0,130	4,63	7,47
3	7,4	8,2	9,2	7,7	0,806	1,064	0,124	0,212	6,5	5,02
4	8,1	9,6	7,9	6,1	1,020	1,56	0,200	0,240	5,1	6,5

Таблица 1 (продолжение).

№ исследования	KR (см вод.ст./л)		Аэродинамическое сопротивление (см вод.ст./л×с-1)			
	до введения атропина	после введения атропина	до введения атропина		после введения атропина	
			вдох	выдох	вдох	выдох
1	2,10	1,04	9,0	8,1	4,6	6,6
2	1,95	1,03	11,0	15,0	5,0	7,4
3	1,24	0,94	7,5	10,2	3,1	5,9
4	0,98	0,64	8,3	11,7	5,6	9,0

Примечание. Общая емкость легких (ОЕЛ), эластическая тяга легких (ЭТЛ), общая растяжимость легких (ОР), динамическая растяжимость (ДР), коэффициент функциональной эластичности (КФЭЛ), коэффициент ретракции (KR), аэродинамическое (бронхиальное) сопротивление до и после введения атропина у больных эмфиземой легких.

Представленные исследования были выполнены в семидесятые годы, теория механической активности легких была сформулирована в начале восьмидесятых годов, а способы измерения механической активности легких и интерпретация результатов измерений были предложены в начале XXI века [4]. Описанные факты необходимо изучать более подробно с помощью новых технологий в связи с тем, что открытие морфологии источника механической активности легких и механизмов регуляции его функции обещает составить новое направление в клинической физиологии дыхания, клинике и клинической фармакологии.

#### Список литературы:

1. Peress L., Sybrecht J., Macklem P. The Mechanism of increase in Total lung During Acute Asthma // Am. J. Med., 1976. – V.61, №8. – P. 165-169.
2. Тетенов Ф.Ф. Легочный эластический гистерезис в норме и при эмфиземе // Бюлл. Эксперим. биол. и мед., 1974. – № 6 – с. 21-23.
3. Тетенов Ф.Ф. Биомеханика дыхания. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1981, 145 с.
4. Тетенов Ф.Ф. Новые теории – в XXI век. 2-е изд., перераб. и доп. Томск: изд-во Том. ун-та, 2003. – 212 с.
5. Патент №22955286, Россия. Способ оценки функционального состояния легочной ткани. Тетенов Ф.Ф., Тетенов К.Ф., Бодрова Т.Н. // Бюлл. откр. и изобретений, 2007. – №8.
6. Тетенов Ф.Ф., Бодрова Т.Н., Тетенов К.Ф. // Тер. архив, 2007. – № 3. – С. 30-33.

#### Энергодисперсионный анализ химического состава оксидных нанофазных покрытий, полученных при индукционно-термической обработке титана

*Фомин А.А., Родионов И.В., Пошивалова Е.Ю., Фомина М.А., Штейнгауэр Н.Н., Захаревич А.М.\*, Петрова Н.В.\**

*Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Россия*

*\*Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского, Россия*

*E-mail: afominalex@rambler.ru*

Научные исследования проведены при финансовой поддержке гранта РФФИ № 13-03-00898 «а», стипендии Президента РФ № СП-1051.2012.4, а также программы «У.М.Н.И.К.».

Титановые медицинские сплавы (BT1-00, BT6 и др.) применяются для изготовления элементов конструкций эндопротезов, имплантатов, а также остеофиксаторов [1]. Поверхность данных металлоконструкций обрабатывается различными энергетическими воздействиями, например, кинетическим при абразивно-струйной обработке, химическим при различных методах оксидирования или теплофизическим при газотермическом формировании покрытий [2, 3]. Получаемое биофункциональное покрытие способствует ускорению остеоинтеграционных процессов. Более двух десятков лет для этой цели использовались кальций-фосфатные материалы (гидроксипатит, трикальцийфосфат), биостекла, однако эти материалы обладают определенными недостатками, такими как низкая прочность, твердость и трещиностойкость. Считается, что поверхность материалов должна стимулировать процессы роста клеток (адгезии, пролиферации) независимо от химического состава. Различные характеристики и свойства традиционно используемых биосовместимых металлов могут подходить для имплантируемых конструкций кратковременного функционирования. В случае, когда необходимо обеспечить долгосрочный период работы (от нескольких месяцев до десятков лет), необходимо создать специальные условия биомеханического взаимодействия, предусматривающие высокую химическую стабильность свойств покрытия [4]. Разработаны фундаментальные принципы структурной модификации поверхности технического титана BT1-00 токами высокой частоты (ТВЧ) с получением оксидного покрытия требуемого химического состава и структуры.

Экспериментальные образцы представляют собой пластины технического титана BT1-00 толщиной 2 мм, поверхность которых подвергается микротекстурирующей механообработке. Поверхность подготовленных образцов оксидируется на воздухе при воздействии ТВЧ. Устанавливается влияние индукционно-термической обработки (ИТО) в диапазоне температуры 600...1200 °С при продолжительности процесса не более 300 сек на процессы окисления

поверхностного слоя титана. При анализе данного процесса используются растровая электронная микроскопия (РЭМ) в сочетании с энергодисперсионным рентгенфлуоресцентным анализом (ЭДРФА). Также проводится проверка биосовместимости *in vitro* на клетках (фибробластах человека). Образцы покрытий нумеруются в соответствии с величиной температуры и продолжительностью ИТО, например, 06-120 – 600 °С и 120 сек; 12-030 – 1200 °С и 30 сек.

Микроструктура поверхности представляет собой рельеф исходной металлической основы после подготовительных операций и оксидирования. При росте оксидного покрытия происходит образование наружного оксидного слоя игольчатой (ИТО при 600...800 °С) и пластинчатой структуры (ИТО при 1000...1200 °С). При формировании толстослойных покрытий параллельно протекают два процесса: рост субмикроструктурного подслоя и диффузионное насыщение приповерхностного слоя титановой основы. Данные явления можно исследовать по изображениям РЭМ в сочетании с ЭДРФА химического состава участка нанесенной царапины методом скретч-тестирования.

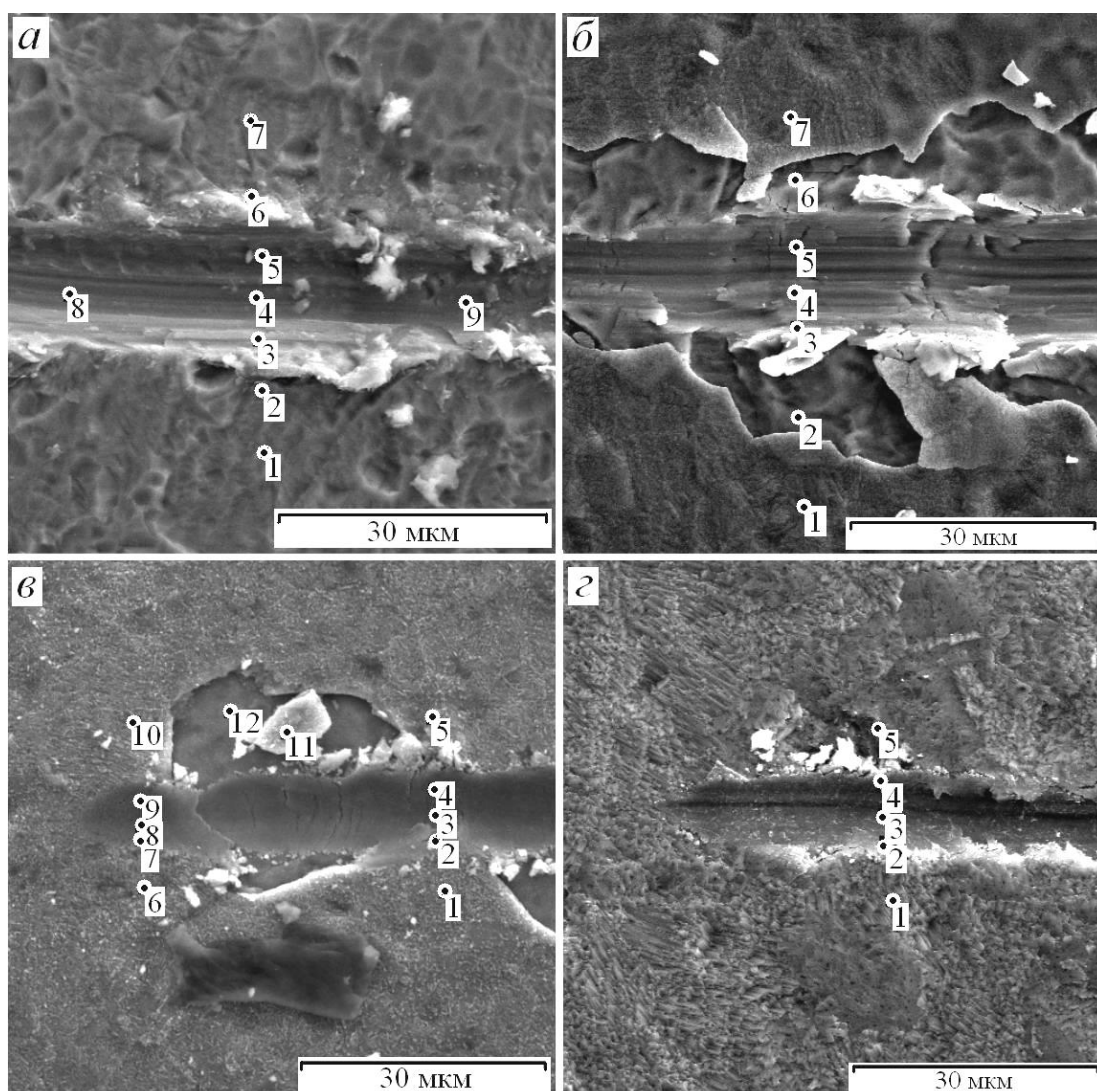


Рис. 1. РЭМ результатов скретч-тестирования образцов покрытий диоксида титана: а – 06-300; б – 08-030; в – 08-300; г – 10-030 (увеличение  $\times 3000$ )

На представленных в качестве примера изображениях участков нанесенных царапин показаны характерные варианты разрушения. В случае тонкослойного покрытия наблюдается полное истирание покрытия вплоть до металлической основы (рис. 1 а). Данное представление полностью подтверждается результатами ЭДРФА, при этом в центральной части поперечного сечения царапин отмечается заметное снижение концентрации кислорода вплоть до 0 % (табл. 1).



В случае формирования утолщенного или толстослойного покрытия с высокими показателями твердости и устойчивости к царапанию в сочетании с мягкой металлической основой отмечается вдавливание материала покрытия (рис. 1 в, 1 г). В процессе царапания в материале покрытия возникают значительные касательные напряжения, приводящие к отслоению его частиц (рис. 1 б). Также отмечается перемещение примеси алюминия, находящейся в сплаве ВТ1-00, к поверхности покрытия.

Табл. 1. Распределение химических элементов в покрытии и приповерхностном слое

Обр. № спектра	06-300			08-030			08-300			10-030		
	O	Al	Ti	O	Al	Ti	O	Al	Ti	O	Al	Ti
1	38.67	0.32	61.02	57.29	0.39	42.32	66.94	0.36	32.70	62.76	0.58	36.66
2	31.41	0.00	68.59	25.09	0.41	74.50	74.07	0.24	25.69	73.21	0.00	26.79
3	0.00	0.91	99.09	17.01	0.43	82.56	65.99	0.00	34.01	67.53	1.03	31.44
4	0.00	1.58	98.42	0.00	0.00	100.0	56.21	0.00	43.79	60.70	0.32	38.97
5	0.00	0.77	99.23	0.00	0.53	99.47	63.74	0.43	35.84	43.76	0.00	56.24
6	56.69	0.51	42.80	22.02	0.41	77.57	63.84	0.38	35.77	-	-	-
7	40.10	0.35	59.55	48.54	0.51	50.96	70.93	0.29	28.78	-	-	-
8	0.00	0.81	99.19	-	-	-	68.37	0.31	31.31	-	-	-
9	0.00	1.18	98.82	-	-	-	54.29	0.41	45.30	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	52.57	0.43	47.01	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-	65.24	0.49	34.28	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	43.93	0.36	55.71	-	-	-

Проверка биосовместимости *in vitro* получаемых образцов покрытий показала, что высокая морфологическая гетерогенность поверхностной структуры обеспечивает стабильную адгезию фибробластов, в том числе за счет внедрения органического вещества в пористую структуру (рис. 2). Прикрепление клеток происходит наиболее активно в присутствии кристаллов и пор определенного размера, при этом развитая морфология покрытий активно стимулирует процесс биоинтеграции.

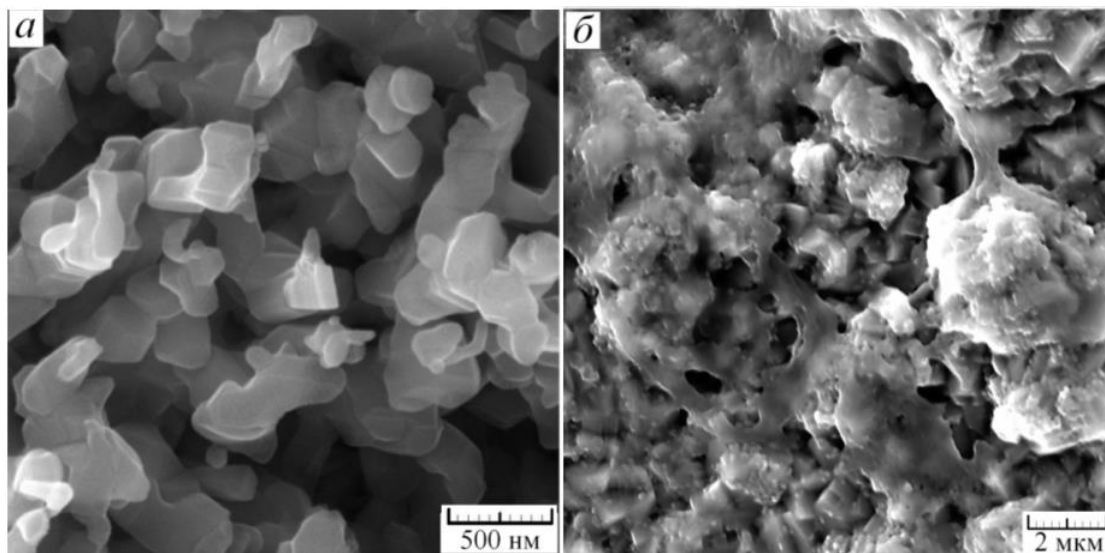


Рис. 2. Морфология покрытия диоксида титана, полученного по режиму ИТО 10-120: а – исходная структура; б – после теста *in vitro*

Обработка ТВЧ титановых медицинских изделий обеспечивает ускоренное образование на их поверхности механически прочной оксидной структуры. Установлено, что тонкослойное металлооксидное покрытие, формируемое при нагреве от 800 до 1200 °С и выдержке не менее 120 сек, характеризуется высокой биосовместимостью и физико-механическими свойствами.

#### Список литературы:

1. Dorozhkin S.V. Bioceramics of calcium orthophosphates // *Biomaterials*. – 2013. – № 31. – pp. 1465–1485.

2. Fomin A.A., Rodionov I.V., Steinhauer A.B., Fomina M.A., Zakharevich A.M., Skaptsov A.A., Petrova N.V. Structure of Composite Biocompatible Titania Coatings Modified with Hydroxyapatite Nanoparticles // *Advanced Materials Research*. – 2013. – Vol. 787. – pp. 376–381.
3. Fomin A.A., Steinhauer A.B., Rodionov I.V., Petrova N.V., Zakharevich A.M., Skaptsov A.A., Gribov A.N. Nanostructure of Composite Bioactive Titania Coatings Modified with Hydroxyapatite in Medical Titanium Implants // *Biomedical Engineering*. – 2013. – Vol. 47. – № 3. – pp. 138–141.
4. Catledge S.A., Fries M., Vohra Y.K. Nanostructured surface modifications for biomedical implants // *Encyclopedia of nanoscience and nanotechnology*. – 2004. – № 1. – pp. 741–762

**Особенности течения острых респираторных заболеваний у часто болеющих детей с хроническими заболеваниями лимфоидной ткани носоглотки**

**Фурманова Е.А.**

*Сибирский государственный медицинский университет, Россия, г. Томск*

[shelepova87@mail.ru](mailto:shelepova87@mail.ru)

Актуальность. Проблема часто болеющих детей (ЧБД) остается высоко актуальной для педиатрии. Среди всех случаев острых респираторных заболеваний (ОРЗ) у детей, на долю часто болеющих приходится 67,7–75%, а среди детей раннего и дошкольного возраста, посещающих организованные коллективы, группа ЧБД может составлять более 40% [1,4]. В структуре заболеваемости детей из группы ЧБД лидирующие позиции занимает патология лимфоэпителиальной глоточной системы (25–50%), причем наиболее распространенной является патология лимфоидной ткани носоглотки [3,5]. Отмечается возрастание роли инфекций, вызванных вирусами цитомегалии, вируса Эбштейна-Бара, герпеса 1-го, 2-го, герпеса 6-го и 8-го типов [2]. Так, 70–90% детей 4-6 летнего возраста имеют достаточно высокий титр вируснейтрализующих антител к вирусу простого герпеса 1-го типа [6]. Эти инфекции у детей часто принимают хроническое течение вследствие персистенции возбудителя и формирования необратимых изменений в органах и системах [7].

Цель исследования: Оценить особенности течения острых респираторных заболеваний у часто болеющих детей с хроническими заболеваниями лимфоидной ткани носоглотки, на фоне герпесвирусного инфицирования.

Объем и методы исследования: Исходя из целей настоящей работы, проведено обследование 40 часто болеющих детей, в возрасте от 4 до 6 лет. Герпесвирусная инфекция подтверждена у всех детей методом иммуноферментного анализа (ИФА), наблюдавшихся амбулаторно с ОРЗ (более 5 раз в год у всех детей), в течение года. Наличие хронического заболевания лимфоидной ткани носоглотки было подтверждено консультацией ЛОР-врача (хронический тонзиллит и аденоидит). Обследуемые дети по характеру адено-тонзиллярной патологии были отнесены к 3 группе здоровья: у 25 детей (62,5%) выявлены хронический тонзиллит и хронический аденоидит и 15 (37,5%) имели только хронический аденоидит.

Результаты: Обследование детей показало, что у большей части (35%) ОРЗ протекало в неосложненной форме (табл.1). В то же время у 17,5% детей наблюдалось обострение хронического тонзиллита или аденоидита. Почти у трети детей (25%) ОРЗ протекало в виде острого (простого) бронхита. Реже среди ЧБД выявлялись: обструктивный бронхит, круп, пневмония.

Таблица 1. Распределение больных герпесвирусным инфицированием по нозологическим формам

Диагноз:	Число детей Абс. (%)
ОРЗ (ринофарингит)	14 (35%)
Острый (простой) бронхит	10 (25%)
Обструктивный бронхит	6 (15%)
Острый стенозирующий ларинготрахеит	2 (5%)
Пневмония	1 (2,5%)
Обострение хронического тонзиллита или аденоидита	7 (17,5%)
Всего:	40 (100%)

Особенностью течения ОРЗ у детей, инфицированных вирусами герпеса, было наличие лимфаденопатии в 82,5% случаев (табл.2). У всех детей острые респираторные заболевания сопровождались гипертермией (выше 38,5 градусов, у части детей до 40 градусов, длительностью

до 3-6 суток). Следует так же отметить, что у почти трети детей (29,7%) отмечалось увеличение печени и селезенки. У половины детей ОРЗ протекало в течении 7-10 дней, у остальных наблюдалось затяжное течение болезни - более 10 дней. Затяжное течение заболевания наблюдалось у 20 (50%) детей имеющих хроническую патологию адено-тонзиллярной системы.

Таблица 2. Клинические симптомы у ЧБД, инфицированные герпесвирусами

Клинические показатели	Число детей	
	Абс.	(%)
Ринит	28	(70%)
Кашель	20	(50%)
Лимфаденопатия	33	(82,5%)
Гипертермия	40	(100%)
Гепатолиенальный синдром	5	(29,7%)
Продолжительность заболевания:		
3 – 6 дней	0	
7 – 10 дней	20	(50%)
>10 дней	20	(50%)

Заключение. Таким образом, проведенное исследование показало, что клиническое течение острых респираторных заболеваний у ЧБД с хроническими заболеваниями лимфоидной ткани носоглотки имело свои особенности. Это касалось как структуры нозологии, так и характера течения заболевания. При составлении плана лечения данной категории пациентов, врач педиатр должен учитывать возможность обострения хронической патологии носоглотки у части детей, с рекомендацией наблюдения у оториноларинголога и назначением соответствующей этиотропной и противорецидивной терапии.

#### Список литературы:

1. Альбицкий В.Ю., Баранов А.А., Камаев И.А., Огнева М.Л. Часто болеющие дети. - Н. Новгород: Изд-во НГМА, 2003; 180.
2. Гарашенко Т.И., Богомильский М.Р., Шишмарева Е.В. Новые подходы к лечению обострений хронического тонзиллита у детей // Детские инфекции. — 2004. — 1. — С.
3. Гарашенко Т.И., Костинов М.П., Ильенко Л.И., Кытько О.В, Гарашенко М.В., Фошина Е.П. Возможности вакцинопрофилактики острых респираторно-вирусных инфекций и обострений рецидивирующих и хронических риносинуситов у часто и длительно болеющих детей // Педиатрия. — 2007. — Т. 09, № 1. — С. 12-18.20.
4. Коровина Н.А., Заплатников А.Л., Чебуркин А.В., Захарова И.Н. Часто и длительно болеющие дети: современные возможности иммунореабилитации. - М.: Контимед, 2001; 68.
5. Острые респираторные заболевания у детей: лечение и профилактика. Научно-практическая программа. - М., 2002; 73.
6. Самсыгина Г.А. Часто болеющие дети: проблемы патогенеза, диагностики и терапии. // Педиатрия. 2005; 1: 66-73.
7. Учайкин В.Ф. Инфекционные болезни. Приоритет - вакцинопрофилактика. // Практика педиатра. 2006; 12: 5-7.

#### Вскармливание детей первого года жизни по данным поликлинического отделения №2

МАУЗ «ДГБ №1» г. Томска

*Цыганкова М.П., Шатрова Н.А.*

ГОУ ВПО Сибирский государственный медицинский университет Росздрава, Россия, г. Томск

[cvp-cnp@mail.ru](mailto:cvp-cnp@mail.ru)

Грудное вскармливание является важным фактором формирования здоровья, оказывает многостороннее влияние на физическое и психическое развитие детей, формирование их поведения, интеллектуальное развитие.

Грудное вскармливание позволяет предупредить развитие ожирения и метаболического синдрома в дальнейшей жизни, снижает риск развития аллергии не только на первом году жизни, но и в дальнейшем.

Материнское молоко является идеальной пищей для грудного ребенка, однако если по каким-либо причинам невозможно грудное вскармливание, то необходимо в питании ребенка

использовать максимально безопасные, качественные и адаптированные молочные смеси, которые максимально приближены к составу грудного молока.

В исследовании проведен анализ вскармливания детей первого года жизни по данным поликлиники №2 города Томска за 2012 год. Доля детей, взятых в исследование, составила 49,8%. Проанализированы были только те амбулаторные карты, которые находились на момент исследования в поликлинике, в распоряжении участкового врача и медицинской сестры.

Подавляющее большинство исследуемых детей (93%) при рождении были сразу приложены к груди матери, что является важнейшим фактором становления лактации.

Все дети были разделены на группы по виду вскармливания. Самая многочисленная из них (79%) – группа детей, находящихся на грудном вскармливании. Вторая по численности группа (15%) – дети, питающиеся искусственными смесями. Третья – дети, получающие смешанное вскармливание (6%).

Во всех возрастных периодах большинство детей находилось на естественном вскармливании. При этом большее их количество (91%) отмечалось в периоде с 9 по 12 месяцев жизни. Это является хорошим показателем и указывает на то, что дети с рождения и практически до года получали грудное молоко. Самый меньший процент выпал на возрастной период от 3 до 6 месяцев (73%). То есть 27% детей этого возраста начали получать искусственную смесь и, соответственно, в таком маленьком возрасте уже были лишены преимуществ грудного молока, а также стали кандидатами на более раннее введение прикорма, что является не самым лучшим вариантом.

При оценке физического развития средняя масса тела преобладала во всех исследуемых группах. Вместе с тем, в группе детей, находящихся на искусственном вскармливании недостаток массы тела встречались чаще, чем при других видах вскармливания. Средний рост преобладал во всех исследуемых группах. Вместе с тем, в группе детей, находящихся на искусственном вскармливании, низкий рост встречался чаще, чем при других видах вскармливания.

Во всех исследуемых группах детей определялись только II А и II Б группы здоровья, причем группа II Б встречалась чаще.

Так как количество детей, находящихся на естественном вскармливании и имеющие группу здоровья II–Б была самая многочисленная, радует тот факт, что эти дети, имеющие неблагоприятный анамнез у матерей и, соответственно, больше факторов риска, все же находятся в лучших условиях, получая материнское молоко.

Подавляющему большинству детей, находящихся на естественном вскармливании, первый прикорм начали вводить в 6 месяцев. Для обеспечения наилучшего роста, развития и здоровья младенцев в течение первых шести месяцев жизни они должны находиться исключительно на грудном вскармливании, то есть получать только грудное молоко. Вовремя введенный прикорм помогает формированию навыков жевания и создает правильные вкусовые привычки. В этом возрасте малышу требуется все больше минеральных веществ – железа, цинка и кальция, а также витаминов, белка, углеводов и пищевых волокон. Кроме того, ребенку необходима и дополнительная энергия — он не только растет, но и начинает тратить калории на совершенствование двигательных навыков.

Детям, находящимся на искусственном вскармливании, уже в 3 месяца ввели первый прикорм. Раннее введение прикорма может спровоцировать срыв в работе пищеварительной системы и развитие аллергической реакции. Слишком ранний ввод прикорма может отразиться и на будущем здоровье ребенка: привести к ожирению, проблемам со стороны дыхательных путей, бронхиальной астме, сахарному диабету.

Основной причиной перевода детей на искусственное вскармливание являлась гипогалактия. На втором месте среди причин стояла болезнь матери и недостаточная прибавка в массе тела у ребенка. На третьем месте – выход матери на работу. На последнем месте – это нежелание матери кормить ребенка и случаи отказа ребенка от груди.

Наиболее подходящую для младенца молочную смесь назначал врач-педиатр, учитывая состояние здоровья малыша и особенности его развития. Все дети получали адаптированные молочные смеси. Чаще всего использовались смеси швейцарской корпорации «Nestle» (Nan, Nestogen) – в половине случаев. Российские смеси фирм «Nutricia» (Малютка), «Нутритек» (Nutrilac) стояли на втором месте, а испанской фирмы «Abbott» – на третьем месте по частоте использования.

В 2009 году Детская поликлиника №2 прошла аттестацию на звание «Больница, доброжелательная к ребенку».

Организация питания детей в поликлинике начинается сразу же после выписки новорожденного из родильного дома. Участковый врач-педиатр и медсестра в течение месяца после выписки из роддома осуществляют патронаж ребенка на дому, дают советы матери по оптимизации грудного вскармливания. В кабинете здорового ребенка рассказывают о преимуществах грудного вскармливания, про питание кормящей женщины, о возможных проблемах, которые могут возникнуть при кормлении грудью и пути их решения, о технике и правилах прикладывания к груди. Раздают памятки, брошюры по грудному вскармливанию.

Поликлиника находится в тесном контакте с Городским центром поддержки грудного и рационального вскармливания, где мамы могут получить всю необходимую информацию по вопросам грудного вскармливания и питания детей раннего возраста. Работает Клуб поддержки кормящих матерей «ЛАКТИМАМА», здесь проводят индивидуальные и групповые занятия по вопросам питания, ухода и воспитания ребенка раннего возраста. При больнице имеется молочная кухня, где дети получают адаптированные смеси, сухие каши, фруктово-овощное пюре, соки.

Два раза в год осуществляется обучение всего медицинского персонала по 18-часовой (40-часовой программе), включая 3-часовое (6-и часовое) практическое обучение по вопросам преимуществ грудного вскармливания, технике грудного вскармливания и консультирования матерей, кормящих грудью.

Таким образом, поликлиническое отделение №2 МАУЗ «ДГБ №1» г. Томска в 2012 году целенаправленно продолжило проводить работу по поддержке Инициативы ВОЗ/ЮНИСЕФ «Больница, доброжелательная к ребенку».

#### Список литературы:

1. Абольян Л.В., Фурцев В.И., Барабаш Н.А. и др. Международная неделя грудного вскармливания 2008 г. в России // Вопросы детской диетологии. – 2009. – № 7 (4). – С. 39-42.
2. Национальная программа оптимизации вскармливания детей первого года жизни в Российской Федерации. – М., 2009. – 53 с.
3. Станкевич, С.С. Микроэлементный состав грудного молока женщин и состояние здоровья их детей, проживающих в условиях современного города / С.С. Станкевич: Автореферат. Диссертация канд. мед. наук. – Томск, 2010 г. – 23 с.
4. Яворская, О.В., Завадская А.Ф., Перфильева Ф.А. Некоторые результаты работы детского центра рационального питания // Вопросы детской диетологии. – 2009. – № 7 (2). – С 58-61.
5. УДК 616.24-007.272:612.21

#### Кандидатные параметры в гомеостатические величины аппарата внешнего дыхания у больных хроническим необструктивным бронхитом в сочетании с пневмофиброзом

*О.В. Якис\*, А.И. Карзилов\*\*, Ф.Ф. Тетенов, О.В. Калинина*

*Сибирский государственный медицинский университет, г. Томск, Россия*

*E-mail: ollgea@mail.ru\*, karzilov@mail.ru\*\**

Анализ гомеостатических показателей биомеханики дыхания выявил, что у лиц с хроническим необструктивным бронхитом и пневмофиброзом была повышена только эластическая фракция работы дыхания на уровне минутного объема дыхания.

Введение. С позиции механизмов обеспечения биомеханического гомеостаза аппарата внешнего дыхания важным вопросом физиологии дыхания является изучение устойчивости регуляции дыхания у здоровых людей и при патологии [1]. Карзиловым А.И. была предложена методология исследования гомеостатических показателей биомеханики дыхания у здоровых людей, больных бронхиальной астмой и хроническим обструктивным бронхитом [1,2]. Автор выявил параметры с жесткой и пластичной регуляцией и рассчитал индекс гомеостатичности этих показателей [1,2]. Чем выше балл (индекс гомеостатичности), тем жестче регуляция у данного гомеостатического параметра. Хронический бронхит (ХБ) является наиболее распространенным заболеванием из группы хронических неспецифических заболеваний легких, где составляет почти 90%. Закономерным исходом хронической патологии органов дыхания является развитие пневмофиброза [3]. Кандидатные же параметры в гомеостатические величины аппарата внешнего дыхания у больных хроническим необструктивным бронхитом в сочетании с пневмофиброзом раньше не изучались. Исследование состояния вентиляционной функции аппарата внешнего дыхания у данной категории лиц весьма важно как для формирования представления о

биомеханических процессах дыхания, так и для изучения патогенеза заболеваний респираторной системы [4,5].

Цель работы. Оценить кандидатные параметры в гомеостатические величины аппарата внешнего дыхания у больных хроническим необструктивным бронхитом в сочетании с пневмофиброзом.

Материалы и методы исследования. Исследуемые лица – здоровые (20 муж., сред. возраст – 20, 2 года), больные ХБ (40 муж., сред. возраст – 49,0 лет). Диагноз ХБ устанавливался на основании общепринятой классификации и критериев [4]. Индекс курения составил 19,0 сигарет/день, стаж курения – 27,0 лет. Средняя продолжительность заболеваний бронхолегочной системы составила 7,2 года. Частота обострений ХБ в год в среднем была 1 – 3 раза. Рентгенологически выраженный пневмофиброз диагностировали у 34 человек, у остальных 6 – умеренный.

Функцию внешнего дыхания исследовали при помощи плетизмопрессографа постоянного объема (Erich Jaeger, Германия); биомеханические свойства легких – при помощи пневмотахографа («Медфизприбор», г. Казань) по кривым объема и транспульмонального давления на уровне спонтанного и форсированного дыхания, при дыхательных маневрах. Были проанализированы несколько десятков параметров вентиляции легких, разделенных на группы, характеризующие интегральную оценку вентиляционной и биомеханической функции аппарата внешнего дыхания; эластические и неэластические свойства легких; внутрилегочный гистерезис; давление, воздействующее на поверхность легких. Проводили сравнительный непараметрический дисперсионный анализ Крускала-Уоллиса с уровнем значимости параметров –  $p < 0,05$ . Исходя из полученных результатов была проведена итоговая оценка кандидатных гомеостатических параметров биомеханики аппарата внешнего дыхания (АВД).

Результаты и обсуждение. Анализ вышеуказанных параметров вентиляции легких показал снижение адаптационных резервов дыхательной мускулатуры на уровне максимальной вентиляции легких (МВЛ) у больных хроническим бронхитом в сочетании с пневмофиброзом, о чем мы излагали ранее [6,7,8]. Выявленное напряжение функционирования механизмов гомеостатического обеспечения биомеханических свойств легких в группе с ХБ потребовало изучения всех показателей – кандидатов в гомеостатические величины у данной категории больных (таблица 1).

Таблица 1. Данные сравнительного анализа значений показателей – кандидатов в гомеостатические величины между группами здоровых лиц (1-ая группа) и больных ХБ (2-ая группа),  $M \pm m$

	Показатели	Здоровые лица (1) n= 20	Больные ХБ (2) n=40	p 1 - 2
10б	IPС, л·кПа-1	1,40 ± 0,12	1,48 ± 0,27	---
10б	Pv/Pvm	0,29 ± 0,02	0,45 ± 0,03	---
9б	Tca/Tcp	1,31 ± 0,04	1,50 ± 0,04	---
9б	IA/IAm	0,85 ± 0,06	0,84 ± 0,07	---
8б	IPVE, кгм·л-1	0,26 ± 0,4	0,21 ± 0,3	---
8б	Aec, кгм	0,01 ± 0,005	0,03 ± 0,006	$p < 0,05$
8б	Cd/Cs	1,09 ± 0,11	0,72 ± 0,10	---
8б	V, л·мин-1	10,3 ± 1,7	11,4 ± 1,8	---
8б	Arm, кгм·л-1	0,26 ± 0,06	0,24 ± 0,06	---
8б	ITm, кгм·л-1	0,13 ± 0,04	0,11 ± 0,03	---
7б	IT/ITm	0,09 ± 0,02	0,18 ± 0,04	---
7б	Pvm, кПа	0,96 ± 0,11	0,97 ± 0,10	---
6б	IA	0,42 ± 0,04	0,39 ± 0,03	---
6б	Ht, кгм	0,02 ± 0,01	0,03 ± 0,01	---
5б	L, (л2+кПа2)0,5	0,84 ± 0,03	0,96 ± 0,04	---

IPС, л·кПа-1 – оригинальный интегральный показатель растяжимости легких; Pv/Pvm – отношение значений транспульмонального давления, определенных на высоте вдоха при спокойном дыхании (Pv) и максимальной вентиляции легких (Pvm); Tca/Tcp – отношение фактической постоянной времени (Tca) к должной (Tcp); IA/IAm – отношение значений

инспираторной активности вдоха при спокойном и форсированном дыхании;  $IPVE$ ,  $\text{кгм}\cdot\text{л}^{-1}$  – оригинальный интегральный показатель эффективности вентиляции легких;  $Cd/Cs$  – отношение динамической растяжимости легких к статической;  $V$ ,  $\text{л}\cdot\text{мин}^{-1}$  – минутный объем дыхания (МОД);  $Arm$ ,  $\text{кгм}\cdot\text{л}^{-1}$  – величина удельной работы дыхания на уровне МВЛ;  $ITm$ ,  $\text{кгм}\cdot\text{л}^{-1}$  – оригинальный индекс напряжения дыхательной мускулатуры на уровне МВЛ;  $IT/ITm$  – отношение значений напряжения дыхательной мускулатуры при спокойном и форсированном дыхании;  $Pvm$ ,  $\text{кПа}$  – величина транспульмонального давления (ТПД) на уровне МВЛ;  $IA$  – индекс инспираторной активности;  $Ht$ ,  $\text{кгм}$  – величина внутрилегочного гистерезиса на уровне МОД;  $L$ ,  $(\text{л}^2+\text{кПа}^2)^{0,5}$  – эластическая ось дыхательной петли на уровне МОД – оставались в пределах нормальных величин.

Как мы видим, из всех показателей у лиц с ХБ была повышена только эластическая фракция работы дыхания на уровне МОД Аес ( $0,03\pm 0,006$   $\text{кгм}$ ;  $0,01\pm 0,005$   $\text{кгм}$ ;  $p<0,05$ ). По общепринятому представлению о значении изменения показателей эластического напряжения легких при обструктивных и рестриктивных заболеваниях легких, это может быть объяснено наличием пневмофиброза [5,7].

Выводы. Малая изменчивость гомеостатических показателей биомеханики дыхания у больных хроническим необструктивным бронхитом в сочетании с пневмофиброзом соответствует основной концепции биомеханического гомеостаза аппарата внешнего дыхания [1,2].

#### Список литературы:

1. Карзилов А.И. Биомеханический гомеостазис аппарата внешнего дыхания и механизмы его обеспечения/ А.И. Карзилов// Бюллетень сибирской медицины. – 2007. – №1. – С.13-38.
2. Карзилов А.И. Регуляторное обеспечение устойчивости биомеханики дыхания при обструктивных заболеваниях легких: Автореф. дисс...д-ра мед. наук. – Барнаул, 2009. – 39с.
3. Пульмонология: руководство (клинические рекомендации) / Под ред. А.Г. Чучалина. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2007. – 240 с.
4. Тетенов Ф.Ф. Биомеханика дыхания/ Ф.Ф. Тетенов.- Томск: Изд-во Том. ун-та, 1981.- 145с.
5. Тетенов Ф.Ф., Бодрова Т.Н., Тетенов К.Ф., Карзилов А.И., Левченко А.В., Калинина О.В. Исследование функции аппарата внешнего дыхания. – Томск, 2008. – 164с.
6. Якис О.В., Карзилов А.И., Тетенов Ф.Ф. Биомеханические аспекты обеспечения вентиляционной функции аппарата внешнего дыхания у больных хроническим бронхитом в сочетании с пневмофиброзом. - XVI Всероссийская научно-техническая конференция «Энергетика: эффективность, надежность, безопасность», Томск, Россия, 8-10 декабря, 2010г., С. 269-270.
7. Якис О.В., Карзилов А.И., Тетенов Ф.Ф. Биомеханические аспекты гомеостатического обеспечения неэластических свойств аппарата внешнего дыхания у больных хроническим бронхитом в сочетании с пневмофиброзом. – XVII Всероссийская научно-техническая конференция «Энергетика: эффективность, надежность, безопасность», Томск, Россия, 7-9 декабря, 2011г., С. 397-398.
8. Якис О.В., Карзилов А.И., Тетенов Ф.Ф. Показатели внутрилегочного гистерезиса и транспульмонального давления у больных хроническим необструктивным бронхитом в сочетании с пневмофиброзом. – XVIII Всероссийская научно-техническая конференция «Энергетика: эффективность, надежность, безопасность», Томск, Россия, 5-7 декабря, 2012г., С. 393-395.

#### Сопоставительный анализ методов термического воздействия на бетонную смесь

**Голдаев С.В., Шерина А.Е.**

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет ЭНИИ, Россия г. Томск*

E-mail: [SVGoldaev.tpu@ru](mailto:SVGoldaev.tpu@ru)

В связи с увеличением объема промышленного и гражданского строительства продолжает оставаться актуальной экономия ресурсов в технологии бетонирования конструкций. При среднесуточной температуре воздуха  $+5^{\circ}\text{C}$  и минимальной  $0^{\circ}\text{C}$  не допускается укладка бетона с температурой ниже  $+5^{\circ}\text{C}$ . Одно из перспективных направлений в сокращения времени твердения бетона, достигающего при нормальных условиях 28 суток, является использование эффективных устройств для термического воздействия на бетон.

Цель доклада – сравнение вариантов термического воздействия.

Для ускоренного процесса твердения бетона в производственных условиях применяют обработку паровоздушной смесью [1]. При этом воздействие может осуществляться за счет непосредственного контакта теплоносителя с поверхностями изделий, или через стенку. По графику потребления пара они делятся на установки непрерывного и периодического действия. На большинстве заводов железобетонных конструкций применяются в основном установки периодического действия с контактным способом передачи теплоты: различные камеры: пропарочные, тупиковые и проходные туннельные и др. Пар подается от местных отопительно-производственных котельных, что свидетельствует об энергоемкости процесса, затем осуществляется его смешение с образованием паровоздушной смеси с температурой менее 373 К. Причем от содержания воздуха в паровоздушной смеси зависят ее температура и теплоотдача к поверхности конструкции, а, следовательно, равномерность и степень ее нагрева. Для решения подобной задачи разработана парозежекционная система, с помощью которой отработавший теплоноситель удаляется из нижней части камеры и подается в верхнюю с добавлением свежего пара. Многолетняя эксплуатация показала, что удается снизить удельный расход пара на 15...35%. При этом обеспечивается равномерный прогрев изделий по всему объему камеры, сокращается на 2...4 часа время термообработки [1].

В работе [2] отмечено, что процесс твердения бетона в рамках данного способа термического воздействия обусловлен экзотермической реакцией гидратации цемента за счет связанной воды. Тепловыделение этой реакции экспоненциально зависит от температуры бетона. В результате упрощения трехмерной постановки задачи создана инженерная методика ее решения. Рассмотрен нагрев изделия в камере, с одного конца которой подается пар под давлением, а в другом торце камеры стоит вентилятор. На основе теплового расчета подобран диаметр труб для подвода пара к камере, дроссельные диафрагмы, регуляторы давления и температуры и т.д. Анализ результатов расчетов показал, что для уменьшения расхода теплоты при паровой обработке бетона в камере необходимо увеличение толщины стен и коэффициента заполнения камеры. Предложено для завершения полной гидратации цемента бетонного изделия при паровой обработке в качестве подложки использовать теплоизоляционный материал.

Как отмечено в монографии [3], технология изготовления бетона дорога и несовершенна. Слишком велики затраты энергии, труда, цемента и металла. А главное, пропаривание изделий не столько ускоряет твердение, сколько нарушает структуру бетона и конструкций.

Бетонирование с энергообработкой смеси лишено этих недостатков. В [3] описано четыре разработанных технологии, три из которых доведены до массового практического применения. Основное достоинство бетонирования с электроразогревом смеси – укладка бетона при температуре воздуха ниже  $-20^{\circ}\text{C}$ .

Электротермосное бетонирование основано на простом подогреве смеси в обычных строительных бункерах с термосным выдерживанием бетона с целью сохранения теплоты. Своевременный термоимпульс (до схватывания смеси) резко повышает температуру и парообразование. Пар, глубже проникая в зерна цемента, интенсифицирует реакции, в сотни раз сокращая время термообработки бетона.

В настоящее время этот метод используется для массивных конструкций и на слабом морозе.

Электроимпульсное бетонирование заключается во внесении мощного электротеплового импульса в бетонную смесь, который на три порядка выше мощности традиционного электропрогрева бетона, преодолевает энергетический барьер, вызывая элетрогидравлические удары и самопроизвольные реакции с ионизацией и магнетизацией смеси. Внесение теплоты в цемент приближает коэффициент использования энергии к единице. Такой импульс создается установками с электродами, погружаемыми непосредственно в кузов автосамосвала. Благодаря такой технологии стало возможным выдерживать бетон в неутепленной стальной или деревянной опалубке и зимой.

Расходы энергии при электроимпульсном бетонировании по сравнению с традиционными методами термообработки снизились в 1,5...3 раза, а по сравнению с паропрогревом бетона – в 6 раз. КПД с 0,27...0,45 достиг 0,69. Недостатком его является потребность в значительной трансформаторной мощности, порядка 300...400 кВт, циклический разогрев смеси [3].

При виброэлектробетонировании смесь подвергается виброразогреву в трубе без последующих вибрации, прогрева и перегрузок [3]. Такая технология заключается в следующем. Бетонная смесь из автобетоновозов поступает непосредственно в горловину виброэлектрореактора. В нем используются трубчатые электроды, обжимающие коаксиально электросердечник, внутри которого проходит кабель. На заводах и полигонах



виброэлектрореактор подвешивался к бетоноукладчику или каркасу, движущемуся по рельсам, между которыми располагались формы.

Благодаря кинетическому внесению энергии в процессе непрерывного движения совмещается большинство операций и устраняются простои, что приводит к сокращению трудозатрат, а также деаэрирует и гомогенизирует бетонную смесь.

По сравнению с традиционным электропрогревом трудозатраты сократились в 2...3 раза за счет исключения пропаривания и вибрирования на виброплощадках [3].

Синэргобетонирование отличается тем, что смесь дополнительно барботируется в магнитной пароионной среде, что дает возможность обойтись без бетономешалок. В настоящее время такая технология отрабатывается в лабораторных условиях [3].

Рациональная область бетонирования – среднемаассивные конструкции и изделия, особенно продуктивна энергообработка в экстремальных условиях: на сильном морозе, при укладке на мерзлое основание, в насыщенные грунты.

Использование транспортирующих труб, представляющих собой динамические системы для непрерывной электрообработки бетонных смесей перед укладкой их в опалубку или форму, является одним из перспективных направлений в технологии бетонирования конструкций различного назначения [4,5]. Разработан комплекс мероприятий по управлению параметрами электроудара, который был рекомендован в инженерную практику создания и внедрения в производство динамических систем непрерывной электрообработки бетонных смесей – транспортирующих труб [4,5]. Как отмечено в диссертации [6], предыдущие исследования по непрерывной электрообработке не отвечали требованиям надежности. В частности, имели место локальные перегревы смеси и электродов в устройствах непрерывного действия. Для отсутствия зон локального перегрева бетонной смеси в коаксиальном устройстве непрерывного электроразогрева подачу бетонной смеси в межэлектродное пространство и выпуск предложено осуществлять под прямым углом к продольной оси устройства, а торцы внутреннего и внешнего электродов заглублять в электроизоляционные элементы.

Отличительной особенностью процесса электромагнитной обработки является относительно равномерное выделение теплоты во всем объеме бетона за счет превращения электрической энергии в теплоту в ферромагнитной опалубке и арматуре изделий, т.е. имеет место наличие как внешних, так и внутренних, практически равномерно распределенных, источников теплоты [7]. В реальных условиях теплообмена с окружающей средой образуется поле температур, которое создает поле влагосодержания. Внешнее магнитное поле изменяет структуру и свойства бетонных растворов, перераспределяет плотности электронных облаков, а также поляризует молекулы воды. Однако в практике строительства, использование электромагнитного воздействия сводилось в основном к индукционному нагреву и использованию омагниченной воды затворения, непостоянство химического состава которой приводило к большой нестабильности получаемых результатов. В работе [8] показано, что при электромагнитном способе подвода теплоты осуществляется более равномерное распределение полей температуры, чем при паротепловой термообработке.

Таким образом, можно отметить, что ни один из перечисленных методов термической обработки бетона не является универсальным, в связи с тем, что они требуют различного аппаратного оформления и применимы либо в заводских условиях, либо на строительной площадке. Дальнейшие исследования по каждому из способов позволят выявить наиболее эффективные режимы эксплуатации.

#### Список литературы:

1. Цветков В.В. Повышение эффективности пароснабжения заводов железобетонных конструкций // Промышленная энергетика. – 1989. – №9. – С. 18–21.
2. Численное решение задачи теплообмена при тепловой обработке бетона // А.М. Гришин, В.В. Трофимов, Н.С. Шулев, А.С. Якимов. // Инженерно-физический журнал. – 1992. – Т. 62, №4. – С. 608–616.
3. Арсеньев А.С. От электротермоса к синэргобетонированию – Владимир: Изд-во ГТУ – 1996. – 272 с.
4. Пшонкин Н.Г. Технология бетонирования с комплексной обработкой смесей в динамических системах // Автореф. дисс. д-ра. техн. наук. – 2006. – 38 с.
5. Пшонкин Н.Г. Электротермообработка бетонных смесей в транспортирующих трубах: Монография. – Новокузнецк: СибГГМА. – 1997. – 160 с.
6. Южаков И.В. Совершенствование технологии непрерывного электроразогрева бетонной смеси – Автореф. дисс. к.т.н. – Томск, 2009. – 30 с.

7. Волосян Л.Я., Чернышев И.В. Аналитическое исследование процесса тепло- и массопереноса в кинетике твердения бетона при тепловой обработке в электромагнитном поле// Инженерно-физический журнал. –1970. –Т. 18, №2. –С. 286-292.
8. Параметры внутреннего переноса в процессе твердения при различных способах тепловлажностной обработки мелкозернистого бетона// А. Г. Темкин, Л. Я. Волосян, В. П. Журавлева, Е. Е. Элимелах. // Инженерно-физический журнал.–1971.–Т.20, № 1.–С. 140–147.

### **Оптимизация энергопотребления обогатительными процессами горно-металлургической промышленности**

**Камалов Т.С., Ишназаров О.Х.**

*Институт энергетики и автоматики АН РУз., Узбекистан, г. Ташкент*

Одним из основных составляющих технологии переработки полезных ископаемых – обогатительный процесс, который является самым энергоемким и трудоемким процессом. Расход энергоресурсов на обогатительный процесс полезных ископаемых составляет более 2/3 от общих энергозатрат горно-металлургических предприятий, что определяет необходимость ее экономии.

В связи с этим приобретает особое значение комплекс вопросов, связанных с разработкой моделей оптимального энерго- и ресурсосберегающего управления, которые предполагают решения комплекса взаимосвязанных вопросов.

Важнейшим направлением в решении этих вопросов является оптимизация и прогноз потребления энергоресурсов отдельными технологическими механизмами, группами механизмов на основе совершенствования технологических процессов и операций, а также определении оптимальных режимов работы технологического оборудования.

Для выполнения поставленной задачи оптимизации режима работы процесса обогащения руды используем генетический алгоритм (ГА).

Генетический алгоритм представляет собой метод, отражающий естественную эволюцию методов решения проблем и, в первую очередь, задач оптимизации. Генетические алгоритмы — это процедуры поиска, основанные на механизмах естественного отбора и наследования. В них используется эволюционный принцип выживания наиболее приспособленных особей. Они отличаются от традиционных методов оптимизации несколькими базовыми элементами.

В частности, генетические алгоритмы: обрабатывают не значения параметров самой задачи, а их закодированную форму; осуществляют поиск решения исходя не из единственной точки, а из их некоторой популяции; используют только целевую функцию, а не ее производные либо иную дополнительную информацию; применяют вероятностные, а не детерминированные правила выбора [1].

Обладая значениями номинальной и фактической производительности ( $Q$ , тонн) за время ( $t$ , час), установленной и фактической мощности ( $P$ , кВт), плотности пульпы ( $p$ , кг/м<sup>3</sup>) можно определить расход электроэнергии за время промежутков времени.

Фактическая производительность ( $Q$ , тонн) и расход электроэнергии ищутся генетическим алгоритмом, используя паспортные значения как начальную точку отсчета. Предлагается использовать канонический ГА. В качестве генов хромосом ГА следует использовать значения потребляемой мощности.

Показывается целесообразность применения ГА при оптимизации обогатительного процесса горно-металлургического процесса. Предлагаемый метод оптимизации позволяет во многом упростить процесс моделирования, а варьирование внешними воздействиями обеспечивает получение энергосберегающих режимов работы обогатительными процессами.

#### **Список литературы:**

1. Рутковская Д., Пилинский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы: Пер. с польск. И. Д. Рудинского. - М.: Горячая линия -Телеком, 2006. - 452 с.

**Об использовании силикагелей для повышения долговечности котельного оборудования****Голдаев С.В., Хушвактов А.А.\****Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск**\*Таджикский технический университет, г. Душанбе, Таджикистан.**SVGoldaev@tpu.ru*

Котельные агрегаты (КА) могут находиться в одном из четырех оперативных состояний: работе, резерве, ремонте или консервации [1]. Как отмечено в ряде исследований, коррозия теплоэнергетического оборудования (ТЭО) возникает из-за использования воды, не отвечающей нормативным требованиям [2 – 4].

В монографии [2] описано использование жаростойких покрытий в КА для защиты их элементов от коррозии и интенсивного окисления.

Опыт эксплуатации ТЭО показывает, что при отсутствии консервации или некачественном её проведении, конденсация влаги во время останова со снижением давления среды до атмосферного и попадании во внутренний объем кислорода воздуха вызывает атмосферную коррозию углеродистой стали (САК). При этом на внутренней поверхности металла образуются язвы и накапливаются продукты коррозии, что в период продолжающейся эксплуатации оборудования может привести к отказу. Кроме снижения долговечности, возрастают материальные потери, и повышается уровень загрязнения окружающей среды [4].

В отсутствии консервации при простое коррозии могут подвергаться участки барабанных котлов. При последующих пусках окислы железа концентрируются в питательной воде, откладываются в теплонапряженных зонах испарительной системы, являясь очагами подшламовой, щелочной и пароводяной коррозии [5].

Согласно оценкам в результате коррозии теряется в виде продуктов окисления 2–3% годового производства стали, около 15% этих потерь можно исключить, регулярно применяя современные технологии противокоррозионной защиты [4].

Для предотвращения контакта внутренних металлических поверхностей КА с кислородом воздуха возможно применение различных ингибиторов (гидразин, гидразинноаммиачные и нитритноаммиачные растворы и др.), создающих защитные пленки, равномерно покрывающие все участки поверхностей оборудования [5,6].

Однако, из-за высокой стоимости, применение, например, октадециламина целесообразно только при выводе КА в длительную консервацию. Для исключения попадания ингибиторов в машинный зал требуется герметизация консервируемого оборудования [7]. Консервация КА с помощью различных растворов химических реагентов широко применяется в мировой и отечественной практике. Однако такие методы предусматривают и дополнительные затраты на нейтрализацию растворов после их использования [7]. Использование деаэрированной воды возможно только при выводе КА в резерв или ремонт на срок до 10 суток. Консервация нейтральным газом с последующим поддержанием избыточного давления (5...10 кПа) предотвращает доступ наружного воздуха, но она является дорогостоящей из-за наличия большого числа мест возможных утечек газа и сложности их уплотнения [7].

В период простоя оборудования наиболее подвержены коррозии места, где на поверхности деталей и узлов, изготовленных из углеродистой стали, накапливались соли, представляющие повышенную коррозионную опасность из-за высокой электролитической проводимости. Понижение относительной влажности воздуха ( $\varphi$ ) во внутреннем объеме консервируемого оборудования и поддержание ее ниже 40% на весь период простоя достигается путем постоянной или периодической продувки внутренних каналов и полостей воздухом, имеющим пониженную влажность [7].

Снижение относительной влажности воздуха может быть достигнуто: 1) нагреванием и 2) осушением. Принимая во внимание, что масса одного КА может составлять десятки тонн, то для повышения температуры его корпуса на несколько градусов потребуются большие затраты тепловой энергии, поставляемой подогретым воздухом [7]. В ходе экономического обоснования разрабатываемых схем воздушной консервации ТЭО диссертантом [4] не приведены затраты на предварительный подогрев воздуха и полученная экономия от реализации этих установок требует корректировки.

В нормативных документах предписывается консервация оборудования подогретым воздухом при простоях до полугода, а осушенным – более полугода. Возможно, такие рекомендации не учитывают возрастающую цену на электроэнергию, и поэтому упомянутый метод до сих пор применяется на практике. По мнению авторов работы [7], использование

подогретого воздуха для консервации ТЭО является неоправданным как с технической, так и с экономической точек зрения. Исключением могут быть случаи, когда оборудование начинает консервироваться сразу после выведения из эксплуатации в горячем состоянии.

Аналогичный вывод был сделан в работе [8] при анализе способов поддержания в складских помещениях относительной влажности воздуха на заданном уровне. Отмечено, что для ее снижения использование предварительного нагрева воздуха связано с неоправданно большим расходом энергии.

Эффективным является снижение влажности воздуха путем его осушения. Элементы ТЭО предварительно дренируются, с помощью трубопроводов подключаются к воздухоосушительной установке консервации. Осушенный воздух подается по воздуховодам во внутренние полости объекта консервации, ассимилирует водяные пары и вытесняется вместе с ними наружу через дренажи. Снижение  $\varphi < 40\%$  гарантирует практически нулевую скорость электрохимической коррозии металла [7].

На практике для осушения воздуха применяются: 1) холодильный контур в конденсационном осушителе [7], и 2) сорбционный осушитель, где  $\varphi < 15\%$ . При абсорбции водяные пары из воздуха поглощаются растворами солей благодаря растворимости воды в абсорбентах. Недостатком таких установок является опасность уноса солевого раствора потоком осушаемого воздуха и его последующего оседания на металлических поверхностях, что может привести к дополнительной коррозии металла.

Наиболее подходящим методом осушения воздуха для консервации ТЭО является его адсорбционное осушение с помощью твердых сорбентов, поглощающих водяные пары развитой пористой поверхностью.

В адсорбционном осушителе, глубина осушения воздуха определяется степенью насыщенности сорбента влагой, толщиной его слоя, параметрами воздуха перед осушителем и др., и в зависимости от этих условий может приближаться к нулевой влажности. При повышении температуры равновесное парциальное давление водяного пара над адсорбентом падает, происходит десорбция влаги и ее вынос регенерирующим потоком. Недостатки двухадсорберных установок: необходимость переключения адсорберов и соответственно наличие для этой цели автоматических устройств, а также превышение продолжительности процессов адсорбции над десорбцией [7].

Аналогичный принцип осушения воздуха в роторных осушителях, однако, его конструкция позволила: 1) разместить на одном роторе осушающую и регенерирующую части; 2) исключить переключающую арматуру и автоматические устройства, из-за чего осушитель стал и компактнее и дешевле.

В короткоцикловых безнагревных двухадсорберных установках осушение воздуха происходит при высоком давлении в одном адсорбере, а десорбция влаги осуществляется при низком давлении в другом. Однако в таких установках требуется сжатие воздуха компрессором, поэтому: 1) удельные энергозатраты на  $1 \text{ м}^3$  осушенного воздуха примерно втрое выше, чем в традиционных адсорбционных установках; 2) при сжатии в компрессоре воздух нагревается, что приводит к повышению температуры сорбента и к снижению его влагопоглощающих свойств; 3) возрастает вероятность выхода из строя переключающих клапанов. При сопоставимой стоимости и затратах на обслуживание, установки на базе компрессора имеют низкие производительности по осушенному воздуху, следовательно, требуется привлекать несколько установок [7].

Консервация ТЭО осушенным воздухом будет успешной в тех случаях, когда производительность соответствующих установок обеспечивает необходимую кратность воздухообмена. Например, для эффективной консервации: емкостей (деаэраторы, баки питательной воды, бойлеры и пр.) достаточно иметь 2,5–3-кратный воздухообмен в час, турбин – 5...10, пароводяной стороны котлов – 6...15 [7].

Вне зависимости от типа ТЭО осушенный воздух позволяет производить консервацию оборудования на срок – от одной недели до полугода и более.

В адсорбционных осушителях сжатого воздуха активно применяются: силикагель, алюмогель и цеолит, с помощью которых осуществляется поглощение влаги [9].

Процесс насыщения силикагелей влагой в статических условиях характеризуется малой скоростью. Длительность полного насыщения при комнатной температуре мелкопористых силикагелей составляет 40 ч, среднепористых – 50 ч и крупнопористых – 75 ч, а отработка адсорбционной емкости на 50% достигается за 8, 10 и 22 ч, соответственно [10].

При  $\varphi < 55...60\%$ , максимальной адсорбционной способностью по парам воды обладает мелкопористый силикагель. В интервале  $\varphi$  от 60 до 90% преимущество перед силикагелями

других типов имеет среднепористый силикагель [10]. У крупнопористого силикагеля влагоемкость при  $\varphi = 100\%$  и температуре  $20^\circ\text{C}$  равна  $70\%$  [9].

В работе [11] приведены результаты экспериментального определения остаточного содержания влаги в осушенном атмосферном воздухе, сжатым до избыточного давления  $0,6$  МПа. Линия нагнетания компрессора была снабжена отделителем капельной влаги. Использовался силикагель марки «АСМК». Опыт продолжался  $70$  часов, при этом показания гигрометров достигли фоновых значений.

Таким образом, с помощью силикагеля может быть осуществлена полная осушка влажного воздуха.

Приближенный расчет массы среднепористого силикагеля  $M_c$  для консервации КА, имеющего вместимость  $V_b$ , выполнялся на основе практики проведения осушки в статических условиях [9, 10]. Воздух имеет параметры:  $\varphi_1$  и  $T_{b1}$ . По техническим условиям консервации, для предотвращения образования налета ржавчины КА должен находиться при влажности  $\varphi_2 \approx 30\%$  и температуре  $T_{b2}$ . Принимаем поглощающую способность  $1$  кг силикагеля, равной  $M_{ps}$  воды.

Удельное влагосодержание при  $\varphi_1$  находится по формуле [12]

$$d_1 = 0,622 p_{v1} / (p_b - p_{v1}), \quad (1)$$

где  $p_{v1} = \varphi_1 p_s$  – парциальное давление пара при относительной влажности  $\varphi_1$ .

Давление насыщения является функцией температуры и может быть найдено с помощью таблиц свойств воды и водяного пара. Для автоматизации методики расчета удобнее использовать аппроксимационную зависимость, имеющую вид [12]

$$p_s = 10^{10,95 - 2224/T_b}. \quad (2)$$

Аналогично вычисляется удельное влагосодержание при  $\varphi_2$  –

$$d_2 = 0,622 p_{v2} / (p_b - p_{v2}).$$

Здесь  $p_{v2} = \varphi_2 p_s$  – парциальное давление пара при относительной влажности  $\varphi_2$

Количество воды, удаляемое из  $1$  кг воздуха

$$\Delta d = d_1 - d_2. \quad (3)$$

Масса воздуха, заполняющего свободное пространство в КА, находится из уравнения состояния идеального газа

$$M_b = p_b V_b / R_b T_{b1}.$$

Масса воды, которую требуется поглотить

$$\Delta M_w = M_b \Delta d. \quad (4)$$

Тогда необходимая масса адсорбента

$$M_c = \Delta M_w / M_{ps}. \quad (5)$$

Результаты расчетов показали, что для осушения  $10 \text{ м}^3$  воздуха, имеющего  $80\%$  относительной влажности до  $\varphi_2 = 30\%$ , требуется примерно  $0,7$  кг силикагеля при влагоемкости  $20\%$ . Если необходимо осушить воздух, занимающей свободное пространство большей вместимости, например,  $50 \text{ м}^3$ , достаточно в  $5$  раз увеличить  $M_c$ .

Такого типа силикагели выпускаются промышленностью в крупнотоннажном масштабе. Для поддержания влажности в частично герметичном объеме сухой силикагель в мешочках из ткани распределяется по контролируемому объему [9,10]. Поскольку он имеет низкую цену [4], то можно его не подвергать десорбции, а заменять новой порцией.

Несмотря на то, что в последние годы развивается направление с использованием адсорбционных процессов в кристаллических сорбентах-цеолитах, силикагель не потерял своего промышленного значения, о чем свидетельствует рост спроса на него.

#### Список литературы:

1. Акользин, А. П. Контроль коррозии металла котлов / А. П. Акользин. – М.: Энергоатомиздат, 1994. – 240 с.
2. Троянский, Е. А. Повышение долговечности элементов котельного оборудования / Е. А. Троянский, В. Н. Чоловский. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 80 с.
3. Сутоцкий, Г.П. Повреждение энергетического оборудования, связанного с водно-химическим режимом – С-Петербург.: Изд-во НПО ЦКТИ, 1992. – 256 с.
4. Полевич А. Н. Разработка, исследование и внедрение процессов и схем воздушной консервации теплоэнергетического оборудования: Дис... канд. тех. наук – Москва, 2001. – 137 с.

5. Шатова, И. А. Совершенствование защиты от стояночной коррозии углеродистой стали котлов на основе применения ингибиторов октадециламина и М-1: дис. ... канд. техн. наук: – Иваново, 2005. – 148 с.
6. Верховский, А. Е. Исследование процессов коррозии энергетического оборудования электростанций, изготовленного из нержавеющей стали: дис. ... канд. тех. наук: – Москва, 2006. – 116 с.
7. Вишневский Е.П., Чепурин Г.В. Консервация осушенным воздухом //Сантехника. Отопление. Кондиционирование – 2010 – №5 – С. 8–12.
8. Лепявко А. П. Разработка осушителя воздуха //Холодильная техника – 2000. –№12. – С.14–15.
9. Серпионова Е.Н. Промышленная адсорбция газов и паров /2-ое изд., пер. и доп. – М.: Высш. школа, 1969 – 416 с.
10. Кельцев Н. В. Основы адсорбционной техники. /2-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1984. – 592 с.
11. Остаточное содержание влаги в воздухе, осушенным силикагелем/В.С. Морозов, Е.В. Морозов, С.В. Вихрова и др. //Технические газы – 2005 – №6 – С. 34–36.
12. Теплотехника: учеб. для вузов/В.Н. Луканин, М.Г. Шатров, Г.М. Камфер и др.; под ред. В.Н. Луканина – М.: ИВысш. шк., 2009 – 671 с.

**Использование в промышленности золошлаковых отходов теплоэлектростанций,  
работающих на углях**

**Крушенко Г.Г.**

*Институт вычислительного моделирования СО РАН, Россия, г. Красноярск*

Начиная с 20-х годов прошлого столетия, когда на теплоэлектростанциях (ТЭС) для получения электроэнергии началось широкое использование углей, в мире скопились миллионы тонн продуктов их сжигания в виде золошлаковых отходов (ЗШО), которые представляют собой высокодисперсный песчано-пылевой материал с большой удельной поверхностью, состоящий из частиц золы-уноса, находящихся в дымовых газах, и шлаков, образовавшихся в топочной камере [1]. В настоящее время ежегодный прирост ЗШО составляет около 600 млн. тонн, что является серьезной проблемой, как в технологическом, так и в экологическом аспектах. Причем утилизация ЗШО с целью получения из них какой-либо продукции в мире в среднем от накопленного объема составляет всего около 16 %. [2]

Проблема утилизации ЗШО актуальна и для России – в настоящее время в России действует 179 ТЭС, что составляет около 30% всех мощностей ТЭС, на которых ежегодно сжигается 1,5 млрд. т. угля, образуя при этом до 25...30 млн. т. ЗШО [1]. При этом ЗШО на многих электростанциях переполнены, и их расширение либо территориально невозможно, либо требует значительных затрат. Если ничего не предпринимать, эти электростанции нужно будет останавливать и выводить из энергосистемы в ближайшие годы

По данным Агентства по прогнозированию балансов в электроэнергетике, в России утилизируется и используется только 10% ЗШО, или порядка 2,5 млн. тонн в год. Еще 22,5 млн. тонн ЗШО ежегодно размещается в золоотвалах ТЭС в дополнение к 1,5 млрд. тонн накопленных ранее. Для сравнения: в Германии и Дании применение ЗШО в производстве строительных материалов достигло практически 100% их годового выхода, при этом в Германии вообще запрещено иметь ЗШО. До 50-70% годового выхода ЗШО используют в США, Великобритании, Польше, Китае и в Индии

Между тем и в России существуют технологии по использованию ЗШО в качестве исходного минерального сырья при производстве цемента, бетонов, растворов, строительных блоков, кирпича, тротуарной плитки, а также в земляном полотне автомобильных дорог и др., что снижает себестоимость продукции на 15-20% [3]. Экономически эффективно из ЗШО производить также ферросплавы, сульфат алюминия, глинозем, жидкое стекло, вяжущие материалы. При суммарном капиталовложении в их производство 42 млн. долларов, окупаемость составляет 4,7 лет [4].

В настоящей работе показана возможность широкомасштабного использования ЗШО в литейном производстве, одной из крупных отраслей промышленного производства.

В России по данным [5] самым распространенным литейным сплавом является чугун, доля которого в общем выпуске литья составляет 5,15 млн. т. в год (67,8%). Для сравнения – производство стального литья составляет 1,3 млн. т. (17,1%) и цветного – 1,15 млн.т. (15,1%)

Отливки из чугуна получают в основном литьем в песчано-глинистые формы [6]. В зависимости от массы отливок расход формовочных смесей колеблется от 0,5 т. до 1,3 т. на 0,1 т. годных отливок [7]. При этом одним из компонентов формовочной смеси (до 15,0%) является бентонитовая глина, выполняющая роль связующего. Благодаря тому, что при набухании бентонитовой глины при взаимодействии с другим компонентом формочной смеси – с водой – в бентонитах возникают свойства пластичности и связующей способности, что и обуславливают их широкое применение в качестве связующего компонента при изготовлении литейных форм [7].

Работа проведена в литейном цехе Черногорского ремонтно-механического завода г. Абакана (Республика Хакасия), поэтому при этом формовочную смесь готовили с использованием бентонитовой глины местного месторождения «Десятый Хутор» [8].

Бентонитовые глины этого месторождения по составу ионообменного комплекса являются щелочноземельными ( $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} \gg \text{Na}^{+} + \text{K}^{+}$ ). Поэтому бентонит, добываемый на месторождении, проходит процедуру активации кальцинированной содой с целью приближения его свойств к свойствам природно-натриевого бентонита [9].

В то же время применение активированного бентонита в литейном производстве Хакасии вызывает брак чугунных отливок в виде «ужимин» – дефект в виде утолщения поверхности отливки, заполненный формовочным материалом и прикрытый слоем металла. Причиной возникновения дефекта могут быть повышенная газотворность формовочной смеси [10], связанная с повышенной ее влажностью и недостаточная ее газопроницаемость, что приводит к образованию конденсата под поверхностью литейной формы, и последующее его испарение при заливке, в результате чего и происходит отслоение металла [11].

Исходя из имеющихся данных о близости концентраций одних и тех же микроэлементов в природных бентонитовых глинах и в ЗШО теплоэнергетических станций [12], было проведено исследование по возможности использования этого материала, накопленного в отвалах Абаканской ТЭЦ, в составе формовочной смеси с целью блокирования возникновения дефекта «ужимины».

В состав ЗШО, образующихся при сжигании углей Канско-Ачинского бассейна входит большое количество оксидов с преобладанием  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  [13]. В данной работе использовали ЗШО Абаканской ТЭЦ, в состав которых входили, масс. %:  $\text{SiO}_2$  – 39,45;  $\text{CaO}$  – 34,20;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 9,92;  $\text{MgO}$  – 6,31;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 7,11; на долю других соединений ( $\text{MnO}$ ;  $\text{P}_2\text{O}_5$ ;  $\text{SO}_3$ ;  $\text{TiO}_2$ ;  $\text{Na}_2\text{O}$ ;  $\text{K}_2\text{O}$  + потери при прокаливании – 1,85 масс. %) приходится 2,01 масс. %.

В результате проведенных экспериментов был установлен оптимальный состав [14] (Таблица 1) формовочной смеси, свойства которой удовлетворяли требованиям изготовления качественных литейных форм. Ее применение было отработано при литье детали автосцепки вагонов (клин тягового хомута размером 32x92x879 мм) из чугуна с глобулярным графитом ВЧ45. [12]. Применение предложенного формовочного материала позволило получить годовой экономический эффект только на этом наименовании отливки в размере 72 тыс. руб. за счет сокращения расхода бентонитовой глины, снижения брака отливок по дефекту «ужимины» и повышения чистоты поверхности отливок. При этом механические свойства, испытанные на вырезанных из отливок образцах, составляли: временное сопротивление разрушению  $\sigma_b = 460$  МПа; предел текучести  $\sigma_{0,2} = 320$  МПа, что соответствовало требованиям ГОСТ 7293-85 ( $\sigma_b = 450$  МПа;  $\sigma_{0,2} = 310$  МПа).

В работе показан один из возможных путей решения проблемы утилизации золошлаковых отходов. И, зная проблемы дефицита бентонитовой глины и большие объемы накопленных и постоянно пополняющихся ЗШО (только на теплоэнергетических предприятиях юга Красноярского края ежегодно образуется более 1,2 млн. т. ЗШО [15]), можно ожидать широкого внедрения предложенного решения.

Таблица 1. Влияние золошлаковых отходов на свойства формовочной смеси

Вид формовочной смеси	Состав формовочной смеси, масс. %			Прочность формовочной смеси при сжатии при 20 <sup>0</sup> С, МПа	Среднее арифметическое отклонение профиля поверхности формы, мкм
	формовочная смесь отработанная	глина бентонитовая	ЗШО		
стандартный	90	10	–	0,18	34
опытный	85	5	10	0,44	26

**Список литературы:**

1. Делицын Л.М., Ежова Н.Н., Власов А.С., Сударева С.В. Золоотвалы твердотопливных электростанций как угроза экологической безопасности // Экология промышленного производства. – 2012. – Вып. 4. – С. 15–26.
2. Ahmaruzzaman A. Review on the utilization of fly ash // Progress in Energy and Combustion Science. – 2010. – V. 36. – Issue 3. – P. 327–363.
3. Кожуховский И. Использование золошлаковых отходов нужно расширять // Российская Бизнес-газета. – 08.11.2011. – № 822.
4. Саломатов В.В. Природоохранные технологии на тепловых и атомных электростанциях. – Новосибирск: изд-во НГТУ. – 2006. – 853 с.
5. Дибров И.А. Состояние и перспективы развития литейного производства России // Тр. седьмого съезда литейщиков России. – В 2 т. – Т. I. – Новосибирск: Издательский дом «Историческое наследие России». – 2005. – С. 4–13.
6. Подобед О. Песчано-глинистые смеси. Состояние вопроса и перспективы // Тр. седьмого съезда литейщиков. – Новосибирск: Издательский Дом «Историческое наследие Сибири». – 2005. – в 2 т. – Т. II., С. 5–13.
7. Трофимова Ф.А. Структурное и кристаллохимическое обоснование технологического модифицирования щелочноземельных бентонитов и бентонитоподобных глин: дис. ... канд. геолого-минералогических наук: 25.00.05 Казань. – 2007. – 118 с.
8. Иванова Л.П. Бентониты Хакасского месторождения в литейной промышленности // <http://www.bentonit-khakasia.ru/?main=company&locate=review>
9. Трофимова Ф.А., Лыгина Т.З., Сабитов А.А. и др. Влияние механоактивационных процессов на изменение коллоидных и реологических свойств бентонитовых глин // Результаты фундаментальных и прикладных исследований по разработке методик технологической оценки руд металлов и промышленных минералов на ранних стадиях геологоразведочных работ. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. – 2006. – С. 99–110.
10. Справочник по чугунному литью. – Л.: ЛО. – 1978. – 758 с.
11. Knipp E. Fehlererscheinungen an Gusstücken. - Dusseldorf: Giesserei. – Verlag GmbH. – 1961. – 273 s.
12. Крушенко Г.Г., Воеводина М.А. Использование золошлаковых отходов теплоэлектростанций, работающих на углях, в литейном производстве // Технология металлов. – 2013. – № 8. – С. 28–31.
13. Озерский А.Ю. Минералогический состав теплоэнергетических отходов сжигания ископаемых углей Канско-Ачинского и Минусинского бассейнов // Минералогические перспективы: Материалы Междунар. минералогического семинара. – Сыктывкар. – 2011. – С. 342–345.
14. Патент РФ 2440866 С1 МПК В22С 1/02 Формовочная смесь для отливок из стального и чугунного литья. Заявка № 2010127592/02 от 02.07.2010 / М.А. Воеводина. – Бюл., 2012. – № 3.
15. Озерский Д.А. Складирование золошлаковых отходов ТЭС в карьерах: – дис...канд. техн. наук. – 05.14.01. – Красноярск. – 2007. – 129 с.

**Формирование экокультуры казахстанского общества как решающего фактора реализации концепции по переходу республики Казахстан к зеленой экономике***Хамзина Ш.Ш., Кадырова М.С.**Инновационный Евразийский университет, Республика Казахстан, г. Павлодар  
khamzina\_64@mail.ru*

Одной из основных причин ухудшения экологической ситуации в Республике Казахстан и истощения ее природных ресурсов является низкий уровень экологической культуры общества, формирование которой признано приоритетным направлением деятельности государства в экологической сфере, важнейшим фактором обеспечения экологической безопасности, устойчивого развития страны. Низкий уровень экологической культуры объясняет нравственные пороки общества: потребительское отношение Человека к Природе, истощительное природопользование (в том числе распродажа стратегических ресурсов и природных богатств), чрезмерное техногенное воздействие на природу, которые привели к резкому падению ее восстановительного потенциала, в особенности в Казахстане - к росту числа зон экологического



бедствия, реабилитация которых требует постоянно растущих значительных материальных затрат, фактически - половины национального дохода страны.

«Зеленая экономика» определяется как экономика с высоким уровнем качества жизни населения, бережным и рациональным использованием природных ресурсов в интересах нынешнего и будущих поколений и в соответствии с принятыми страной международными экологическими обязательствами, в том числе с Рио-де-Жанейрскими принципами, Повесткой дня на XXI век, Йоханнесбургским планом и Декларацией Тысячелетия.

Одним из основных принципов перехода к «зеленой экономике» является обучение и формирование экологической культуры в бизнесе и среди населения, при этом важным аспектом является совершенствование действующих и разработка новых образовательных программ по рациональному использованию ресурсов и охране окружающей среды в системе образования и подготовки кадров [1].

В соответствии с Концепцией по переходу Республики Казахстан к «зеленой экономике» необходимо воспитание среди широкой общественности новой экокультуры по охране окружающей среды. Необходимо формировать среди населения ответственное и экономное отношение к использованию энергии, воды и других природных ресурсов, прививать привычку раздельного сбора бытового мусора для его дальнейшей переработки. Формирование экологической культуры и ответственного отношения к природе через неформальное экологическое образование является главной задачей общественного развития, как составной части образования в интересах устойчивого развития Республики Казахстан и ее перехода к «зеленому росту». Кроме того, необходимо проведение широкой коммуникационной кампании и образовательных программ для повышения осведомленности населения в вопросах использования ресурсов и экологических проблем.

Актуальность исследования обусловлена нарастанием локальных экологических проблем, затрагивающих население и требующих для своего решения значительных экономических и социальных усилий, а также необходимостью оценки экологической ситуации и выявления уровня информированности населения о прямом и косвенном воздействии на окружающую среду. Целью исследования является анализ проблем формирования экологической культуры казахстанского общества как решающего фактора в реализации Концепции по переходу Республики Казахстан к «зеленой экономике» и выявление значимости неформального экологического образования. Предметом исследования является экологическая культура общества и проблемы формирования экологической культуры на базе экологического образования и воспитания в свете Концепции по переходу Республики Казахстан к «зеленой экономике». Объектом исследования является экологическая культура взаимоотношений общества и природы, проблемы ее формирования и проявления в казахстанском обществе в связи со сложившейся экологической обстановкой. В соответствии с проблемой, поставлены задачи: раскрыть и проанализировать проблемы и роль неформального экологического образования и воспитания в формировании экологического сознания общества; провести социологическое исследование и мониторинг экологических проблем Павлодарской области и выявить наиболее актуальные экологические проблемы, которые волнуют жителей региона; разработать рекомендации для формирования общественного мнения в защиту окружающей среды и обеспечения оперативного информирования об экологическом состоянии региона; разработать предложения по формированию экологической культуры общества как решающего фактора в реализации стратегии Концепции по переходу Республики Казахстан к «зеленой экономике»; выработать стратегию по формированию экологической культуры и активного отношения к сохранению окружающей среды.

Одним из основных принципов Орхусской Конвенции, ратифицированной РК [2] является вовлечение общественности в процесс принятия экологически значимых решений и учет мнения общественности при разработке экологической политики. Целью Социологического исследования экологической ситуации стал мониторинг основных экологических проблем в исследуемых населенных пунктах для принятия управленческих решений по устранению выявленных проблем.

Отбор респондентов для опроса был осуществлен на основе квотной выборки, которая репрезентирует взрослое население (18 лет и старше) области по полу, возрасту и типу населенного пункта (город/район). Всего было опрошено 396 респондентов. Исследование было проведено в городах Павлодар, Экибастуз и Майском районе.

Оценка экологической ситуации. По результатам исследования 71% опрошенных (г. Павлодар, г. Экибастуз, Майский район) выразили неудовлетворенность экологической ситуацией города и района. Число, оценивающих экологическую ситуацию как «удовлетворительную» составляет 25%. В возрастном разрезе неблагоприятной экологической обстановкой обеспокоены

респонденты в возрасте от 45-54 лет (86%) и 55-64 лет (87%). В зависимости от места проживания следует отметить, что среди жителей г. Экибастуза сравнительно высок показатель тех, кто не удовлетворен экологической ситуацией в городе (79%). Процентные показатели отметивших экологическую ситуацию как «удовлетворительную» и «не удовлетворительную» сравнительно одинаковы среди жителей г. Павлодар и Майского района.

В целом, среди населения преобладает пессимистический прогноз развития экологической ситуации в обследованных точках. Так, если 39% считают, что экологическая ситуация ни изменится и сохранится нынешний неблагоприятный фон, то в тоже время 28% опрошенных респондентов не исключают возможности ухудшения экологической ситуации. Если ухудшение экологической ситуации чаще всего прогнозируют г. Павлодара (33%), то сохранение неблагоприятного экологического фона отмечают в основном жители г.Экибастуза (44%) и Майского района (48%).

В число первой «тройки» наиболее актуальных экологических проблем вошли: загрязнение воды, воздуха (53%), ухудшение качества питьевой воды (40%), увеличение заболеваемости населения (36%). По принципу места жительства рейтинг экологических проблем заметно разнится. Так, жители г. Павлодара больше всего обеспокоены загрязнением воды, воздуха (48%) и реки Иртыш (40%), а также увеличением выброса выхлопных газов автотранспортом (32%).

В возрастном разрезе среди молодой группы от 18-24 лет особо отмечены проблемы увеличение уровня заболеваемости (35%) и наличие в окружающей среде токсичных веществ (35%).

Последовательность экологических проблем г.Экибастуза немного отличается от г. Павлодара. В зависимости от пола, женщины в большей степени обеспокоены ухудшением качества питьевой воды (56%) и загрязнением окружающей среды (воздуха, воды, почвы). Тогда как, мужчин: волнуют увеличение среди населения уровня заболеваемости (45%) и наличие золоотвалов, содержащих токсичные промышленные вещества (36%).

В возрастном разрезе загрязнение воздуха и воды чаще всего отмечали респонденты в возрасте от 25-44 лет. На отсутствие очистительных сооружений на промышленных предприятиях указали опрошенные в возрасте 55-64 лет (42%).

Как показывают результаты исследования, население Майского района в большей степени волнует ухудшение качества питьевой воды (83%), загрязнение воды, воздуха (63%), повышенный радиационный фон (53%), и как следствие, увеличение заболеваемости среди населения. В возрастном разрезе ухудшением качества питьевой воды и загрязнением воздуха в наибольшей степени обеспокоены опрошенные в возрасте от 25-34 лет.

Как выяснилось, в число промышленных предприятий, деятельность которых негативно влияет на экологическую ситуацию в обследованных точках, вошли следующие заводы: АО «Алюминий Казахстана» (57%), АО «Казахстанский электролизный завод» (45%) и ЗАО «Павлодарский нефтехимический завод» (36%).

Негативное экологическое воздействие вышеназванных предприятий особо отметили респонденты в возрасте от 18-24 лет и 45-54 лет. В целом, в антирейтинге промышленных предприятий, деятельность которых отрицательно влияет на экологическую ситуацию в г.Павлодаре, лидируют АО «Алюминий Казахстан» (78%) и АО «Казахстанский электролизный завод» (65%).

Когда как, все три градообразующие крупные организации г.Экибастуза (ЗАО «Экибастузский энергоцентр», ТОО «AES Экибастуз» и ТОО «БАК») население внесло в «черный» список предприятий, деятельность которых не соответствует экологическим нормам безопасности.

В ходе социологического исследования была попытка выявить промышленные предприятия, которые в той или иной степени соблюдают установленные экологические требования, но половина опрошенных (53%) затруднились ответить на данный вопрос. Тем не менее, были определены несколько предприятий, которые оказывают минимальное негативное воздействие на окружающую среду - это Павлодарский молочный завод, Павлодар-Водоканал, Павлодарсоль и т.д. В целом в рейтинге известности лидируют экологические организации ОО «Антиядерное движение Невада - Семей - Павлодар» - 72% и ОО «Павлодар - наш общий дом» - 39%.

Уровень известности других общественных организаций, занимающихся экологическими вопросами очень низкий и составляет от 2 до 9%. Наибольший показатель известности общественной организации «Антиядерное движение» «Невада - Семей - Павлодар» зафиксирован в

Майском районе (95%), ОО «Павлодар - наш общий дом» - в г. Павлодаре (49%) и г.Экибастузе (33%).

В целом, в качестве основных мер по улучшению экологической ситуации были названы - активная деятельность депутатов Маслихата (42%), усиление контроля со стороны органов власти (37%) и соблюдение промышленными предприятиями норм экологической безопасности (30%).

По признаку места жительства имеются существенные различия. Так, например, население г. Павлодара улучшение экологической ситуации в городе связывает в первую очередь с активной деятельностью экологических организаций (36%) и контролирующими местными органами власти (35%). Тогда как, по мнению жителей г.Экибастуза, экологическая ситуация в городе улучшится при усилении контроля со стороны органов местной власти (56%) и соблюдении предприятиями предписанных экологических требований (47%). По сравнению с жителями городов Павлодара и Экибастуза, население Майского района в решении экологических вопросов особо отмечает роль представительного органа власти (Маслихата - 73%) и государства (70%). Но стоит обратить внимание, что жители Майского района менее всего отмечают роль экологических организаций (3%) в решение экологических проблем.

Как уже было отмечено, несмотря на высокий уровень известности экологических организаций в Майском районе, их роль с точки зрения населения минимальна. Так как, экологические пособия и льготы со стороны государства для большинства жителей района, которые живут за гранью бедности, являются единственным материальным источником дохода, но не решением экологических проблем. Об этом свидетельствуют данные материального положения жителей Майского района, где 57% опрошенных определили свое благосостояние как «денег хватает только на питание, но покупка одежды затруднительна».

В целом, по результатам опроса, только 28% опрошенных удовлетворены системой управления твердо-бытовых отходов, в основном это указали жители Майского района (58%). Но преобладающее большинство респондентов (60%) выразили не удовлетворенность системой управления ТБО, чаще всего это отмечали жители города Павлодара (63%) и, в особенности, Экибастуза (74%).

На вопрос, что Вам известно о «зеленой» экономике - никто не смог ответить.

Подводя итоги проведенного социологического исследования необходимо отметить, что для формирования общественного мнения в защиту окружающей среды и обеспечения оперативного информирования об экологическом состоянии региона необходимо:

- расширить сеть экологизированных средств массовой информации, сделать их более доступными широкому кругу общественности, повысить их роль в экологизации общественного сознания;

- усилить контроль со стороны органов власти за деятельностью промышленных предприятий; за соблюдением промышленными предприятиями норм экологической безопасности;

- проведение информационной и обучающей кампании общественно-значимых людей (журналисты, депутаты, работники исполнительных органов власти); ключевым механизмом реализации национальной и региональной экологической политики должны стать общественные экологические движения;

- депутатам маслихатов необходимо активизировать деятельность по решению острых социально-экологических проблем жителей Майского района, выявленных в результате проведенного социологического исследования. В частности проблем, связанных с ухудшением качества питьевой воды, повышенным радиационным фоном и как следствие увеличением уровня заболеваемости населения.

#### Список литературы:

1. Концепция по переходу Республики Казахстан к «зеленой экономике». Утверждена Указом Президента Республики Казахстан от 30 мая 2013 г. №577.
2. Закон Республики Казахстан от 23 октября 2000г. N 92-II О ратификации Конвенции о доступе к информации, участии общественности в процессе принятия решений и доступе к правосудию по вопросам, касающимся окружающей среды.

### Применение перспективных потребителей электроэнергии в качестве потребителей-регуляторов

**Ханаев В.В.**

*Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН, Россия, г. Иркутск*

[venven@list.ru](mailto:venven@list.ru)

Участившиеся в разных частях мира экологические, социальные и экономические кризисы, а также всё яснее определяющаяся перспектива истощения природных месторождений жидких и газообразных углеводородов провоцируют дефицит топлива для двигателей внутреннего сгорания (ДВС). Электромобили наиболее перспективны для решения этой проблемы и сегодня уже не являются экзотическим транспортным средством. Они универсальны в плане использования энергетических ресурсов, их применение улучшает экологическую обстановку, снижает уровень шума, а также позволяет высвободить значительное пространство, занимаемое автозаправочными станциями, топливными хранилищами и прочей сопутствующей традиционным видам транспорта инфраструктурой. По своим техническим характеристикам серийный электромобиль ближайшего будущего является аналогом современного автомобиля – массовым комфортным транспортным средством.

При всём этом упускается из вида, что электроэнергия, необходимая для привода электромобилей, вырабатывается, а в перспективе – и будет вырабатываться, на обычных электростанциях, имеющих жесткие технические ограничения по режимам работы, топливу и располагаемой мощности. Увеличение электропотребления за счет массового применения электромобилей способно оказать неожиданно мощное воздействие на электроэнергетическую отрасль и потребовать существенного изменения структуры и технических характеристик генерирующих мощностей. Суммарная эквивалентная мощность мирового парка автомобильного транспорта давно превысила суммарную мощность эксплуатирующихся электростанций, массовый же переход на электромобили вызовет дефицит электроэнергии. Это определяет необходимость исследования развития электроэнергетики с учетом становления электромобилей как нового класса потребителей электроэнергии и разработки концепции его эффективного и заблаговременного интегрирования в существующую структуру электропотребления.

Перспективный рост электропотребления требует заблаговременного поиска путей своего покрытия, главным из которых является ввод новой генерации. В то же время необходимо найти возможность этот рост упорядочить, сделать его управляемым. Суммарное электропотребление подвержено влиянию различных социальных и экономических факторов, поэтому его изменения имеют высокую степень неопределенности. Помимо вероятности дефицита генерации всегда имеется вероятность того, что энергетические мощности окажутся недогруженными или будут иметь неэффективный режим эксплуатации. Планирование роста генерирующих мощностей с учетом управления электрической нагрузкой (управления спросом на электроэнергию) может стать буфером, позволяющим смягчать последствия резких колебаний электропотребления. При определении степени эффективности управления спросом следует избегать его прямого противопоставления с наращиванием генерирующих мощностей, т.е. рассматривать оба этих мероприятия как разумное и сбалансированное дополнение друг другу

млн. единиц

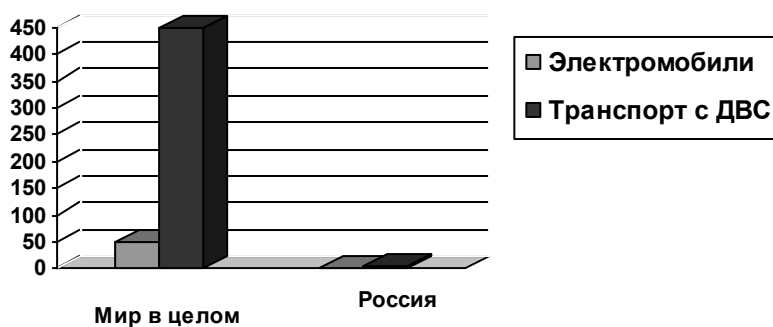


Рис. 1. Перспективное соотношение электромобилей и «классических» видов транспорта в Море и России, 2030 г.

Упорядочение режимов электропотребления может сделать электромобили эффективными потребителями-регуляторами. Заряд аккумуляторов в ночные часы способен заполнить ночные провалы электрической нагрузки и предотвратить увеличение её пиковых значений днем. На примере России было проведено исследование влияния таких потребителей-регуляторов на развитие электроэнергетики.

Обзор производственных планов ведущих автопроизводителей показывает, что в мире к 2030 г. может быть произведено около 50 млн. электромобилей, что составит около 10 % от общего числа вводимых в эксплуатацию транспортных средств (рис. 1). Суммарная мощность такого парка электромобилей составит порядка 2500 млн. кВт. На долю России может прийти около 0,5 млн. единиц при установленной мощности (потенциале регулирования электрической нагрузки) 25 млн. кВт.

Исследование возможного влияния электромобилей на развитие электроэнергетики России производилось с помощью математической модели «СОЮЗ». Для адаптации исходной модели к задачам исследования потребителей электроэнергии при управлении развитием электроэнергетических систем произведено ее дополнение блоками математических моделей потребителей электроэнергии. В результате модель может быть представлена в следующем обобщенном виде:

$$\min \sum_{jis\tau} C_{jis\tau} X_{jis\tau} + \sum_{ji} C_{ji}^{\Sigma} X_{ji}^{\Sigma} + \sum_{ji} C_{ji}^n X_{ji}^n + \sum_{ii'} C_{ii'}^{\Sigma} X_{ii'}^{\Sigma} + \sum_{ii'} C_{ii'}^n X_{ii'}^n \quad (1)$$

$$\text{при } F(X_{jis\tau}, X_{ji}^{\Sigma}, X_{ji}^n, X_{ii'}^{\Sigma}, X_{ii'}^n) = 0 \quad (2)$$

Выражение (1) является минимизируемым при ограничениях (2) функционалом, в общем случае представленным суммарными приведенными затратами на развитие и функционирование энергетической системы и исследуемых потребителей-регуляторов, а также энергосберегающих технологий.

Здесь  $j$  – номер группы однотипного генерирующего оборудования или потребителя электроэнергии;  $i$  – номер энергоузла;  $s$  – номер характерного суточного графика нагрузки;  $\tau$  – индекс (продолжительность) зоны нагрузки в суточном графике;

$X_{jis\tau}$  – нагрузка  $j$ -го типа оборудования в узле  $i$  в суточном режиме  $s$  в зоне продолжительностью  $\tau$  часов либо мощность (снижение нагрузки) потребителей-регуляторов или электросберегающих технологий,  $C_{jis\tau}$  – соответствующие удельные переменные затраты;

$X_{ji}^{\Sigma}, X_{ji}^n$  – выбираемые установленная мощность и новая (вводимая) мощность  $j$ -го оборудования (потребителя) в узле  $i$ ;

$C_{ij}^{\Sigma}, C_{ij}^n$  – удельные постоянные ежегодные издержки и приведенные капиталовложения в это оборудование;

$X_{ii'}^{\Sigma}$  – пропускная способность электрической связи между узлами  $i$  и  $i'$ ;

$C_{ii'}^{\Sigma}$  – удельные ежегодные затраты на эту связь;

$X_{ii'}^n$  – пропускная способность новой межсистемной связи  $i$  и  $i'$ ;

$C_{ii'}^n$  – соответствующие удельные приведенные капиталовложения.

Первые две суммы в целевой функции определяют годовые переменные и постоянные издержки на электростанциях и моделируемых потребителях, третья сумма соответствует приведенным капиталовложениям в их реализацию, последние две суммы определяют годовые постоянные издержки и приведенные капиталовложения в межсистемные электрические связи.

Ограничения (2) включают в себя балансы мощности энергоузлов, технические ограничения на режимы работы генерирующего оборудования и потребителей электроэнергии, ограничения по топливу и др.

Годовой баланс энергии энергоузлов в модели описывается совокупностью балансов зон представительных суточных графиков электрической нагрузки с переходом к годовым показателям в функционале модели через коэффициенты «эквивалентного числа суток в году».

При моделировании суточного режима используется принцип «позонной оптимизации» в соответствии с разбиением суточного графика нагрузки на горизонтальные зоны продолжительностью  $\tau$  часов, соответствующие приростам нагрузок в разные часы суток:

$$\sum_j X_{ji\tau} + \sum_{i'} X_{ii'\tau} - \sum_i X_{i'i\tau} = P_{i\tau} \quad (3)$$

В выражении (3) первая сумма – участие всех электростанций узла, потребителей-регуляторов и мероприятий по электросбережению в покрытии зоны отдельного суточного графика, вторая и третья суммы – междузловые «входящие» и «выходящие» перетоки, а правая часть – мощности зон суточного графика.

При описании в модели потребителя-регулятора следует учесть ряд следующих моментов:

- перевод в режим потребителя-регулятора обычных потребителей электроэнергии и создание новых потребителей-регуляторов требуют некоторых капиталовложений;
- составляющая затрат на используемую в режиме потребления электроэнергию может быть учтена не в текущих затратах потребителя, а на электростанциях, обеспечивающих в результате оптимизации режим энергосистемы;
- при сдвиге мощности потребителя-регулятора из пиковой зоны графика нагрузки в зону провала высвобождается часть генерирующих мощностей электростанций, этот режим может быть представлен как «генерация» потребителем-регулятором;
- работа потребителя-регулятора в зоне провала будет рассматриваться как режим «потребления».

С учетом этого математическую модель потребителя-регулятора применительно к задаче оптимизации развития ЭЭС можно записать в следующем виде:

$$\sum_{\tau} N_{kS\tau} \leq \beta_{kS} N_k \quad (4)$$

$$N_{kSt} \leq \gamma_k \beta_{kS} N_k \quad (5)$$

$$\beta_{kS} = (1 - g_{kS} - \beta_{kS}^{pem}) \quad (6)$$

$$\sum_{\tau} \tau N_{kS\tau} \leq \eta_k \left( \sum_t N_{kSt} \right) \tau_S^{\max} \quad (7)$$

$$\tau_S^{\max} \sum_t N_{kSt} \leq h_k \beta_{kS} N_k \quad (8)$$

Уравнения (4) и (5) определяют доленое участие электрической мощности  $k$ -го потребителя-регулятора в «генерирующем» и «потребляющем» режимах соответственно. Здесь  $N_k$  – суммарная мощность электроприемников потребителя-регулятора;  $N_{kS\tau}$  – мощность «генерирующего» режима работы, продолжительностью  $\tau$  часов в  $S$ -ые сутки;  $N_{kSt}$  – мощность «потребляющего» режима в час  $t$  в  $S$ -ые сутки;  $\beta_{kS}$  – коэффициент готовности мощности потребителя (доля мощности задействованных в работе электроприемников в их суммарной установленной мощности), определяется согласно (6). В выражении (5)  $\gamma_k$  – коэффициент соотношения мощностей «генерирующего» и «потребляющего» режимов.

Уравнение (4) является ограничением использования мощности потребителя-регулятора в режиме «генерации» и определяет, что она физически не может превышать суммарную мощность всех электроприемников с учетом коэффициента готовности. В свою очередь зависимость (5) показывает, что мощность «потребляющего» режима также не может превышать суммарную мощность всех электроприемников в режиме «потребления» с учетом коэффициента готовности.

Выражения (4) и (5) для потребителей-регуляторов дополнены уравнением связи по энергии «генерирующего» и «потребляющего» режимов (7) и ограничением среднесуточного

числа часов использования  $h_k$  (8). Смысл уравнения (7) заключается в том, что физически энергия «генерирующего» режима не может превышать энергию «потребляющего» режима. Здесь  $\tau_S^{\max}$  – длительность одного интервала;  $\eta_k$  – коэффициент полезного действия, который меньше единицы если работа потребителя-регулятора связана с промежуточным накоплением или преобразованием электроэнергии, например – батареи у электромобиля. Ограничение на

потребляемую энергию (8) определяется объемами производства продукции, продолжительностью рабочей смены и т.д.

Эффективность потребителей-регуляторов оценивалась в период до 2030 г. Полученные результаты сопоставлялись с исходным вариантом оптимизации развития электроэнергетики России, не предусматривающим использования потребителей-регуляторов. Установлено, что оптимальные для развития электроэнергетики России объемы использования электромобилей в качестве потребителей-регуляторов составляют 3,9 млн. кВт. Оптимизация развития электроэнергетики России с учетом перспективных видов электропотребляющего транспорта позволяет снизить капитальные вложения на свое развитие на 2,5 млрд. долл. и эксплуатационные затраты на 0,3 млрд. долл. в год. За счет потерь в аккумуляторах электромобилей на 83 тыс. тунн условного топлива) или 0,1 млрд. долл. в год возрастает расход топлива. Экологический эффект использование электромобилей в качестве потребителей-регуляторов заключается в снижении на 1010 млн. кВт объемов вводов пиковых угольных тепловых электростанций, на величину около 300 тыс. тунн в год происходит замещение моторного топлива. Очевидно, что основные результаты исследования, достигнутые на примере России, могут быть справедливы и для других стран мирового сообщества.

Относительно небольшие оптимальные объемы использования электромобилей в качестве потребителей-регуляторов обусловлены их пока еще высокой стоимостью, в частности – дороговизной аккумуляторов. Их привлекательность будет повышаться по мере совершенствования и удешевления производственных технологий.

Неупорядоченные режимы зарядки аккумуляторов электромобилей способны вызвать рост электропотребления и разрежение графиков суммарной электрической нагрузки. Это в свою очередь потребует строительства дополнительных генерирующих мощностей электрических станций с неэффективным режимом эксплуатации. В то же время грамотное использование электромобилей в качестве потребителей-регуляторов с упорядоченными режимами электропотребления позволяет снизить разрежение графиков электрической нагрузки, улучшить структуру генерирующих мощностей при долгосрочной оптимизации развития и повысить их эксплуатационные показатели, а также имеет ярко выраженный экологический эффект.

#### **Сопоставительный анализ методов термического воздействия на бетонную смесь**

*Голдаев С.В., Шерина А.Е.*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет ЭНИИ Россия г. Томск*

*E-mail: [SVGoldaev.tpu@ru](mailto:SVGoldaev.tpu@ru)*

В связи с увеличением объема промышленного и гражданского строительства продолжает оставаться актуальной экономия ресурсов в технологии бетонирования конструкций. При среднесуточной температуре воздуха +5оС и минимальной 0оС не допускается укладка бетона с температурой ниже +5оС. Одно из перспективных направлений в сокращения времени твердения бетона, достигающего при нормальных условиях 28 суток, является использование эффективных устройств для термического воздействия на бетон.

Цель доклада – сравнение вариантов термического воздействия.

Для ускоренного процесса твердения бетона в производственных условиях применяют обработку паровоздушной смесью [1]. При этом воздействие может осуществляться за счет непосредственного контакта теплоносителя с поверхностями изделий, или через стенку. По графику потребления пара они делятся на установки непрерывного и периодического действия. На большинстве заводов железобетонных конструкций применяются в основном установки периодического действия с контактным способом передачи теплоты: различные камеры: пропарочные, тупиковые и проходные туннельные и др. Пар подается от местных отопительно-производственных котельных, что свидетельствует об энергоемкости процесса, затем осуществляется его смешение с образованием паровоздушной смеси с температурой менее 373 К. Причем от содержания воздуха в паровоздушной смеси зависят ее температура и теплоотдача к поверхности конструкции, а, следовательно, равномерность и степень ее нагрева. Для решения подобной задач разработана парозежкционная система, с помощью которой отработавший теплоноситель удаляется из нижней части камеры и подается в верхнюю с добавлением свежего пара. Многолетняя эксплуатация показала, что удается снизить удельный расход пара на 15...35%. При этом обеспечивается равномерный прогрев изделий по всему объему камеры, сокращается на 2...4 часа время термообработки [1].

В работе [2] отмечено, что процесс твердения бетона в рамках данного способа термического воздействия обусловлен экзотермической реакцией гидратации цемента за счет связанной воды. Тепловыделение этой реакции экспоненциально зависит от температуры бетона. В результате упрощения трехмерной постановки задачи создана инженерная методика ее решения. Рассмотрен нагрев изделия в камере, с одного конца которой подается пар под давлением, а в другом торце камеры стоит вентилятор. На основе теплового расчета подобран диаметр труб для подвода пара к камере, дроссельные диафрагмы, регуляторы давления и температуры и т.д. Анализ результатов расчетов показал, что для уменьшения расхода теплоты при паровой обработке бетона в камере необходимо увеличение толщины стен и коэффициента заполнения камеры. Предложено для завершения полной гидратации цемента бетонного изделия при паровой обработке в качестве подложки использовать теплоизоляционный материал.

Как отмечено в монографии [3], технология изготовления бетона дорога и несовершенна. Слишком велики затраты энергии, труда, цемента и металла. А главное, пропаривание изделий не столько ускоряет твердение, сколько нарушает структуру бетона и конструкций.

Бетонирование с энергообработкой смеси лишено этих недостатков. В [3] описано четыре разработанных технологии, три из которых доведены до массового практического применения. Основное достоинство бетонирования с электроразогревом смеси – укладка бетона при температуре воздуха ниже  $-20^{\circ}\text{C}$ .

Электротермическое бетонирование основано на простом подогреве смеси в обычных строительных бункерах с термосным выдерживанием бетона с целью сохранения теплоты. Своевременный термоимпульс (до схватывания смеси) резко повышает температуру и парообразование. Пар, глубже проникая в зерна цемента, интенсифицирует реакции, в сотни раз сокращая время термообработки бетона.

В настоящее время этот метод используется для массивных конструкций и на слабом морозе.

Электроимпульсное бетонирование заключается во внесении мощного электротеплового импульса в бетонную смесь, который на три порядка выше мощности традиционного электропрогрева бетона, преодолевает энергетический барьер, вызывая элетрогидравлические удары и самопроизвольные реакции с ионизацией и магнетизацией смеси. Внесение теплоты в цемент приближает коэффициент использования энергии к единице. Такой импульс создается установками с электродами, погружаемыми непосредственно в кузов автосамосвала. Благодаря такой технологии стало возможным выдерживать бетон в неутепленной стальной или деревянной опалубке и зимой.

Расходы энергии при электроимпульсном бетонировании по сравнению с традиционными методами термообработки снизились в 1,5...3 раза, а по сравнению с паропрогревом бетона – в 6 раз. КПД с 0,27...0,45 достиг 0,69. Недостатком его является потребность в значительной трансформаторной мощности, порядка 300...400 кВт, циклический разогрев смеси [3].

При виброэлектробетонировании смесь подвергается виброразогреву в трубе без последующих вибрации, прогрева и перегрузок [3]. Такая технология заключается в следующем. Бетонная смесь из автобетоновозов поступает непосредственно в горловину виброэлектрореактора. В нем используются трубчатые электроды, обжимающие коаксиально электросердечник, внутри которого проходит кабель. На заводах и полигонах виброэлектрореактор подвешивался к бетоноукладчику или каркасу, движущемуся по рельсам, между которыми располагались формы.

Благодаря кинетическому внесению энергии в процессе непрерывного движения совмещается большинство операций и устраняются простои, что приводит к сокращению трудозатрат, а также деаэрирует и гомогенизирует бетонную смесь.

По сравнению с традиционным электропрогревом трудозатраты сократились в 2...3 раза за счет исключения пропаривания и вибрирования на виброплощадках [3].

Синэнергобетонирование отличается тем, что смесь дополнительно барботируется в магнитной пароионной среде, что дает возможность обойтись без бетономешалок. В настоящее время такая технология обрабатывается в лабораторных условиях [3].

Рациональная область бетонирования – среднемассивные конструкции и изделия, особенно продуктивна энергообработка в экстремальных условиях: на сильном морозе, при укладке на мерзлое основание, в насыщенные грунты.

Использование транспортирующих труб, представляющих собой динамические системы для непрерывной электрообработки бетонных смесей перед укладкой их в опалубку или форму, является одним из перспективных направлений в технологии бетонирования конструкций



различного назначения [4,5]. Разработан комплекс мероприятий по управлению параметрами электродов, который был рекомендован в инженерную практику создания и внедрения в производство динамических систем непрерывной электрообработки бетонных смесей – транспортирующих труб [4,5]. Как отмечено в диссертации [6], предыдущие исследования по непрерывной электрообработке не отвечали требованиям надежности. В частности, имели место локальные перегревы смеси и электродов в устройствах непрерывного действия. Для отсутствия зон локального перегрева бетонной смеси в коаксиальном устройстве непрерывного электроразогрева подачу бетонной смеси в межэлектродное пространство и выпуск предложено осуществлять под прямым углом к продольной оси устройства, а торцы внутреннего и внешнего электродов заглублять в электроизоляционные элементы.

Отличительной особенностью процесса электромагнитной обработки является относительно равномерное выделение теплоты во всем объеме бетона за счет превращения электрической энергии в теплоту в ферромагнитной опалубке и арматуре изделий, т.е. имеет место наличие как внешних, так и внутренних, практически равномерно распределенных, источников теплоты [7]. В реальных условиях теплообмена с окружающей средой образуется поле температур, которое создает поле влагосодержания. Внешнее магнитное поле изменяет структуру и свойства бетонных растворов, перераспределяет плотности электронных облаков, а также поляризует молекулы воды. Однако в практике строительства, использованию электромагнитного воздействия сводилось в основном к индукционному нагреву и использованию омнигенной воды затворения, непостоянство химического состава которой приводило к большой нестабильности получаемых результатов. В работе [8] показано, что при электромагнитном способе подвода теплоты осуществляется более равномерное распределение полей температуры, чем при паротепловой термообработке.

Таким образом, можно отметить, что ни один из перечисленных методов термической обработки бетона не является универсальным, в связи с тем, что они требуют различное аппаратное оформление и применимы либо в заводских условиях, либо на строительной площадке. Дальнейшие исследования по каждому из способов позволят выявить наиболее эффективные режимы эксплуатации.

#### Список литературы:

1. Цветков В.В. Повышение эффективности пароснабжения заводов железобетонных конструкций//Промышленная энергетика.–1989.– №9.–С. 18–21.
2. Численное решение задачи теплообмена при тепловой обработке бетона// А.М. Гришин, В.В. Трофимов, Н.С. Шулев, А.С. Якимов. // Инженерно-физический журнал. –1992. – Т. 62, №4.–С. 608–616.
3. Арсеньев А.С. От электротермоса к синэргобетонированию –Владимир: Изд-во ГТУ – 1996. – 272 с.
4. Пшонкин Н.Г. Технология бетонирования с комплексной обработкой смесей в динамических системах //Автореф. дисс. д-ра.техн. наук. –2006. – 38 с.
5. Пшонкин Н.Г. Электротермообработка бетонных смесей в транспортирующих трубах: Монография. – Новокузнецк: СибГГМА. – 1997. – 160 с.
6. Южаков И.В. Совершенствование технологии непрерывного электроразогрева бетонной смеси – Автореф. дисс. к.т.н. – Томск, 2009. – 30 с.
7. Волосян Л.Я., Чернышев И.В. Аналитическое исследование процесса тепло- и массопереноса в кинетике твердения бетона при тепловой обработке в электромагнитном поле// Инженерно-физический журнал. –1970. –Т. 18, №2. –С. 286-292.
8. Параметры внутреннего переноса в процессе твердения при различных способах тепловлажностной обработки мелкозернистого бетона// А. Г. Темкин, Л. Я. Волосян, В. П. Журавлева, Е. Е. Элимелах. // Инженерно-физический журнал.–1971.–Т.20, № 1.–С. 140–147.

#### Анализ и разработка мероприятий по обеспечению безопасности работ при зачистке технологических резервуаров от остатков нефтепродуктов

*А.И. Сечин, О.С. Кырмакова, С.И. Осипенко*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск  
olia\_917@mail.ru*

Статистика аварий с 1960 по 2011 год показывает, что за данный промежуток времени на технологических резервуарах для хранения нефти и нефтепродуктов произошло 57 инцидентов, в которых погиб 61 человек и 27 человек получили травмы различной степени тяжести [1-5]. Анализ

причин аварий, произошедших в резервуарных парках для хранения нефти и нефтепродуктов, позволил выделить их основные группы: неполадки оборудования, ошибочные действия персонала, внешнее воздействие природного и техногенного характера. Следует отметить, что порядка 40 % аварий произошли во время проведения зачистки и ремонта резервуаров, которые относятся к особо опасным работам, что и обуславливает актуальность рассматриваемого вопроса и необходимость более подробного рассмотрения.

Таким образом, цель исследования: разработка мер по обеспечению безопасности работ при зачистке технологических резервуаров от остатков нефтепродуктов.

В любом резервуаре, эксплуатируемом для добычи, переработки и хранения нефтепродуктов со временем накапливаются отложения (нефтяной шлам), и требуется очистка резервуара от них [4-8].

При ведении работ в установленную последовательность вносятся определенные коррективы, характеризующие особенности строения технологического резервуара, вещества обращающегося в нем, климатические условия его месторасположения. Организация работ по зачистке определяется в строгом соответствии с Нормативно-Технической документацией.

Для обеспечения технологических резервуаров, как наиболее уязвимых элементов производства работ, достаточными мерами по предупреждению и предотвращению возникновения ЧС(Н), необходимо представлять причинно-следственную связь элементов, инициирующих аварийную ситуацию. Для чего и был использован такой логико – графический метод анализа, как дерево отказов.

Применив данный метод анализа на конкретном событии, а именно для аварии на ООО «Н-КОЕ», при ведении работ по капитальному строительству: на промышленной площадке проводились сварочные работы на незаполненном нефтью технологическом резервуаре, находящемся на расстоянии не более 1,5 м и связанным технологическим объемом от места огневых работ, произошло воспламенение образовавшейся смеси, в результате которого погиб человек, так же поврежден отстойник для нефти ООО «Н-КОЕ».

На рисунке 1 приведена технологическая схема отстойника после аварии.

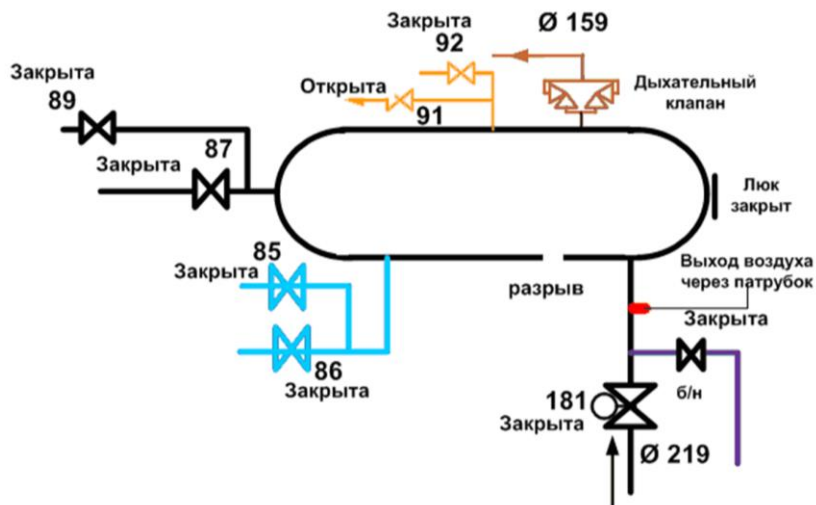


Рис.1. Технологическая схема отстойника после аварии

Дерево отказов для рассматриваемого случая представлено на рисунке 2.

Была проведена качественная оценка дерева отказов при помощи метода минимальных сечений.

Сечение определяется как множество элементарных событий, приводящих к нежелательному исходу. Если из множества событий, принадлежащих некоторому сечению, нельзя исключить не одного и в то же время это множество событий приводит к нежелательному исходу, то в этом случае говорят о наличии минимального сечения.

Для дерева отказов в резервуарах (рис .2) качественный анализ показал, что для того, чтобы произошел разрыв емкости и взрыв (Т) необходимо, чтобы был реализован или внутренний взрыв (М1), или пожар на соседних емкостях (М2), или катастрофический разрыв емкости (М3), или имелись какие-либо внешние причин (М4), индуцирующих головное событие Т.

Внутренний взрыв (M1), в свою очередь, происходит при наличии парогазовой фазы (B1) и явления самовоспламенения (M5), которые характеризуются наличием или системы из горючей смеси (B3) и источника тепла (B4), или системы из горючей компоненты (B6), окислителя воздуха (B7) и пирофорных отложений (B8).

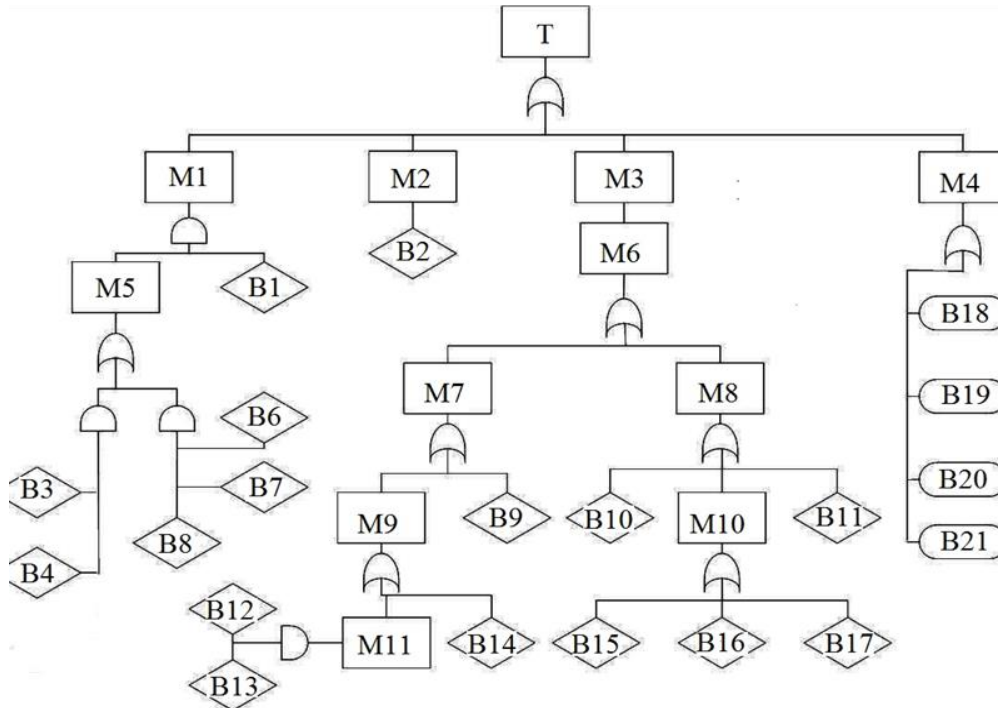


Рис.2. Дерево отказов для рассматриваемого технологического инцидента

Пожар на соседних емкостях (M2) является причиной возникновения события Т при образовании горячей гидродинамической волны (B2).

Катастрофический разрыв емкости (M3) является результатом создания избыточного давления (M6), которое инициируется повышением температуры емкости (M7) или избыточным заполнением емкости (M8). Повышение же температуры емкости (M7) может возникнуть из-за воздействия внешнего источника нагрева (M9) или перегрузки емкости (B9). Избыточное заполнение емкости (M8) возможно или при отказе аварийного вентиля (B10), или при отказе предохранительных клапанов (B11), или же при повышении контрольного уровня (M10). Внешний же источник нагрева (M9) является итогом или разряда статического потенциала (M11), образующегося при проведении сварных работ в резервуарах (B12) с наличием горючей смеси (B13), или искры удара (B14), возможно при ведении каких-либо ремонтных работ.

Превышение контрольного уровня (M10) имеет место быть или при отказе запорной арматуры (B15), или ошибки оператора (B16), или отказа контрольной аппаратуры (B17)

Внешние причины (M4) могут быть проявлением либо удара молнии (B18), либо падения метеорита (B19), либо землетрясения (B20), либо авиакатастрофы.

Таким образом, можно сделать вывод, что последовательность событий на основании условия минимального сечения будет следующая: M2->Т, M4->Т, M1->M1, M3->Т, то есть наиболее соответствовать данному условию будет разрыв емкости и взрыв при внутреннем взрыве, наименее – катастрофический разрыв емкости.

Количественный анализ дерева отказов (рис. 2) был проведен аналитическим методом.

Для данного исследования использовались численные значения частот для каждого базового события.

Расчет начинается с подножия дерева отказов – промежуточных событий и продолжается в направлении вершины – головного события.

Для исследуемого случая аварий технологических резервуаров, расчет начинается слева направо, то есть первой исследуемой частью будет левая ветвь дерева отказов.

Таблица 1. Характерные инициирующие события и вероятности (частоты) их возникновения

Обозначение	Характеристика события	Вероятность (частота) события (год <sup>-1</sup> )
T	Разрыв емкости и взрыв	$5,9 \cdot 10^{-4}$
M1	Внутренний взрыв	$3,7 \cdot 10^{-6}$
M2	Пожар на соседних емкостях	$5,2 \cdot 10^{-4}$
M3	Катастрофический разрыв емкости	$7,1 \cdot 10^{-5}$
M4	Внешние причины	$4 \cdot 10^{-8}$
M5	Самовоспламенение	$4,2 \cdot 10^{-6}$
M6	Создание избыточного давления	$7,1 \cdot 10^{-5}$
M7	Повышение температуры емкости	$4 \cdot 10^{-5}$
M8	Избыточное заполнение емкости	$3,1 \cdot 10^{-5}$
M9	Внешний источник нагрева	$9 \cdot 10^{-6}$
M10	Повышение контрольного уровня	$1,1 \cdot 10^{-5}$
M11	Разряд статического потенциала	$8,3 \cdot 10^{-6}$
V1	Наличие парогазовой фазы	$9 \cdot 10^{-1}$
V2	Образование горячей гидродинамической волны	$5,2 \cdot 10^{-4}$
V3	Горючая смесь	$8,3 \cdot 10^{-3}$
V4	Источник тепла	$3 \cdot 10^{-4}$
V6	Горючая компонента	$8 \cdot 10^{-3}$
V7	Окислитель воздуха	$7 \cdot 10^{-4}$
V8	Пирофорные отложения	$3 \cdot 10^{-1}$
V9	Перегрузка емкости	$3,1 \cdot 10^{-5}$
V10	Отказ аварийного вентиля	$1 \cdot 10^{-5}$
V11	Отказ предохранительных клапанов	$1 \cdot 10^{-5}$
V12	Проведение сварных работ	$1,8 \cdot 10^{-3}$
V13	Наличие горючей смеси	$4,6 \cdot 10^{-3}$
V14	Искра удара	$7 \cdot 10^{-7}$
V15	Отказ запорной арматуры	$2 \cdot 10^{-6}$
V16	Ошибка оператора	$7 \cdot 10^{-6}$
V17	Отказ контрольной аппаратуры	$2 \cdot 10^{-6}$
V18	Удар молнии	$1 \cdot 10^{-8}$
V19	Падение метеорита	$1 \cdot 10^{-8}$
V20	Землетрясение	$1 \cdot 10^{-8}$
V21	Авиакатастрофа	$1 \cdot 10^{-8}$

Событие M5 «Самовоспламенение» наступает при альтернативном наступлении или одного блока событий, или другого, но наступление этих блоков будет при одновременном наступлении нескольких базовых событий, следовательно, там где одновременная реализация перемножим соответствующие им вероятности, а альтернативная – применим операцию сложения:

$$P(M5)=P(V3) \cdot P(V4)+P(V6) \cdot P(V7) \cdot P(V8)=4,2 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}.$$

К M1 ведет одновременное исполнение события M5 и V1, таким образом выражение будет иметь вид:

$$P(M1)=P(M5) \cdot P(V1)= 3,7 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}.$$

Очевидно, что P(M1) можно записать в общем виде, подставив P(M5):

$$P(M1)=P(M5) \cdot P(V1)= P(V3) \cdot P(V4)+P(V6) \cdot P(V7) \cdot P(V8) \cdot P(V1)= 3,7 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}.$$

К M2 (следующая ветвь) ведет реализация V2, так

$$P(M2)=P(V2)= 5,2 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}.$$

Перейдем правее - к третьей ветви:

$$P(M3)=P(M6)=P(M7)+P(M8)=P(M9)+P(V9)+P(V10)+P(V11)+P(M10)= \\ P(M11)+P(V14)+P(V10)+P(V11)+P(V15)+P(V16)+P(V17)=P(V12) \cdot P(V13) \\ +P(V14)+P(V10)+P(V11)+P(V15)+P(V15)+P(V16)+P(V17)=7,1 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}$$

Далее, расчет вероятности для самой крайней ветви будет иметь вид:

$$P(M4)=P(B18)+P(B19)+P(B20)+P(B21)= 4 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}$$

По тем же правилам рассчитывается событие Т:

$$P(T)=P(M1)+P(M2)+P(M3)+P(M4)= 5,9 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}$$

В результате проведенного качественного и количественного анализов дерева выяснили, что наиболее вероятное событие – разрыв емкости при внутреннем взрыве, наименее – катастрофический разрыв емкости.

Вероятность головного события – «Разрыв емкости и взрыв» в численном выражении равна:  $P(T)= 5,9 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}$ .

Так представляется возможность численного выражения риска возникновения какого-либо вида аварии на технологических резервуарах.

Таким образом, наличие горючей парогазовой смеси, наличие окислителя, содержащегося в воздухе и наличие пирофорных отложений, все это могло явиться возникновением нештатной ситуации на рассматриваемом объекте, отсюда предлагаемые дополнительные мероприятия будут следующие:

пропарка при работе с аналогичной технологической схемой должна проводиться путем завода через технологическую емкость парового потока;

следует более полно проводить очистку отложений образующихся в емкости.

Таким образом, в результате проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

Изучены возможные опасности, возникающие в связи с проведением работ по зачистке резервуаров от остатков нефтепродуктов.

Построено дерево событий для конкретного технологического объекта, показывающего, что вероятность головного события – «Разрыв емкости и взрыв» в численном выражении равна:  $P(T)= 5,9 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}$ .

Проведен анализ выполняемых мероприятий при проведении работ по зачистке технологических резервуаров от остатков нефтепродуктов выполняемых на основе «Инструкции по зачистке резервуаров от остатков нефтепродуктов», определены типовые ошибки при организации и ведении работ.

Разработаны мероприятия снижающие риск возникновения аварийных ситуаций, которые заключаются в следующем:

- пропарку при работе с аналогичной технологической схемой необходимо проводить путем завода через технологическую емкость парового потока;
- следует более полно проводить очистку отложений образующихся в емкости.

#### Список литературы:

1. Баратов А.Н., Корольченко А.Я., Кравчук Г.Н. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: справочное издание. - М., Химия, 1990;
2. Монахов В.Т. Показатели пожарной опасности веществ и материалов. Анализ и предсказание. Газы и жидкости.(с приложениями). – М., 2007;
3. Сучков В.П., Безродный И.Ф., Вязниковцев А.В. Пожары резервуаров с нефтью и нефтепродуктами. - М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1992.
4. Зачистка резервуаров. – режим доступа: <http://legion-oil.com>;
5. Зачистка хранилищ, шламонакопителей, отстойников, очистных сооружений, гидронаторов и т.д. Очистка резервуаров, зачистка резервуаров, очистка резервуаров от нефтепродукта, зачистка резервуаров от нефтешлама. – режим доступа: <http://www.ecor-ltd.ru>;
6. Методы экспертных оценок. - режим доступа: <http://emm.ostu.ru>;
7. Очистка (зачистка) топливных резервуаров от нефтешламов и других наслоений. - <http://www.neftesk.ru>;
8. Предупреждение и ликвидация разливов нефти и нефтепродуктов. - режим доступа: <http://www.ecoguild.ru>;

#### Построение прогнозно-экстраполяционной зависимости времени индукции воспламенения по характеристикам пожаровзрывоопасности вещества

*А.И. Сечин, О.С. Кырмакова, С.И. Осипенко*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск  
olia\_917@mail.ru*

Большое внимание в настоящее время уделяется вопросам определения времени индукции процесса самовозгорания.

Известно, что показатели пожаровзрывоопасности веществ и материалов определяются для получения исходных данных для разработки систем, направленных на обеспечение пожарной безопасности и взрывобезопасности [1, 2].

Задача, которая решалась в данной работе, состояла в определении методического подхода в определении времени индукции процесса самовозгорания веществ и материалов.

В основу алгоритма исследования был положен процесс самовозгорания угля и нефтяных отложений. Эксперименты проводились с образцами угля марки СС Кузбасского бассейна. Схема прибора для проведения исследований температуры самовозгорания представлена на рисунке 1.

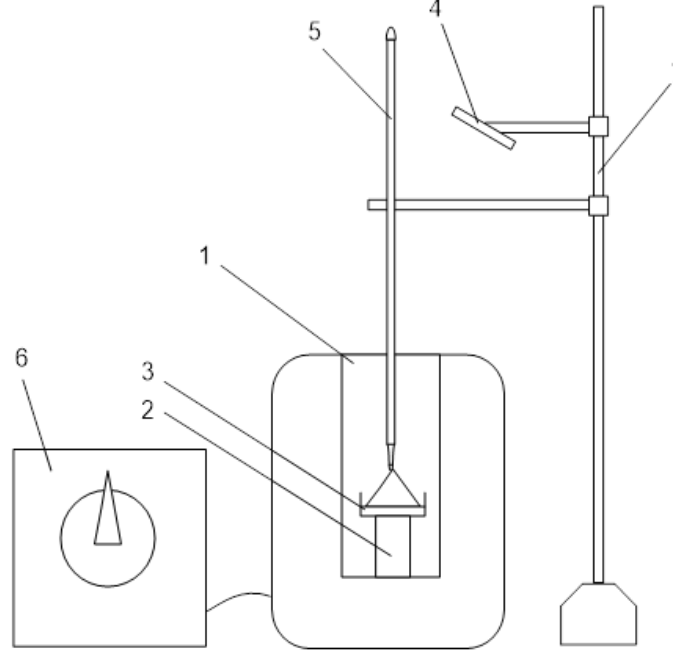


Рис. 1. Схема прибора для определения параметров самовозгорания угля марки СС Кузбасского бассейна: 1 – электрическая печь (V=1000мл), 2 – кварцевая подставка, 3 – фарфоровая подставка для вещества, 4 – смотровое зеркало; 5 – ртутный термометр, 6 – лабораторный автотрансформатор, 7 – штатив.

Проведя анализ определения пожаровзрывоопасных характеристик для рассматриваемого горючего твердого вещества – угля Кузбасского бассейна марки СС, по известным в литературе характеристикам построена кривая, выражающая аналитико – прогнозную зависимость «Время - Температура» (рис. 2).

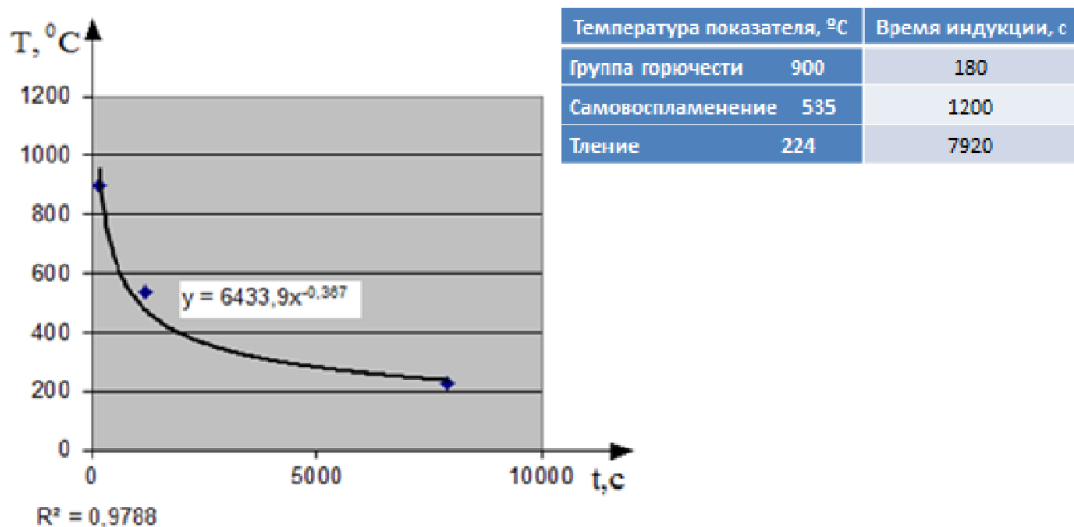


Рис. 2. Прогнозно-экстраполяционная кривая по характеристикам пожаровзрывоопасности угля марки СС

Для получения зависимости в виде степенной кривой был применен метод прогнозной экстраполяции – операция экстраполяции тренда с использованием программы Microsoft Excel.

Величина достоверности аппроксимации ( $R^2$ ) по имеющимся исходным температурным показателям составляет 0.9788, что считается допустимым.

Функция, описывающая полученную прогнозно-экстраполяционную кривую имеет вид степенной зависимости:

$$y = kx^n,$$

где  $k$ ,  $n$  – экспериментально определяемые константы.

Для случая Кузбасского угля марки СС были определены следующие константы:  $k=6433,9$ ,  $n=-0,3674$ .

Таким образом, выражение  $y=6433,9x^{-0,3674}$  является экспериментальной зависимостью, позволяющей определить время индукции до возникновения горения при определенной температуре. Данное выражение может представлять большое практическое значение для отраслей угледобычи, потребления и переработки.

Кроме того, исследование такого вида зависимости и алгоритм проведенных изысканий представляют собой методику нахождения времени индукции исследуемых веществ в зависимости от соответствующих температурных показателей.

Используя полученный алгоритм исследования, было проведено изучение самовозгорания осадка нефти, как проведением комплекса исследований на самовозгорание, так и посредством построения прогнозно – экстраполяционной кривой по характеристикам пожаровзрывоопасности (таблица 1) [3, 4].

Таблица 1. Характеристики пожаровзрывоопасности отложений нефти

Температура показателя, °С	Время индукции, с
Группа горючести 900	180
Самовоспламенение 535	1200
Вспышка 150	4500

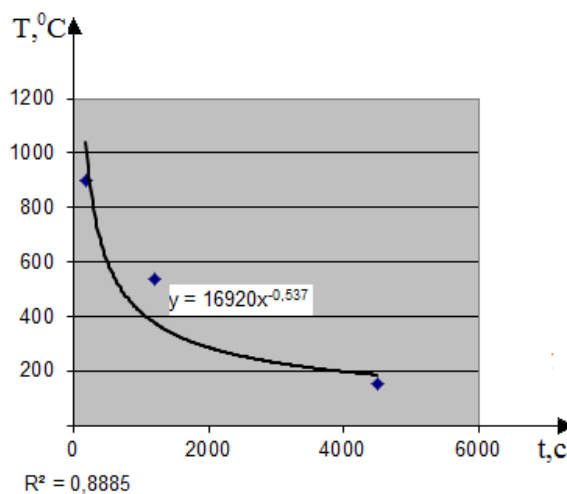


Рисунок 3. Прогнозно-экстраполяционная кривая по характеристикам пожаровзрывоопасности отложений нефти

Полученная прогнозно-экстраполяционная кривая имеет степенную зависимость:

$$y=16920x^{-0,537}$$

Располагая алгоритмом расчета времени индукции для таких веществ, как битум нефтяной окисленный (горючее твердое вещество, получаемое окислением остаточного продукта нефтеперегонки) и гудрон нефтяной (горючее твердое вещество, являющееся остаточным продуктом нефтеперегонки), провели проверку достоверности полученной зависимости и методики определения времени индукции самовоспламенения отложений нефти в целом.

Для битума нефтяного окисленного формула для расчета условий самовозгорания:

$$\lg t = 2,2912 - 0,122 \cdot \lg \tau [5],$$

где  $t$  – температура равная  $204^{\circ}\text{C}$ ;  $\tau$  – время индукции вещества.

Вычислено значение второго параметра:

$$\lg \tau = (\lg t - 2,2912) / (-0,122) = (\lg 204 - 2,2912) / (-0,122) = -0,151$$

$$\tau = 10^{-0,151} = 2542 \text{ с.}$$

Для гудрона нефтяного:

$$\lg t = 2,3106 - 0,122 \cdot \lg \tau [5],$$

где  $t$  – температура равная  $204^{\circ}\text{C}$ ;  $\tau$  – время индукции вещества.

Рассчитано значение времени индукции:

$$\lg \tau = (\lg t - 2,3106) / (-0,122) = (\lg 204 - 2,3106) / (-0,122) = -0,0079$$

$$\tau = 10^{0,0079} = 3665 \text{ с.}$$

Затем поставили использованный температурный показатель в полученную нами степенную зависимость прогнозно-экстраполяционной кривой характеристик пожаровзрывоопасности нефти.

$$y = 16920x^{-0,537},$$

где  $y$  – температурный показатель,  $x$  – время индукции.

Соответственно, время индукции составило 3742 с. Ориентируясь на  $R^2 = 0,8885$  – величину достоверности аппроксимации, было получено, что

$$x = \tau \cdot R^2 = 3742 \cdot 0,8885 = 3325 \text{ с.}$$

Сравнение полученных результатов с расчетными данными для битума и гудрона, показало, что временные показатели индукции образуют диапазон  $2542 < \tau(\text{с}) < 3665$ .

Очевидно, что полученная по разработанной методике величина  $\tau = 3325 \text{ с.}$ , с учетом поправки, является допустимой.

Таким образом, получены достоверные и применимые в практике нефтегазовой отрасли степенная зависимость времени индукции от температурного показателя:  $y = 16920x^{-0,537}$  и методика ее получения.

Практическая же значимость полученных результатов заключается в возможности понимания, представления и прогноза вероятных аварийных ситуаций и принятия соответствующих мер, направленных на предотвращение их возникновения, что устраняет или существенно снижает ущерб, наносимый ЧС(Н), выражающийся, как в нарушении технологического процесса на предприятии, финансовых затратах, так и в гибели людей и во вредном влиянии на экологию территории.

Таким образом, в результате проведенного исследования:

- изучены возможные опасности, возникающие в связи с проведением работ по зачистке резервуаров и технологических объемов от остатков нефтепродуктов;
- разработан алгоритм проведения исследований по определению времени индукции появления взрывоопасных концентраций внутри технологического оборудования, результат которой представлен в виде степенной функции  $y = 16920x^{-0,537}$ , и позволяющий прогнозировать развитие определенных событий, процессов, происходящих при ведении работ в нефтегазовой отрасли, что дает нам основания для принятия каких-либо предупредительных мероприятий.

#### Список литературы:

1. «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.1997 г. № 116-ФЗ (ред. от 25.06.2012 г.);
2. «О пожарной безопасности» от 21.12.1994 г. №69-ФЗ (ред. от 30.12.2012 г.);
3. Баратов А.Н., Корольченко А.Я., Кравчук Г.Н. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: справочное издание. - М., Химия, 1990;
4. Методы экспертных оценок. - режим доступа: <http://emm.ostu.ru>;
5. Сучков В.П., Безродный И.Ф., Вязниковцев А.В. Пожары резервуаров с нефтью и нефтепродуктами. - М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1992.

#### Построение математической модели определения закономерности нарастания концентраций горючих паров и газов в производственном помещении

*А.И. Сечин, И.Н. Долдин, И.Н. Курка*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск*

Проблема обращения с отходами является наиболее актуальной стоящей перед человечеством в настоящее время. Образование огромного количества отходов может серьезно подорвать природное равновесие регионов, здоровье и риск безопасности жизнедеятельности населения.

Актуальность рассматриваемого вопроса обусловлена и тем, что в последнее время участились случаи регистрации несоответствия атмосферного воздуха производственных



помещений для хранения токсичных отходов установленным требованиям. Данное обстоятельство срывает нормальное функционирование объекта и подвергает производственный персонал и окружающую среду опасности поражения.

Целью работы является разработка метода управления риском при обеспечении безопасности технологических процессов утилизации, складирования и регенерации отходов на основе математической модели определения закономерности нарастания концентраций горючих паров и газов в производственном помещении.

При расчётной температуре давление насыщенных паров в некотором объеме определяется по формуле:

$$\lg P_n = A - \frac{B}{C + t}$$

где  $A, B, C$  - константы Антуана рассматриваемого вещества;

$$P_n = V^{\lg P_n}$$

где  $V$  – общий объем вещества, пролившегося в результате аварийной ситуации.

Интенсивность испарения  $W$ , кг/(с·м<sup>2</sup>), определяют по справочным и экспериментальным данным. Для не нагретых выше температуры окружающей среды ЛВЖ, как в рассматриваемом случае и при отсутствии данных допускается рассчитывать  $W$  по формуле:

$$W = 10^{-6} h \sqrt{M p_n}$$

где  $h$  – коэффициент, принимаемый по таблице в зависимости от скорости и температуры воздушного потока над поверхностью испарения;  $M$  – молярная масса, г/моль;  $p_n$  – давление насыщенного пара при расчетной температуре жидкости  $t_p$ , определяемое по справочным данным, кПа.

Данное выражение применимо при температуре подстилающей поверхности от -50 до +40 °С.

Массу паров вещества поступивших в помещение определяли по выражению:

$$m = WFT$$

Плотность паров вещества при расчётной температуре находим по формуле:

$$P_n = \frac{M}{V_0 (1 + 0,00367t)}$$

где  $M$  – молярная масса, кг/кмоль;  $V_0$  – мольный объем;  $t_p$  – расчетная температура, °С.

В качестве расчетной температуры принимали максимально возможную температуру воздуха в данном помещении в соответствующей климатической зоне или максимально возможную температуру воздуха по технологическому регламенту с учетом возможного повышения температуры в аварийной ситуации. Величина этой расчетной температуры  $t_p$  оказалась близкой к допускаемой, что позволило принять ее равной 61 °С.

Далее определяли среднюю концентрацию паров вещества в помещении по выражению:

$$C_{cp} = \frac{100 \cdot m}{p_n \cdot V_{св}}$$

где  $V_{св}$  – свободный объем помещения. Опираясь на практику анализа подобных случаев, принимаем  $V_{св} = 0,8 \cdot V$ .

Стехиометрическая концентрация паров вещества, для наиболее неблагоприятного случая принимаемой в расчетной аварии, определялась по выражению:

$$C_{cm} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot \beta}$$

где  $C_{cm}$  – стехиометрическая концентрация паров ацетона, % (об.),  $\beta$  – коэффициент кислорода в реакции сгорания, вычисляется по формуле:

$$\beta = n_c + \frac{n_H - n_x}{4} - \frac{n_O}{2}$$

$n_c, n_H, n_O, n_x$  – число атомов  $C, H, O$  и галоидов в молекуле горючего.

Избыточное давление  $\Delta p$ , кПа, для индивидуальных горючих веществ, состоящих из атомов  $C, H, O, N, Cl, Br, I, F$ , рассчитывают по формуле:

$$\Delta p = (P_{max} - P_0) \cdot \frac{m \cdot Z}{V_{св} \cdot p_n} \cdot \frac{100}{C_{cm}} \cdot \frac{1}{K_n}$$

Где  $p_{max}$  – максимальное давление, развиваемое при сгорании стехиометрической паровоздушной смеси в замкнутом объеме, кПа;  $p_0$  – атмосферное давление, кПа;  $m$  – масса паров ацетона, кг, вышедших в результате расчетной аварии в помещение;  $Z$  – коэффициент участия горючего при сгорании газопаровоздушной смеси;  $V_{св}$  – свободный объем помещения, м<sup>3</sup>.

По результатам нахождения избыточного давления взрыва выбираем категорию помещения

Для построения математической модели времени индукции поступления паров в рабочее помещение необходимо провести расчеты объемов поступления паров вещества.

Известно, что при эксплуатации закрытых аппаратов и емкостей, находящихся под давлением, даже при их исправном состоянии всегда происходят небольшие утечки горючих веществ через прокладки, швы, разъемные соединения и другие места. Это объясняется тем, что даже при самой тщательной обработке прилегающих друг к другу поверхностей нельзя создать абсолютную непроницаемость. При соприкосновении двух поверхностей из-за наличия незначительных неровностей образуется большое количество капиллярных каналов, по которым будет происходить истечение газов и жидкостей.

Количество веществ  $G$ , выходящих через капиллярные каналы, определяется по уравнению Пуазейля–Гагена:

$$G = \frac{\pi}{128} \gamma \frac{\Delta P}{\mu l} d^2$$

где  $\Delta P$  – разность давлений, обуславливающая истечение веществ;  $\mu$  – вязкость веществ;  $l$  – длина капилляра;  $d$  – диаметр канала капилляра;  $\gamma$  – удельный вес вещества.

Из приведенной формулы видно, что величина утечки будет зависеть главным образом от режима работы оборудования и состояния его уплотнений. Естественно, что подсчет таких потерь весьма затруднителен, так как установить количество капилляров и их размеры почти невозможно.

Для ориентировочного определения утечки паров и газов из работающих под давлением герметичных аппаратов воспользуемся формулой Н.Н. Репина. Принимая, что просачивание паров и газов через не плотности подчиняется законам истечения через небольшие отверстия и что истечение происходит адиабатически:

$$G = KCV \sqrt{\frac{M}{T_{раб}}}$$

где  $G$  – количество паров и газов, выходящих из аппарата кг/ч;  $K$  – коэффициент, учитывающий степень износа производственного оборудования, принимается в пределах от 1 до 2;  $C$  – коэффициент, зависящий от давления паров или газов в аппарате (значения коэффициента даны в таблице 1);  $V$  – внутренний (свободный) объем аппаратов и коммуникаций, находящихся под давлением, м<sup>3</sup>;  $M$  – молекулярный вес газов или паров, находящихся под давлением в аппаратах;  $T_{раб}$  – температура паров или газов, находящихся в аппаратах, °К.

Таблица 1. Значение коэффициента  $C$ .

Рабочее $P$ , давление, ати	Менее 1	1	6	16	40	160	400	1000
Величина $C$	0,121	0,166	0,182	0,189	0,152	0,298	0,297	0,370

Утечки из нормально герметизированных резервуаров, работающих под давлением, происходят хотя и непрерывно, но обычно не вызывают реальной пожарной опасности, так как выходящие наружу маленькие струйки газа или пара чаще всего рассредоточены по поверхности резервуара и при наличии воздухообмена сразу же рассеиваются и отводятся от места их выделения.

Известно, что величину таких потерь учитывают при расчётах приточно-вытяжной вентиляции по предельно допустимой концентрации вредных веществ.

Нормальная герметичность неразъемных соединений достигается путем сварки, пайки, развальцовки, а также при помощи склеивающих и цементирующих составов. Герметичность разъемных соединений чаще всего достигается путем использования легкодеформируемых прокладочных материалов: (поливинилхлорид, фторопласты и др.), меди и др. Выбор прокладочных материалов производится с учётом величины рабочей температуры, давления, свойств веществ, устойчивости при воздействии температуры пожара.

Таким образом, в результате проведенного исследования определена методология проведения анализа скорости нарастания концентрации горючих паров или газов в производственном помещении. Данный порядок исследования позволяет получать исходные данные для управления риском при обеспечении безопасности технологических процессов утилизации, складирования и регенерации отходов.

#### Список литературы:

1. Монахов В.Т. Показатели пожарной опасности веществ и материалов. Анализ и предсказание. Газы и жидкости. (с приложениями). – М., 2007;
2. Баратов А.Н., Корольченко А.Я., Кравчук Г.Н. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: справочное издание. - М., Химия, 1990;
3. Сучков В.П., Безродный И.Ф., Вязниковцев А.В. Пожары резервуаров с нефтью и нефтепродуктами. - М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1992.
4. Зачистка хранилищ, шламонакопителей, отстойников, очистных сооружений, гидронаторов и т.д. Очистка резервуаров, зачистка резервуаров, очистка резервуаров от нефтепродукта. зачистка резервуаров от нефтешлама. – режим доступа: <http://www.ecor-ltd.ru>;

#### Построение математической модели для определения времени нарастания концентраций горючих паров и газов в некотором объеме

*А.И. Сечин, И.Н. Долдин, И.Н. Курка*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск*

Обращение с отходами является наиболее актуальной в настоящее время. Огромное их количество может серьезно подорвать как природное равновесие регионов, так и здоровье населения [1, 2].

Актуальность рассматриваемого вопроса обусловлена и тем, что нередко регистрируются несоответствия атмосферного воздуха производственных помещений для хранения токсичных отходов установленным требованиям. Данное обстоятельство ставит под угрозу нормальное функционирование объекта и подвергает производственный персонал и окружающую среду опасности поражения [3-5].

Целью работы является построение математической модели для определения закономерности нарастания концентраций горючих паров и газов в производственном помещении.

В общем виде длительность нарастания взрывоопасной концентрации в помещении будет зависеть, кроме СНПВ, от объема помещения  $V$ , воздухообмена  $n$  и интенсивности поступления газа  $f$ ,  $w$ , т. е.

$$\tau = F(C_{\text{ПДК}}, V, n, f, w)$$

где СПДК – предельно допустимая концентрация вещества, г/м<sup>3</sup>, % об;  $V$  – объем помещения, м<sup>3</sup>;  $n$  – кратность воздухообмена;  $w$  – скорость поступления горючего вещества, м<sup>3</sup>/с;  $f$  – площадь аварийного повреждения, м<sup>2</sup>;

Рассмотрим более подробно эту функциональную зависимость.

Для случая отсутствия воздухообмена в помещении.

Когда производственное помещение не имеет принудительной вентиляции или вентиляция не надежна (отсутствует резервный вентилятор, не осуществлено питание электродвигателей от двух независимых фидеров), создаются наиболее благоприятные условия для образования взрывоопасных концентраций при повреждениях и авариях производственного оборудования или трубопроводов.

В этом случае количество горючего вещества, выходящего наружу из оборудования за промежуток времени  $d\tau$ , должно быть равно приращению количества горючего вещества в воздухе помещения за тот же промежуток времени  $d\tau$ , или

$$qd\tau = VdC$$

где  $q$  — количество вещества, выходящего наружу в единицу времени;  $V$  — объем помещения;  $dC$  ~ приращение концентрации горючего вещества за время  $d\tau$ .

Проинтегрировав уравнение получим:

$$q \int_0^{\tau} d\tau = V \int_0^{C_{\text{ПДК}}} dC$$

$$q\tau = VC_{\text{ПДК}}$$

Выражаем время, тогда окончательно будем иметь

$$\tau = \frac{C_{\text{ПДК}}V}{q}$$

Для случая наличия воздухообмена в помещении.

При гарантированном воздухообмене часть выходящих при аварии паров или газов будут непрерывно отводиться из производственного помещения наружу, в результате чего нарастание концентрации до опасных пределов несколько замедлится. Если обозначить через  $n$  кратность воздухообмена в помещении в 1/ч, то количество воздуха, поступающего в помещение или выбрасываемого из него, будет равно:

$$a = \frac{nV}{3600}, \quad \text{м}^3/\text{с}.$$

Уравнение материального баланса за промежуток времени  $d\tau$  для данного случая, может быть записано в следующем виде: приращение количества горючего вещества в воздухе помещения будет равно количеству горючих веществ, поступающих из поврежденного аппарата за вычетом количества горючих веществ, выбрасываемых из помещения, или

$$VdC = qd\tau - aCd\tau,$$

$$VdC = (q - aC)d\tau$$

$$\frac{dC}{q - aC} = \frac{d\tau}{V}$$

Интегрируя дифференциальное уравнение получим:

$$-\frac{1}{a} \ln(q - aC) = \frac{\tau}{V} + A,$$

где  $A$  – постоянная интегрирования, определяемая по начальным условиям.

В момент времени  $\tau = 0$  концентрация  $C$  тоже равна нулю.

Следовательно,

$$A = -\frac{1}{a} \ln q$$

$$\text{Тогда} \quad -\frac{1}{a} \ln(q - aC) = \frac{\tau}{V} - \frac{1}{a} \ln q,$$

$$\tau = \frac{V}{a} [\ln q - \ln(q - aC)] = \frac{V}{a} \ln \left( \frac{q}{q - aC} \right)$$

откуда

При значительных повреждениях и авариях аппаратов или трубопроводов с горючими парами и газами в помещениях может образоваться взрывоопасная концентрация даже при работающей вентиляции (в том числе и аварийной) и так быстро, что вручную будет невозможно осуществить необходимые противоаварийные действия.

Чтобы обеспечить реальную возможность предотвращения взрыва и пожара, нужно уменьшить количество огнеопасных веществ, выходящих наружу при аварии аппаратов и трубопроводов.

Таким образом, в результате проведенного исследования составлена математическая модель определения закономерности нарастания концентраций горючих паров и газов в производственном помещении позволяющая наблюдать их динамику роста.

#### Список литературы:

1. Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 10.07.2012) "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности".
2. И. Л. Кнунянц. Краткая химическая энциклопедия, М.: Химия, 1969г.
3. Аванесов В.С., Александров А.Б., Александров А.И. и др. Анализ аварий и несчастных случаев в нефтегазовом комплексе России М.: ООО "Анализ опасностей", 2002. -309 с
4. Мартынюк В.Ф., Суворова В.В. Основные виды аварий газораспределительных системах. Управление качеством в нефтегазовом комплексе, 2006. - №2 – с.37-40

5. Красных Б.А., Мартынюк В.Ф., Сергиенко Т.С., Сорокин А.А., Феоктистов А.А., Нечаев А.С. Анализ аварий и несчастных случаев на объектах газового надзора. – М.: ООО “Анализ опасностей”, 2003.-320с

**Технико-экономическая оценка энергоэффективности применения традиционных и современных теплоизоляционных материалов для нужд централизованного теплоснабжения**  
**Танковская Л.В., Павлов М.В., Карпов Д.Ф., Юрчик М.С.**

*Вологодский государственный технический университет, Россия, г. Вологда*

При транспортировании теплоносителя от источника до потребителей теплоты в системах централизованного теплоснабжения наблюдаются неорганизованные потери тепловой энергии, связанные со способом прокладки трубопроводов, утечками сетевой воды, подтоплением теплотрасс с некачественной гидроизоляцией и т. п. В случае большой протяженности тепловых сетей определяющее значение оказывает вид, толщина и текущее эксплуатационное состояние тепловой изоляции трубопроводов.

В настоящее время фактические потери тепловой энергии от некачественно изолированных трубопроводов могут достигать 25 % от величины суммарной тепловой нагрузки [1]. Уменьшение тепловых потерь в окружающую среду благодаря применению энергосберегающих теплоизоляционных покрытий, а также системный контроль их теплозащитных качеств в течение всего эксплуатационного периода позволят сократить до минимума затраты невозобновляемых топливно-энергетических ресурсов на производство тепловой энергии. В любом случае снижение удельного потребления топлива на генерацию теплоты для нужд централизованного теплоснабжения создаст положительный экономический эффект, который частично решит экологическую проблему в отдельно взятом регионе, связанную с выбросами токсичных ( $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  и др.) и парниковых ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  и др.) газов в атмосферу [2].

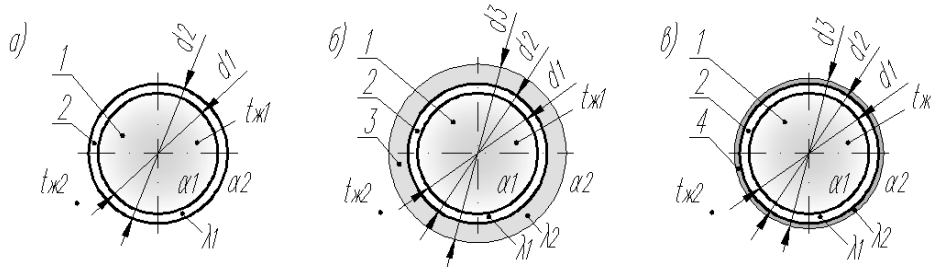
В соответствии с действующими нормативными требованиями (СНиП 41-03-2003) в качестве тепловой изоляции для трубопроводов с температурой содержащихся в них веществ в диапазоне от 20 до 300 °С для всех способов прокладки, кроме бесканальной, следует применять теплоизоляционные материалы и изделия с плотностью не более 200 кг/м<sup>3</sup> и коэффициентом теплопроводности в сухом состоянии не более 0,06 Вт/(м·К) при средней температуре 25 °С. Таким требованиям соответствует более 30 видов теплоизоляционных материалов, к которым можно отнести [2]: минеральную вату, армопенобетон, пенополиуретан и др.

Современные теплоизоляционные материалы в виду широкого рынка предложений и высокой конкуренции должны обладать не только хорошими теплоизоляционными свойствами, но и такими качествами как негорючесть, гидрофобизированность, звукоизоляция, большой срок эксплуатации, удобство в монтаже, гигиеничность, защита от коррозии, широкий температурный диапазон применения и т. п.

Основным видом применяемых в России утеплителей являются минераловатные изделия, доля которых в общем объеме производства и потребления составляет более 65 %, около 8 % приходится на стекловатные материалы, 20 % – на пенополистирол и другие пенопласты [3]. Благодаря минимальной теплопроводности, высокой адгезии с металлом, простоте нанесения на поверхность трубопровода с каждым годом все активней в строительстве и производстве применяется жидкая тепловая изоляция, толщина которой на поверхности теплопроводного материала может составлять от 1 до 3,5 мм. Низкие теплопроводные показатели сверхтонкой жидкой тепловой изоляции основаны на свойствах разряженного газа, заключенного в различного вида микросферах вещества (силикатных, керамических, силиконовых и др.) диаметром до 100 мкм, которые не только имеют низкий коэффициент теплопроводности, но и обладают высокими теплоотражающими характеристиками.

В настоящей работе приведено технико-экономическое сравнение трех вариантов конструктивного исполнения магистрального трубопровода тепловой сети (рис. 1): а) без тепловой

изоляции; б) с использованием традиционного утеплителя на примере минераловатного цилиндра Rockwool 100 [4]; в) с использованием инновационного утеплителя на примере теплоизоляционной краски Теплометт Стандарт [5].



**Рис. 1.** Конструктивное исполнение магистрального трубопровода: а) без тепловой изоляции; б) с тепловой изоляцией (минеральная вата); в) с тепловой изоляцией (теплоизоляционная краска): 1 – теплоноситель (вода); 2 – трубопровод; 3 – цилиндр из минеральной ваты; 4 – теплоизоляционная краска

Для сопоставления вариантов тепловой изоляции (рис. 1) выполним расчет тепловых потерь через погонный метр трубопровода. В качестве примера рассмотрим подающий магистральный трубопровод системы централизованного теплоснабжения типоразмером 76×3 (ГОСТ 10704-91), изготовленный из стали марки Ст3. Линейные потери теплоты в окружающую среду от цилиндрической стенки можно найти по уравнению теплопередачи при стационарном тепловом режиме [6]:

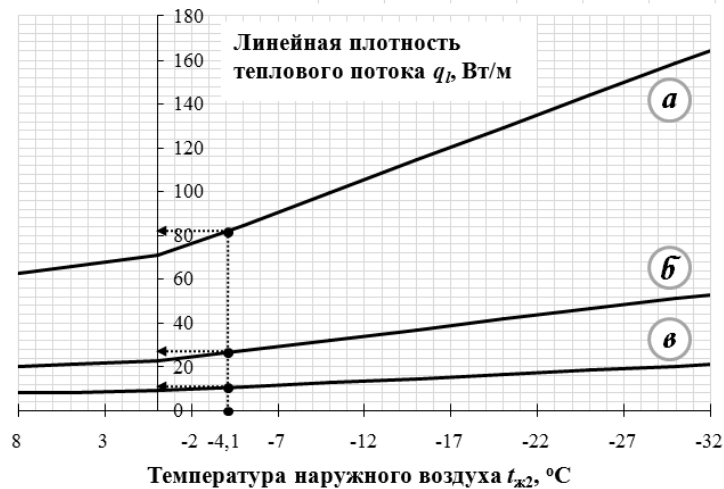
$$q_l = \frac{\pi(t_{ж1} - t_{ж2})}{\frac{1}{\alpha_1 d_1} + \sum_{i=1}^n \frac{1}{2\lambda_i} \ln \frac{d_{i+1}}{d_i} + \frac{1}{\alpha_2 d_{n+1}}}, \text{ Вт/м}, \quad (1)$$

где  $t_{ж1}$  и  $t_{ж2}$  - температура греющей и нагреваемой среды, °С;  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  - коэффициенты теплоотдачи, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $\lambda_i$  - коэффициент теплопроводности  $i$ -го слоя, Вт/(м·К);  $d_i$  и  $d_{i+1}$  - соответственно внутренний и наружный диаметры  $i$ -го слоя, м;  $d_{n+1}$  - наружный диаметр  $n$ -слойной конструкции, м;  $n$  - количество слоев.

На рис. 2 изображен график изменения тепловых потерь с единицы длины трубопровода, определенных аналитическим способом по выражению (1), согласно предложенным вариантам (рис. 1). При расчете тепловых потерь учтены изменения температуры сетевой воды  $t_{ж1}$  из уравнения (1) в подающем трубопроводе тепловой сети в соответствии с отопительно-бытовым температурным графиком качественного регулирования отпуска теплоты районной отопительной котельной. Расчетная температура сетевой воды в подающем трубопроводе  $t_{ж1} = 130$  °С (при  $t_{ж2} = -32$  °С), температура сетевой воды в точке излома графика  $t'_{ж1} = 70$  °С при  $t'_{ж2} = -0,925$  °С. По оси абсцисс приведен диапазон температур  $t_{ж2}$  отопительного периода для климатических условий г. Вологды (СНиП 23-01-99). Коэффициенты теплопроводности материалов: стали марки Ст3  $\lambda_1 = 50,2$  Вт/(м·К); минераловатного цилиндра Rockwool 100  $\lambda_2 = 0,037$  Вт/(м·К) (при толщине слоя тепловой изоляции 30 мм) [4]; теплоизоляционной краски Теплометт Стандарт  $\lambda_2 = 0,0012$  Вт/(м·К) (при толщине слоя тепловой изоляции 2 мм) [5].

Значения средних коэффициентов конвективного теплообмена для участка трубопровода  $\alpha_1 = 5377$  Вт/(м<sup>2</sup>·К) и  $\alpha_2 = 4,25$  Вт/(м<sup>2</sup>·К) получены по результатам

автоматизированного расчета с применением теории подобия [7]. Лучистый теплообмен на данном этапе работы не учитывался.



**Рис. 2.** Линейные потери теплоты через магистральный трубопровод: а) без тепловой изоляции; б) с тепловой изоляцией (минеральная вата); в) с тепловой изоляцией (теплоизоляционная краска)

В соответствии с рис. 2 максимальные тепловые потери через трубопровод наблюдаются в случае отсутствия тепловой изоляции (вариант «а»), что является вполне очевидным. При использовании минераловатного утеплителя (вариант «б») тепловые потери в окружающую среду сократятся на 68 %. Применение жидкой тепловой изоляции (вариант «в») даст максимальный положительный эффект, так как тепловые потери от первоначального значения (без утеплителя, вариант «а») уменьшаться на 87 %. В целом динамика изменения тепловых потерь от температуры наружного воздуха  $q_l = q_l(t_{ж2})$  имеет линейный вид, и только при температуре  $t'_{ж2} = -0,925$  °C температурный график меняет свой угол уклона к оси абсцисс (становится более пологим). Это связано с тем, что на участке температур от точки излома температурного графика до окончания отопительного сезона, т. е. на интервале  $t_{ж2} \in [-0,925; 8]$  °C, в результате постоянства температуры теплоносителя  $t_{ж1}$  в трубопроводе температурный напор между теплоносителем и наружным воздухом растет не так интенсивно с уменьшением температуры наружного воздуха, как на участке значений температуры  $t_{ж2} \in [-32; -0,925]$  °C. Если сравнивать между собой теплоизоляционные материалы трубопровода (варианты «б» и «в»), то при использовании теплоизоляционной краски тепловые потери в окружающую среду от теплоносителя сократятся на 61 % относительно минераловатного утеплителя.

В заключении выполним расчет экономического эффекта (за отопительный сезон) от применения традиционного и современного утеплителя для рассматриваемого погонного метра трубопровода, который можно найти по формуле:

$$\Theta = \frac{0,0864(q_{l,ht}^{[a]} - q_{l,ht}^{[б]}(q_{l,ht}^{[в]}))z_{ht} \cdot 10^{-3}}{Q_n^p} \cdot T_r, \text{ руб./}(м \cdot \text{год}), \quad 2)$$

где  $q_{l,ht}^{[a]}$ ,  $q_{l,ht}^{[б]}$  и  $q_{l,ht}^{[в]}$  - тепловые потери через трубопровод (для случаев «а», «б» и «в») соответственно) при средней температуре наружного воздуха за отопительный сезон (рис. 2), для г. Вологды  $t_{ж2}^{ht} = -4,1$  °C (СНиП 23-01-99);  $z_{ht}$  - продолжительность отопительного периода, для г. Вологды 231 сут (СНиП 23-01-99);  $Q_n^p$  - низшая теплота сгорания природного газа, МДж/м<sup>3</sup>;  $T_r$  - тариф на природный газ, руб./1000 м<sup>3</sup>.

Согласно рис. 2 и соотношению (2), при значениях  $q_{l,ht}^{[a]} = 81,6$  Вт/м,  $q_{l,ht}^{[б]} = 26,4$  Вт/м,  $q_{l,ht}^{[в]} = 10,4$  Вт/м экономический эффект от использования минераловатного цилиндра  $\mathcal{E}_1 = 149,5$  руб./(м·год), для слоя жидкой тепловой изоляции –  $\mathcal{E}_2 = 192,6$  руб./(м·год). Таким образом, разность экономических эффектов от применения традиционного и современного теплоизоляционного материала составит  $\Delta\mathcal{E} = \mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2 = 43,1$  руб./(м·год).

В любом случае при заявленном коэффициенте теплопроводности материала и текущей стоимости жидкой теплоизоляционной краски срок окупаемости энергосберегающего мероприятия по утеплению трубопроводов системы централизованного теплоснабжения не должен превысить полугода, что является вполне рентабельным для условий нашей страны.

#### Список литературы:

1. Комков В.А., Тимахова Н.С. Энергосбережение в жилищно-коммунальном хозяйстве. – М.: ИНФРА-М, 2010. – 320 с.
2. Варфоломеев Ю.М., Кокорин О.Я. Отопление и тепловые сети. – М.: ИНФРА-М, 2008. – 480 с.
3. Бобров Ю.Л., Овчаренко Е.Г., Шойхет Б.М., Петухова Е.Ю. Теплоизоляционные материалы и конструкции. – М.: ИНФРА-М, 2003. – 268 с.
4. <http://www.rockwool.ru>
5. <http://teplo-effect.ru>
6. Цветков Ф.Ф., Григорьев Б.А. Тепломассообмен. – М.: МЭИ, 2005. – 550 с.
7. Гухман А.А. Введение в теорию подобия. – М.: ЛКИ, 2010. – 296 с.

#### Разработка методики расчета нейтрализатора статического электричества для циклонных аппаратов

*А.И. Сечин, О.С. Кырмакова, С.А. Королева, М.В. Гуляев*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск*

Электризация сопровождает большинство процессов с участием твердых диэлектрических сред, но обычно не рассматривается. Это связано не только с тем, что механизм электризации малопонятен и в большинстве случаев проявляется слабо, но и тем, что не разработаны достаточно надежные методы исследования. Статическая электризация в промышленности чаще всего происходит в воздушной среде. Опасность воспламенения также наиболее часто создается разрядами в пылеобразующих материалах при транспортировании их по трубам и при перемещении в циклонах с высокой скоростью. Заряды статического электричества, накапливающиеся на различных материалах, частая причина несчастных случаев на производстве. Поэтому при устройстве и эксплуатации средств пневмотранспорта и сепарации пыли в циклонах следует принимать эффективные меры, предупреждающие накопление больших зарядов статического электричества и образование пылевоздушных смесей взрывоопасных концентраций [1, 2].

Цель данной работы - разработка методики расчета нейтрализатора статического электричества для циклонных аппаратов.

Для предотвращения возникновения разрядов, которые могут быть источником аварийной ситуации, предложено установить в циклоне индукционный нейтрализатор статического электричества игольчатого типа, тем самым создать управляемый разряд коронного типа. Схема представлена на рисунке 1.

Нейтрализатор имеет металлические иглы, расположенные на внешней поверхности выхлопной трубы циклона, которая надежно заземлена через корпус циклона. На заостренных концах металлических игл возникает коронный разряд, что приводит к появлению ионов воздуха, имеющих заряд, противоположный по знаку заряду движущихся в циклоне твердых частиц. В результате взаимодействия таких частиц и ионов уровень статической электризации снижается до безопасного значения. Но количество разрядов существенно возрастет, что обеспечит увеличение количества ионов.

Построение методики расчета индукционного нейтрализатора разработано на основе метода расчета молниезащиты, которая является средством защиты от атмосферного статического



электричества, с использованием инструкции по устройству молниезащиты зданий и сооружений РД 34.21.122-87.

На первом этапе определены параметры соответствия требованиям электростатической искробезопасности циклонного аппарата как технологического оборудования [3].

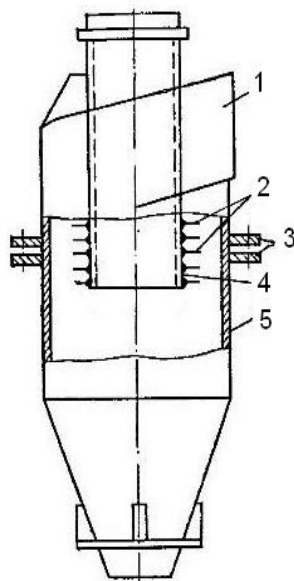


Рисунок 1. Схема нейтрализатора статического электричества, установленного в циклоне: 1 – входная труба; 2 – коронирующие иглы; 3 – фланцы; 4 – выхлопная труба; 5 – корпус циклона.

Исходные данные для анализа представляют собой:

Модель циклона – ЦН15-600.

Диаметр внутренней трубы циклона,  $D_e = 360$  мм.

Диаметр корпуса циклона,  $D_n = 600$  мм.

Высота внутренней трубы циклона,  $H = 1356$  мм.

Минимальная энергия зажигания этанола,  $W = 0,246$  мДж; (при  $25^\circ\text{C}$ )

Считают, что аппарат соответствует требованиям ЭСИБ [1], если радиус  $l$  (м) сферы, вписанной в его полость, соответствует минимальной энергии зажигания находящейся в нём горючей смеси. При значениях минимальной энергии зажигания  $W$  (Дж); смесей, в которых окислителем является воздух, от  $10^{-3}$  до  $10^{-1}$  Дж соответствующий линейный размер может быть определён по таблице 6 «Некоторые критериальные значения параметров разрядов статического электричества в условиях ЭСИБ слабой электризации».

Для значения минимальной энергии зажигания  $W = 0,246$  мДж; (при  $25^\circ\text{C}$ ), определяемая величина радиуса  $l$  (м) вписанной окружности, согласно табличному значению, составит:

$$l = 0,02 \text{ м} = 20 \text{ мм.}$$

Определено расстояние  $L$  между острием иглы и внешней поверхностью циклона по следующему выражению:

$$L = 0,5(D_n - D_e) \quad (1)$$

Величина  $L$  составляет 120 мм. Так как общий диаметр вписанной в полость циклона окружности равен:

$$d = 2l = 40 \text{ мм,} \quad (2)$$

то с учетом коэффициента запаса 30% эта величина составляет:

$$d = 2l \cdot 0,7 = 28 \text{ мм.} \quad (3)$$

Таким образом, высота коронирующих игл  $L_u$  для рассматриваемого циклона определяется из следующего выражения:

$$L_u = L - d, \quad (4)$$

после подстановки:

$$L_u = [0,5(D_n - D_e)] - d, \quad (5)$$

тогда высота коронирующих игл  $L_u = 92$  мм.

Диаметр коронирующих игл, согласно требованиям ЭСИБ [4], составляет  $2,3 \div 2,5$  мм.

Приняли, что металлическая игла на внешней поверхности выхлопной трубы циклона отображается как одиночный стержневой токоприемник. Тогда, зона защиты одиночного стержневого токоприемника высотой  $h$  представляет собой круговой конус (рисунок 2), вершина которого находится на высоте  $h_0 < h$ . На уровне основания зона защиты образует круг радиусом  $r_0$ .

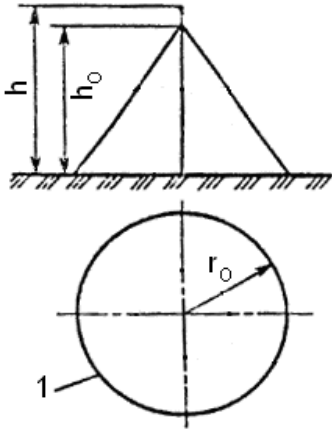


Рисунок 2. Зона защиты одиночного стержневого токоприемника:  
1 – граница зоны защиты на поверхности.

Зоны защиты одиночных стержневых токоприемников описываются следующими выражениями:

Для аппаратов высотой  $h \leq 4,2$  м имеют место следующие габаритные размеры:

Высота зоны защиты иглы:

$$h_0 = 0,85 \cdot h. \quad (6)$$

Радиус зоны защиты иглы:

$$r_0 = (1,1 - 0,002 \cdot h) \cdot h. \quad (7)$$

Считается что степень надежности зоны защиты 99,5% и выше.

Расчеты показали, что высота зоны защиты иглы:

$$H_0 = 0,85h = 78,2 \text{ мм} \quad (8)$$

А радиус зоны защиты иглы:

$$r_0 = (1,1 - 0,002h) = 84,272 \text{ мм}. \quad (9)$$

Так как выхлопная труба циклона представляет собой цилиндр, то площадь боковой поверхности прямого цилиндра вычисляется по его развёртке. Развёртка цилиндра – это прямоугольник с высотой  $H$  и длиной  $P$ , равной периметру основания. В частности, для прямого кругового цилиндра:

$$S = 2\pi r H, \quad (10)$$

Учитывая, что  $r = 0,5D$ , получаем:

$$S = \pi D H \quad (11)$$

Зона защиты иглы представляет собой окружность радиусом  $r_0$ . Следовательно, во избежание образования зазоров, где защита не будет действовать, необходимо учитывать расположение зон перекрытия. Для этого рассмотрим зону защиты поверхности внутренней трубы циклона как совокупность квадратов, у которых в точке пересечения их диагоналей будут располагаться основания игл, а описанные вокруг этих квадратов окружности будут иметь радиусы  $r_0$ . (рисунок 3)

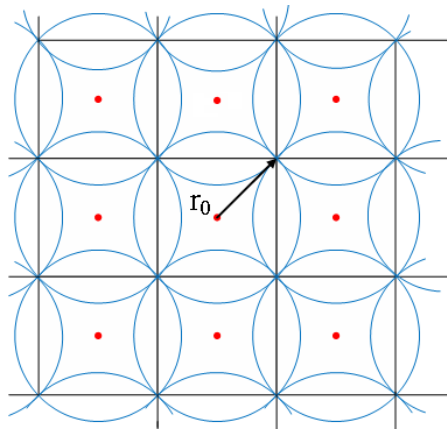


Рисунок 3. Схема зоны защиты поверхности внутренней трубы циклона

По теореме Пифагора находим длину стороны одного квадрата:

$$(2 \cdot r_0)^2 = a^2 + a^2 \quad (12)$$

$$a = \sqrt{2} \cdot r_0 \quad (13)$$

Число игл  $N$ , необходимое для покрытия зонами защиты всей боковой поверхности цилиндра:

$$N = \frac{\pi \cdot D \cdot H}{a^2} = 107,9 \quad (14)$$

Принимаем количество игл в нейтрализаторе  $N = 108$  шт.

Проверка правильности расчета состоит в определении площади зоны защиты, которая приходится на одну иглу:

$$S_1 = \frac{S}{N} = 14192,8 \text{ мм}^2 \quad (15)$$

Таким образом, для предотвращения возникновения разрядов в циклоне ЦН15-600 установили нейтрализатор статического электричества индукционного типа, имеющий 108 металлических игл, расположенные на внешней поверхности выхлопной трубы циклона. В результате взаимодействия частиц и ионов воздуха уровень статической электризации в циклоне снизится до безопасного значения.

Работа проводилась в рамках сотрудничества с Новокузнецким ОАО «Органика», где в технологических процессах производства лекарственных веществ широко проявляется статическая электризация.

#### Список литературы:

1. В.Н. Верёвкин, Г.И. Смелков, В.Н. Черкасов. Электростатическая искробезопасность и молниезащита. - М.: МИЭЭ, 2006. - 170 с.;
2. Попов Б.Г., Веревкин В.Н. Статическое электричество в химической промышленности. Л., Химия, Ленинградское отделение, 1977.- 238 с.;
3. Черкасов В.Н. Защита взрывоопасных сооружений от молнии и статического электричества. 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Стройиздат, 1984. - 1., 81 с.;
4. ГОСТ 12.4.124-83. ССБТ. Средства защиты от статического электричества. Общие технические требования.

#### Разработка установки по изучению электростатических полей в модельных полостях циклона

*А.И. Сечин, О.С. Кырмакова, С.А. Королева, М.В. Гуляев*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск*

Как известно, статическое электричество возникает при механических взаимодействиях в материальной среде, представленной веществами с высоким удельным объемным электрически сопротивлением ( $\rho$ ). Взаимодействие в основном выражается в виде трения и давления, проявляемые тем заметнее, чем больше взаимодействующие поверхности. При этом возникают неподвижные заряды статического электричества, величина которых зависит от ряда факторов. Исследователи установили, что интенсивная электризация возникает, если  $\rho$  больше и равно  $10^6$  Ом·м [1, 2]. Изложенные положения относятся и к тонкодисперсным воздушно-пылевым потокам. Если эти потоки представлены органическими веществами, то их статическая электризация создает опасность взрыва пожара в условиях, когда энергия разрядов статического электричества превышает минимальную энергию воспламенения пылевоздушной горючей среды. Следовательно, необходимо принятие мер, предотвращающих указанную опасность. В соответствующей литературе освещены способы защиты от опасных проявлений статического электричества. Реализация этих способов основана на использовании двух принципов:

- предотвращение накопления зарядов статического электричества;
- предотвращение опасных проявлений статического электричества.

Одним из известных и перспективных способов является применение нейтрализаторов заряда статического электричества, установленных на технологическом оборудовании в электризующихся средах.

Целью данной работы ставилась разработка установки по изучению электростатических полей в модельных полостях циклона.

Взяв за основу предположение, что материальный поток, двигаясь через циклон, будет претерпевать импульсное воздействие электростатического поля в виде эффекта коронирующего разряда на расположенных иглах, предложено моделировать электростатическое поле в виде электрических импульсов, характер которого представлен на рисунке 1. была разработана установка по исследованию технологических параметров электростатического нейтрализатора (рис. 2).

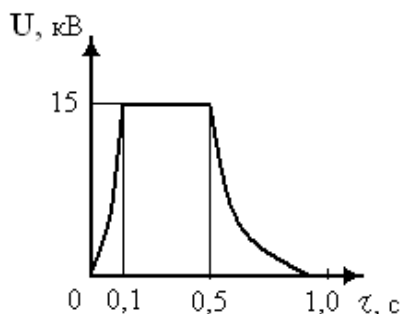


Рисунок 1. - Форма, величина и длительность электростатического импульса

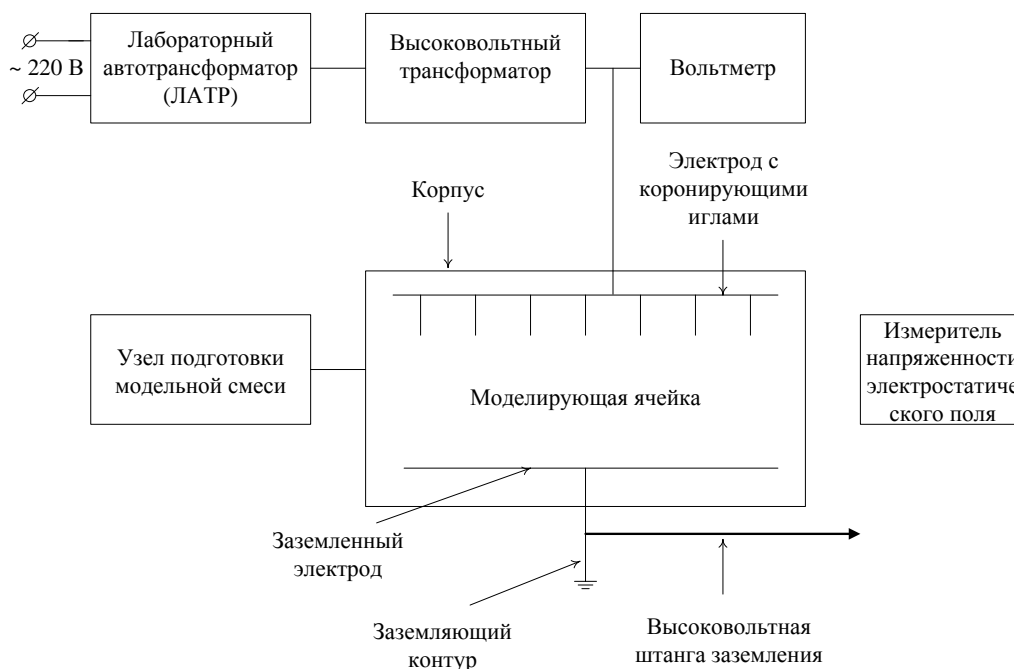


Рисунок 2. - Установка по исследованию технологических параметров электростатического нейтрализатора

*Описание установки.* На лабораторный автотрансформатор марки Э-378 подается напряжение 220 В. На вторичной обмотке происходит регулирование напряжения в диапазоне от 0 до 250 В, которое, в свою очередь, подается на высоковольтный трансформатор марки FA 4720000. Выходное напряжение на вторичной обмотке повышающего трансформатора измеряется с помощью вольтметра типа Ц-96 (0 - 15 кВ). Измеренное напряжение соответствует потенциалу на электроде. В моделирующей ячейке из-за разницы потенциалов между электродами с коронирующими иглами и заземленным электродом возникает электрическое поле. Измеритель напряженности электростатического поля марки ИЭСП-7 измеряет величину возникшего электрического поля.

Узел подготовки модельной смеси состоит из вентилятора, калорифера и спиртового дозатора.

*Методика проведения исследований.* Создавалось импульсное электрическое поле с частотой 1 импульс в секунду и величиной напряжения 15 кВ. Время обработки образца в этом

поле 1 минута, затем напряжение снималось, и после проверки его отсутствия производился отбор газопаровой пробы, после этого на ячейку подавалось импульсное электрическое поле, продолжалась обработка газопарового объема, затем вновь отбор пробы.

Полученные пробы обрабатывались на хроматографе Hewlett-Packard 5898 в лаборатории «Сибтест». Результаты представлены на рисунке 3.

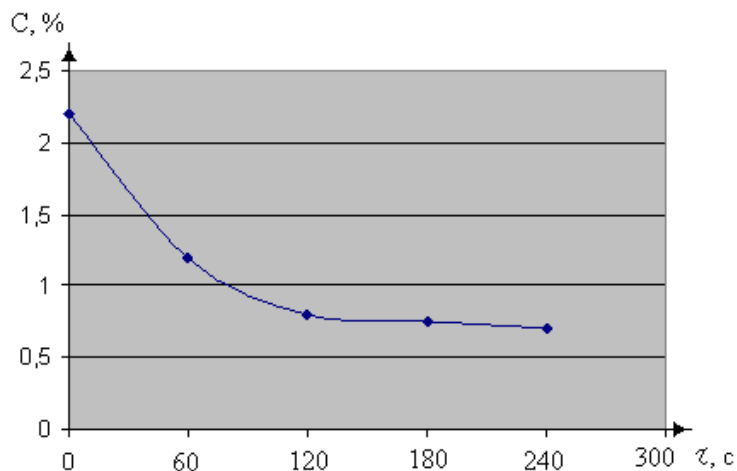


Рисунок 3. Зависимость убыли газосодержания паров этанола в воздухе от времени обработки образца

На графике наглядно продемонстрирована зависимость убыли газосодержания паров этилового спирта в воздухе от времени обработки образца. Следовательно, можно сделать вывод о том, что электрическое поле, создаваемое нейтрализатором, способствует снижению концентрации этанола в модельной смеси, что в свою очередь ведет к снижению пожаровзрывобезопасности циклона.

*Заключение.* В результате проведенного исследования представлены следующие выводы.

Разработана безопасная установка по изучению модельных электростатических полей в модельных полостях циклона.

Исследовано влияние расстояния от нейтрализатора до взаимодействующей поверхности.

Эксперимент на установке по исследованию технологических параметров электростатического нейтрализатора показал, что рассматриваемый индукционный нейтрализатор способствует уменьшению концентрации этилового спирта (этанола) в исследуемом объекте, что в свою очередь приводит к повышению его уровня безопасности.

Полученные в результате могут быть использованы как предварительные для рабочего проектирования на производстве.

#### Список литературы:

1. Б.К. Максимов, А.А. Обух. Статическое электричество в промышленности и защита от него. М.: Энергия, 1978.
2. Сечин А.И., Бошнятов Б.В., Косинцев В.И., Сечин А.А., Лаптев Д.А. Разработка комплексных мероприятий по обеспечению взрывопожаробезопасности шахтных технологических процессов / ж. Вестник Алма-атинского института связи. Алматы. №2. 2008. - С. 83-86.

#### Нормализация экологической обстановки на субъектах Российской Федерации за счет утилизации золошлаковых отходов

*Волокитин О.Г., Шеховцов В.В.*

*Томский государственно архитектурно-строительный университет, Россия, г. Томск  
shehovcov2010@yandex.ru*

Характерной особенностью нашего времени является интенсификация и глобализация воздействия человека на окружающую его природную среду, что сопровождается небывалыми ранее негативными последствиями этого воздействия. Концепция устойчивого развития нужна как система приоритетов в решении экологических проблем, как «инструкция», принятая

международным сообществом для ответа на вопрос о том, что следует, а чего не следует делать для длительного благополучного существования и развития человечества.

На субъекты в нашей стране существенное негативное влияние оказывает высокая доля энергетических промышленных отходов. Огромные количества золы и шлака скопились в отвалах, занимающих ценные земельные угодья. Содержание золошлаковых отходов требует значительных затрат. В то же время золы и шлаки тепловых электрических станций можно эффективно использовать в производстве различных строительных материалов, что подтверждается многочисленными научными исследованиями и практическим опытом. Актуальность темы определяется особой ролью внедрения энергии низкотемпературной плазмы в энергетические производства в связи с принципиальным изменением условий функционирования предприятий электроэнергетической отрасли, развитием процессов реструктуризации энергетических объектов. Таким образом, применения плазменных технологий целесообразно развивать с учетом общенаучной системной методологии.

Целью настоящей работы является создание электроплазменной установки для утилизации золошлаковых отходов при производстве минеральных волокон.

Процесс подачи сырьевых материалов в существующих электроплазменных установках осуществляется путем засыпания золы сверху, в плавильную печь в область горения плазменной дуги. Эксперименты показали, что в этом случае большое количество мелкодисперсных частиц не участвует в процессе плавления. Для исключения этого недостатка разработана электроплазменная установка, имеющая принципиально новую схему подачи сырья [1]. Принцип действия основан на использовании шнекового дозатора, процесс подачи сырья осуществляется с боковой части плавильной печи в область образованного силикатного расплава.

На (рис. 1) представлена схема экспериментальной установки, предназначенной для получения минерального волокна из расплава тугоплавких силикатсодержащих материалов. Установка состоит из следующих основных элементов: плазмотрона 1; водоохлаждаемой плавильной печи 3; шнекового питателя 6 и устройства волокнообразования 5.

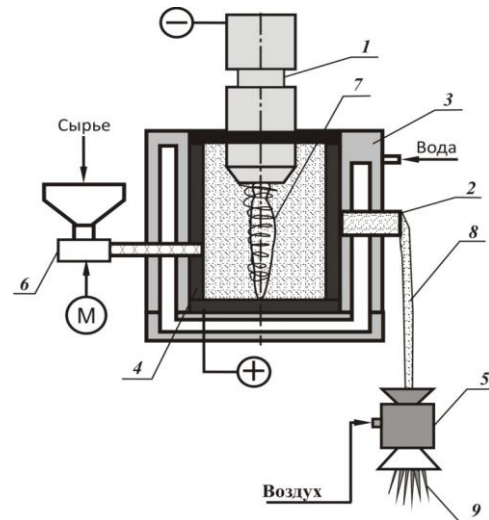
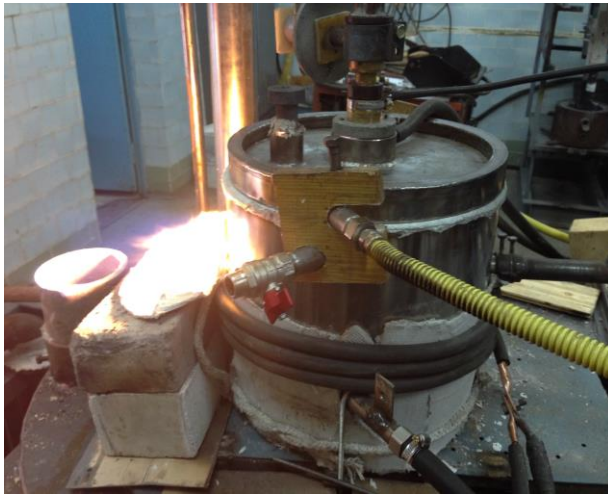


Рис. 1. Схема экспериментальной установки с комбинированным источником тепла для получения минерального волокна:

- 1 – плазмотрон; 2 – сливной желоб; 3 – водоохлаждаемая плавильная печь;  
4 – графитовый тигель; 5 – устройство волокнообразования; 6 – шнековый питатель;  
7 – плазменная дуга; 8 – расплав; 9 – минеральные волокна.

Принцип работы установки основан на взаимодействии высококонцентрированных потоков плазмы с порошкообразным тугоплавким силикатсодержащим материалом в результате, которого осуществляется нагрев дисперсных частиц с последующим образованием расплава 8. Образующийся расплав поступает к устройству волокнообразования 5. Использование конструкции дозирующего устройства со шнековым питателем 6 обеспечивает введение сырья не сверху на поверхность расплава, а с боковой части корпуса плавильной печи и непосредственно в область расплава. Частицы поступившей порции сырья, попадая в высокотемпературный расплав, смешиваются с ним и равномерно расплавляются, исключая выдувание мелкодисперсных частиц

потоком низкотемпературной плазмы. Сырье вводится в толщу уже образованного расплава и, в результате, посредством джоулевого нагрева по всему объему плавильной печи производится расплав введенного порошкообразного сырья. Что в результате позволяет понизить вязкость расплава и обеспечить равномерный его прогрев. После того, как расплав достигает уровня сливного желоба 2, поток силикатного расплава, переливаясь через его край, поступает к устройству 5 раздува в минеральные волокна. Графитовый тигель и устройство его охлаждения позволяет продлить срок службы плавильной печи.

В процессе получения расплава из золошлаковых отходов выделяют несколько стадий фазовых превращений: дегидратация, силикатообразование, гомогенизация и охлаждение со скоростью, предотвращающей процессы кристаллизации. Плазменный нагрев существенно влияет на термические преобразования в материале на всех стадиях обработки. Под действием энергии плазмы на начальной стадии (300-600 К) испаряется свободная вода, дегидратация происходит при резком повышении температуры (термическом ударе). Влага удаляется не только в парообразном, но и в жидком виде. Далее происходит плавление материала (1600-2100 К), при этом растут количество и глубина дефектов кристаллической решетки минералов. В процессе нагрева силикатного расплава его температура увеличивается до 2200-2700 К, при этом расплав под действием высококонцентрированных тепловых потоков гомогенизируется. Газообразование, газовыделение и гомогенизация протекают в интенсивном режиме (расплав кипит). При этом электропроводность расплава способствует увеличению его температуры за счет Джоулевого нагрева (часть тока проходит по расплаву).

После проведения экспериментов по получению высокотемпературных силикатных расплавов с помощью энергии низкотемпературной плазмы был проведен рентгенофазовый анализ золошлаковых отходов.

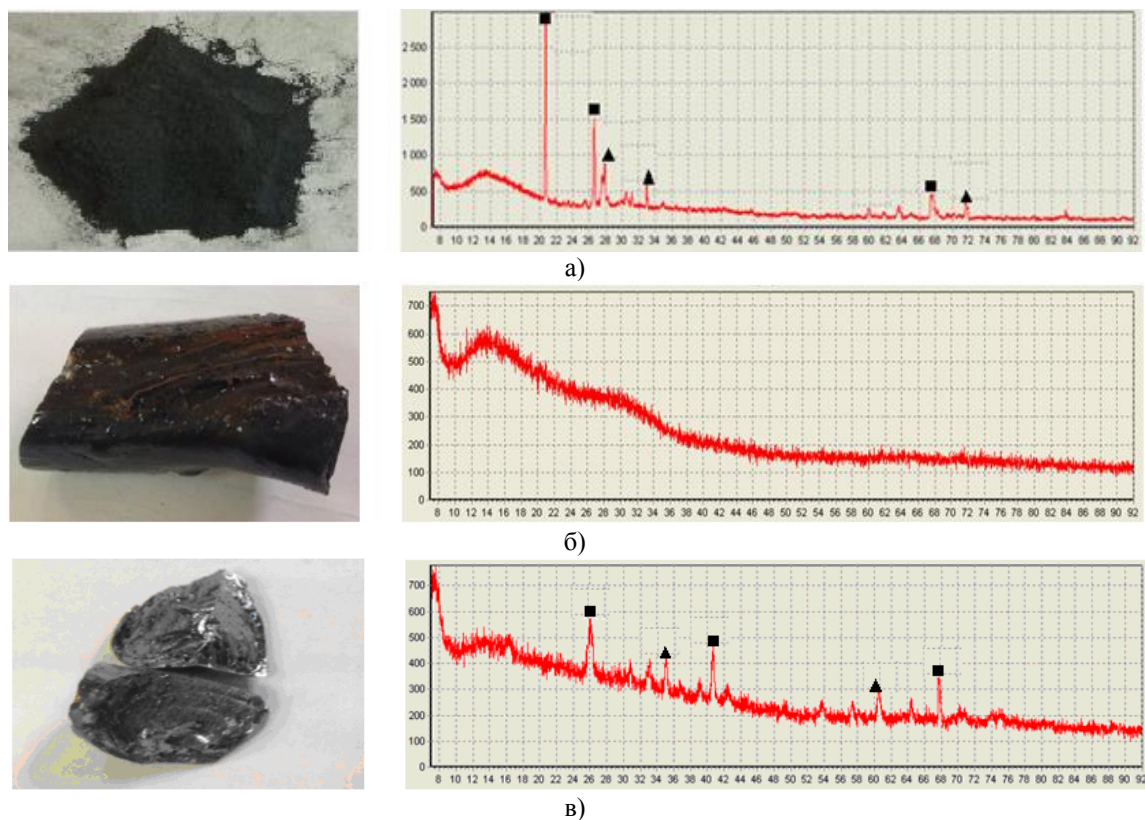


Рис. 2. Рентгенограммы исходного сырья и продуктов плавления  
 а – сырьевой материал; б – продукт плавления;  
 в – продукт плавления после термической выдержки (950 °С, 1 час)  
 (■ - SiO<sub>2</sub>; ▲ - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

На рентгенограмме исследуемого сырьевого материала (рис. 2, а) выраженными являются дифракционные максимумы SiO<sub>2</sub> и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, что подтверждается результатами химического анализа.

Исследования продукта плавления отходов энергетических производств (рис. 2, б) показали, что полученный продукт находится в стекловидном состоянии и характеризуется отсутствием кристаллических фаз. Для выяснения наличия фаз в продуктах плавления, была произведена термическая обработка стекловидного продукта охлажденного расплава в течение 1 часа при температуре 950 °С. Данный продукт (стекло) характеризуется низкой кристаллизационной способностью. На рентгенограмме (рис. 2 в) присутствуют незначительные пики  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

По результатам исследований разработана экспериментальная плазменная установка с принципиальной системой подачи сырья. Проведенные эксперименты показали возможность получения высокотемпературного силикатного расплава из отходов энергетических производств. Полученный расплав обладает требуемой для производства минеральных волокон вязкостью. Продукт плавления характеризуется низкой кристаллизационной способностью, что предполагает высокую термическую устойчивость, полученного на его основе минерального волокна. В результате, можно констатировать, что золошлаковые отходы являются весьма перспективной сферой для инноваций и инвестиций, имеющих многоцелевую направленность, и их переработка позволяет оказать существенное влияние на экологическую обстановку в РФ.

Работа частично поддержана грантом Президента РФ МК-2330.2013.8

#### **Список литературы:**

1. Решение о выдаче патента на изобретение. Приоритет Вх. № 040476 от 22.06.2012 № 2012126227. Плазменная установка для получения тугоплавкого силикатного расплава. Волокитин О.Г., Тимонов Е.В., Волокитин Г.Г., Никифоров А.А., Чибирков В.К.



## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Клиентоориентированный подход к обеспечению надежности электроснабжения</b>	
<i>Васильева М.В.</i> .....	5
<b>Повышение энергоэффективности объектов при реконструкции производств изопрена и ски на ООО "Тольяттикаучук"</b>	
<i>Деев М.А., Глухов Д.М.</i> .....	7
<b>Утилизатор тепла и холода вентиляционного воздуха с целью энергосбережения в жилых зданиях</b>	
<i>Захаров А.А., Низовцев М.И.</i> .....	9
<b>Расчет теплотерь при совместной прокладке трубопроводов тепловых сетей в условиях крайнего севера</b>	
<i>Игнатьев В.С., Иванов В.А.</i> .....	11
<b>О показателях энергетической эффективности</b>	
<i>Литвак В.В., Климова Г.Н.</i> .....	14
<b>Оценка объективно-обусловленного спроса на энергоресурсы с учетом потребительской корзины</b>	
<i>Климова Г.Н.</i> .....	18
<b>Аналитический обзор показателей для прогнозной модели топливно-энергетического баланса СФО</b>	
<i>Леонова В.К., Климова Г.Н.</i> .....	19
<b>О возможных мероприятиях энергосбережения в образовательных учреждениях</b>	
<i>Костоустова Е.В., Матвиевский А.М.</i> .....	22
<b>К вопросу о правовых аспектах применения повышающих коэффициентов к тарифам за потребление реактивной мощности</b>	
<i>Кузнецов А.В., Аргентова И.В.</i> .....	24
<b>Определение параметров энергопотребления и качества электроэнергии предприятия</b>	
<i>Ле Ван Туан</i> .....	26
<b>Оценка состояния производственного комплекса региона с использованием дискриминантного анализа</b>	
<i>Мыльниченко С.М.</i> .....	28
<b>Практическое применение базы энергосберегающих мероприятий</b>	
<i>Бухмиров В.В., Костерин А.Ю., Найденов В.В., Пророкова М.В.</i> .....	32
<b>Роль системы энергосбережения на предприятии</b>	
<i>Несветайло М.В.</i> .....	33
<b>Обоснование концепции образцовой системы теплоснабжения для повышения энергоэффективности действующих систем</b>	
<i>Николаев Ю.Е., Дубинин А.Б., Вдовенко И. А., Зябкин В.И.</i> .....	36
<b>Особенности модели на основе коэффициентов распределения для определения параметров энергосберегающих технологий</b>	
<i>В.С. Павлюков, С.В. Павлюков, С.П. Сусанин</i> .....	39
<b>Алгоритм составления плана мероприятий по снижению потерь электроэнергии</b>	
<i>Пейзель В.М., Бондарева К.В.</i> .....	42

<b>Перспективные направления реализации ресурсосберегающего управления технологическим процессом движения поездов</b> <i>Петуров В.И., Ташлыкова В.И., Шубин Д.А.</i> .....	45
<b>Сравнительный анализ и оценка эффективности электропотребления на технологических участках меднорудного карьера</b> <i>Пичуев А.В., Петров А.А., Овсянников Н.Б.</i> .....	46
<b>Анализ динамики электропотребления на технологических участках меднорудного карьера</b> <i>Пичуев А.В., Петров А.А., Овсянников Н.Б.</i> .....	50
<b>Оптимальная загрузка газотурбинных и газопоршневых агрегатов</b> <i>Обоскалов В.П., Кирпикова И.Л., Померанец Д.И.</i> .....	53
<b>Проблемы обеспечения надёжность электроснабжения города Душанбе и пути его решения</b> <i>Рахимов Ф.М., Касобов Л.С.</i> .....	57
<b>Взаимовлияние режимов электрической сети Таджикистана с введением проекта CASA-1000</b> <i>Худжасаидов Дж.Х., Рахимов Дж.Б., Султонов Ш.М., Ахъёев Дж.С.</i> ..	59
<b>Инновационные возможности энергосбережения промышленных предприятий на примере ООО «Тобольск-нефтехим»</b> <i>Рочев Е.А., Леонов Е.Н., Иванов И.Г.</i> .....	61
<b>Стратегические модели внедрения инновационной энергосберегающей технологии</b> <i>Русин Г.Л., Клавсуц И.Л.</i> .....	64
<b>Распределенная энергетика и энергетическая безопасность</b> <i>Сливной В.Н.</i> .....	68
<b>Выбор состава включенного генерирующего оборудования ТЭС на оптовом рынке электроэнергии</b> <i>Таран А.С.</i> .....	70
<b>Планирование потребления электроэнергии высшими учебными заведениями</b> <i>Ткаченко В.Ф.</i> .....	73
<b>Анализ целесообразности увеличения толщины термооболочки зданий</b> <i>В.Н. Угловский</i> .....	76
<b>Разработка эффективной программы энергосбережения для МУЗ «ШЦРБ»</b> <i>Худжамкулов Искандар Назарбаевич, Климова Галина Николаевна</i> ...	79
<b>Проекты повышения энергоэффективности и энергосбережения: особенности расчета ставки дисконтирования</b> <i>Чернов С.С., Бельчикова Е.С.</i> .....	83
<b>Центр управления и принятия решений для топливно-энергетического комплекса региона</b> <i>Лукьянец А.А., Чернов А.Г., Ротарь В.Г.</i> .....	86
<b>Способы оптимизации квартирного теплоснабжения</b> <i>Янченко А.В.</i> .....	87
<b>Сравнение электроемкости валового регионального продукта субъектов сибирского федерального округа</b> <i>Н.М. Чекмарева, М.В. Волков</i> .....	89

<b>Анализ математических моделей программного отпуска теплоты в помещения</b>	
<i>Казанцев Д.С.</i> .....	92
<b>Пространственное моделирование тепловых режимов хранилищ сжиженного газа с учетом сезонного промерзания грунта</b>	
<i>Н. С. Тетерина, Е.С. Глазырин</i> .....	96
<b>Планирование потребления электроэнергии высшими учебными заведениями</b>	
<i>Ткаченко В.Ф.</i> .....	99
<b>Облачные скопления - как способ защиты от радиации</b>	
<i>Деманова В.В., Орлова К.Н., Градобоев А.В.</i> .....	103
<b>Геология, горное дело и ядерная энергия</b>	
<i>Е.В. Комлева</i> .....	106
<b>Использование выгорающих поглотителей в реакторе ВВЭР – 1000</b>	
<i>Монгуш С.А.</i> .....	112
<b>Вывод из эксплуатации промышленных уран-графитовых реакторов ФГУП «ГХК»</b>	
<i>П.М. Гаврилов; А.А. Устинов; А.Г. Сиренко; М.В. Антоненко; Д.В. Жирников; А.А. Музыкантов</i> .....	113
<b>Тяжелая авария быстрых энергетических реакторов и способы уменьшения их последствий</b>	
<i>Мухамедов Н.Е., Бакаева Н.М., Степанова О.А.</i> .....	117
<b>Ядерная энергия в процессе индустриализации – модернизации во Вьетнаме</b>	
<i>Нгуен Ван Ву</i> .....	120
<b>Особенности зачистки бассейнов выдержки от радиоактивных иловых отложений при выводе из эксплуатации плутониевых уран-графитовых реакторов ФГУП «ГХК»</b>	
<i>Устинов А.А., Сиренко А.Г., Антоненко М.В., Жирников Д.В., Чернов Б.И., Иванов Е.С., Музыкантов А.А., Чубреев Д.О.</i> .....	121
<b>Проблема полония в свинцовом теплоносителе быстрого реактора</b>	
<i>Чуйкина А.В., Чиков М.С.</i> .....	124
<b>Исследование процесса гетерогенного каталитического разложения комплекса трилона б в азотнокислых растворах</b>	
<i>Г.А. Апальков, И.Г. Ефремов, А.Н. Дьяченко, А.Ю. Жабин, Г.Г. Кокарев</i> .....	126
<b>К расчету возраста нейтронов в графите</b>	
<i>Бас Т.В., Кузьмин А.В.</i> .....	131
<b>Расчет возраста нейтронов деления до индиевого резонанса в графите методом групп</b>	
<i>Бас Т.В., Кузьмин А.В.</i> .....	134
<b>Проектный облик термоэмиссионной электрогенерирующей сборки вынесенного типа с тугоплавкой высокотемпературной тепловой трубой</b>	
<i>Баучкин Ф.А.</i> .....	137
<b>К анализу поведения ТВЭЛА в зависимости от выгорания топлива</b>	
<i>Дашевский Р.В., Кузьмин А.В.</i> .....	141

<b>Перспектива внедрения процесса перколяции в технологии переработки ОЯТ</b>	
<i>Бондин В.В., Смирнов С.И., Коробейников А.И., Даровских П.Н., Дьяченко А.С.</i> . . . . .	144
<b>Определение эффективной температуры топлива реактора на тепловых нейтронах</b>	
<i>Кан А.Ю., Кузьмин А. В.</i> . . . . .	146
<b>Процесс перевода ИРТ-Т на низкообогащенное топливо</b>	
<i>Минин Т.И., Чуйкина А.В.</i> . . . . .	148
<b>Интеллектуальная система комплексного мониторинга использования энергетических ресурсов в условиях территориально-рассредоточенных потребителей минерально-сырьевого комплекса</b>	
<i>Абрамович Б.Н., Сычев Ю.А., Федоров А.В., Зимин Р.Ю.</i> . . . . .	151
<b>Акустический расчет трехкамерного глушителя шума со звукопоглощающими элементами методом конечных элементов</b>	
<i>Аграфонова А.А., Смирнов С.Г.</i> . . . . .	152
<b>Эколого-геохимическая характеристика территории г. Павлодара</b>	
<i>Ажаев Г.С., Кадырова М.С.</i> . . . . .	156
<b>Правило десяти моментов холостого хода механической передачи</b>	
<i>И.К. Александров</i> . . . . .	159
<b>Тренды ионосферных параметров над Новосибирском в концепции охлаждения и оседания средней и верхней атмосферы</b>	
<i>Белинская А.Ю., Грехов О.М.</i> . . . . .	166
<b>К вопросу о параметрах электроаппаратуры судовой телефонной связи</b>	
<i>Бутенко Ю.В., Федюк Р.С., Даниленко В.В., Миронов К.К.</i> . . . . .	169
<b>Анализ работы газоочистки и определение дисперсного состава уноса в зависимости от режима работы печи в производстве керамзита</b>	
<i>Е.Г. Зыков, В.А. Полюшко, А.С. Разва, М.В. Василевский</i> . . . . .	170
<b>Определение напряжения трения поршня дисперсного материала разного грансостава в трубопроводе</b>	
<i>М.В. Василевский, В.И. Романдин, А.С. Разва</i> . . . . .	173
<b>Региональная группировка температурных данных, полученных на метеостанциях Евразии</b>	
<i>Волков Ю.В., Тартаковский В.А.</i> . . . . .	177
<b>Интенсификация процессов биологического окисления углеводов, загрязняющих почвы западно-сибирского региона</b>	
<i>Бочкарева Ю.В., Галанова С.О.</i> . . . . .	178
<b>Защита нефтепроводов на подводных переходах</b>	
<i>Герасимов А.И.</i> . . . . .	181
<b>Определение ширины противопожарного разрыва в зависимости от скорости ветра и свойств лесного массива</b>	
<i>Гербель Д.П., Фрянова К.О.</i> . . . . .	183
<b>Численный анализ влияния инженерных сооружений на тепловые режимы подземных хранилищ сжиженного газа</b>	
<i>Е.С. Глазырин, Н.С. Тетерина.</i> . . . . .	186
<b>Слаботочные корабельные телефонные станции</b>	
<i>Городецкий И.В., Федюк Р.С., Алферьев И.С., Комардин Д.В.</i> . . . . .	189

<b>К вопросу об экологической составляющей при выборе автономного источника теплоснабжения</b> <i>Гринкруг Н.В., Костиков С.А.</i> .....	190
<b>Экологические показатели Улан-Удэнской ТЭЦ-1 на основе энергоаудита</b> <i>Дамбиев Ц.Ц., Ганбаатар Ш., Баранова Е.А., Сафронов Е.В.</i> .....	194
<b>Новые методики определения ионов тяжелых металлов в сточных водах для дальнейшего мониторинга</b> <i>Елина В.В., Садомцева О.С., Шакирова В.В., Бровко Е.В., Кожина А.Д.</i> .....	197
<b>Оценка интенсивности воздействия автотранспорта на окружающую среду</b> <i>С.Н. Ефремова</i> .....	199
<b>Исследование химической кинетики поглощения газового конденсата почвами Омской области</b> <i>Жемчугова Е.Ю.</i> .....	202
<b>Анализ годовой энергетической освещенности на основании метеонаблюдений погоды в Душанбе</b> <i>Иноятов М.Б., Масуми Ф.Н., У.У. Косимов</i> .....	205
<b>Аспекты тонкодисперсного аэродинамического распыления</b> <i>Ишиматов А.Н., Елесин В.В., Трубников А.А., Огородников С.П.</i> .....	208
<b>The improvement of the ecological properties of automobile gasoline by the removal of benzene from reforming units</b> <i>Kamzina M.A., Sidorov G.M.</i> .....	212
<b>Системы дистанционного управления судовым главным двигателем</b> <i>Ким А.Я, Медведев Н.А., Алферьев И.С., Федюк Р.С., Миронов К.К.</i> ...	213
<b>Влияние температурных вариаций на магнитные измерения</b> <i>Ковалев А.А., Белинская А.Ю., Грехов О.М., Федотова О.И.</i> .....	215
<b>Слаботочная судовая сигнализация</b> <i>Комардин Д.В., Федюк Р.С., Будько Р.Н.</i> .....	218
<b>Защита и эффективное использование геологического наследия России</b> <i>Е.Д. Корф</i> .....	220
<b>Перспективы переработки и использования отходов энергетической деятельности</b> <i>Кравченко А.В.</i> .....	222
<b>Методика определения химического состава, массовой доли компонентов и размеров частиц торфяного шлама</b> <i>Кузьмин В.А., Заграй И.А., Рукавишников Р.В.</i> .....	225
<b>Повышение энергоэффективности процесса сушки торфа в паровых трубчатых сушилках с помощью распознавания и классификация производственных ситуаций</b> <i>Кулаковский Л.Я., Розен В.П., Алтухов Е.И.</i> .....	228
<b>Концепция утилизации минеральной части бурых углей Шивэ-Овооского месторождения Монголии</b> <i>Кучерина А. Н., Долгих А. Ю., Николаева В.И., Черкашина Г.А.</i> .....	230
<b>Экстренная психологическая помощь в экстремальных ситуациях</b> <i>Левченко А.А., Сечин А.А.</i> .....	233

<b>Применение импульсного коронного разряда для очистки нефтесодержащих сточных вод</b>	
<i>Маринин С.А., Сапрыкин Ф.Е., Грязнова Е.Н., Хаскельберг М.Б., Корнев Я.И.</i> .....	235
<b>Возможность использования природных цеолитов для очистки сточных вод электростанций от соединений тяжелых металлов</b>	
<i>Мосолков А. Ю., Мартемьянов Д. В., Дозморов П. С., Мухортова Ю. Р.</i> .....	238
<b>Перспективы утилизации твердых бытовых отходов термическим методом</b>	
<i>Мухаметшина Э.И.</i> .....	241
<b>Перспективы применения установок вентиляционных регенеративных компактных (УВРК) в учебных аудиториях</b>	
<i>Назаревич В.В., Новоселов А.С.</i> .....	244
<b>Влияние условий получения и длительности хранения на активность электровзрывных нанопорошков алюминия</b>	
<i>Амелькович Ю.А., Назаренко О.Б., Сечин А.И.</i> .....	247
<b>Использование нанопорошка нитрида алюминия в качестве пламягасящей добавки</b>	
<i>Ильин А.П., Назаренко О.Б., Баталова А.Ю.</i> .....	250
<b>Удаление фосфатов из сточных вод ОАО «Томское пиво»</b>	
<i>Нагорных Е.А., Зарубина Р.Ф., Назаренко О.Б.</i> .....	253
<b>Исследование физико-химических свойств природных цеолитов Монголии</b>	
<i>Батдемберел Г., Назаренко О.Б., Татарина Е.Н.</i> .....	256
<b>Качественный анализ загрязнения воздуха методом лишеноиндикации</b>	
<i>Кондратова А.А, Орлова К.Н</i> .....	259
<b>Философско-мировоззренческая составляющая при изучении общепрофессиональных дисциплин инженерно-технического направления (на примере электротехники)</b>	
<i>Петуров В.И., Куркин К.О., Пешикова Ю.В.</i> .....	261
<b>Определение коэффициента вертикальной диффузии при помощи метода мхов-биомониторов и математического моделирования</b>	
<i>Рыжакова Н.К., Покровская Е.А.</i> .....	264
<b>Определение скорости гравитационного оседания частиц летучей золы при помощи метода мхов-биомониторов и математического моделирования</b>	
<i>Рыжакова Н.К., Покровская Е.А.</i> .....	267
<b>Саманные дома как образец экологичного строительства</b>	
<i>Прунскас В.В., Федюк Р.С.</i> .....	270
<b>Биоиндикация маркеров производства ядерно-топливного цикла, на примере Сибирского химического комбината</b>	
<i>Рогова Н.С., Рыжакова Н.К., Борисенко А.Л., Меркулов В.Г.</i> .....	273
<b>Радиоэкологический паспорт промышленных объектов города Юрга</b>	
<i>Семенов А.А., Орлова К.Н.</i> .....	276
<b>Взаимодействие объектов железнодорожного транспорта с окружающей средой</b>	
<i>Серегина С.Ю.</i> .....	278

<b>Мобильное устройство для прогрева грунта и дорожного покрытия при аварийно-ремонтных и восстановительных работах</b> <i>Синицын А.А., Тюкин Н.Н., Ильичев Е.А.</i> . . . . .	280
<b>Основная проблема пожаровзрывобезопасности в шахтных технологических объемах и оценка уровня безопасности рабочего персонала в них</b> <i>К.С. Скорюпина</i> . . . . .	283
<b>О влиянии инфракрасного отопления на организм человека</b> <i>Ю.С. Солнышкова, А.И. Погодин, Н.А. Хан, М.Н. Мечтаева, В.В. Галчинская</i> . . . . .	286
<b>Оценка гидроэнергетических ресурсов Казахстана</b> <i>Сопруненко Э.Е., Назаренко О.Б.</i> . . . . .	288
<b>Реформа в методологии оценки условий труда</b> <i>Э.Е. Сопруненко, Н.А. Чулков</i> . . . . .	290
<b>Повышение экологической и промышленной безопасности предприятий угольной отрасли путем переработки водноугольных отходов</b> <i>А.В. Неведров, А.В. Папин, А.И. Сечин</i> . . . . .	293
<b>Технология переработки отходов коксохимических производств</b> <i>Солодов В.С., Папин А.В., Сечин А.И., Неведров А.В.</i> . . . . .	295
<b>Исследование тепловой эффективности процесса анаэробной ферментации органических ТБО</b> <i>Исламова С.И.</i> . . . . .	296
<b>Проблема сбора бытовых отходов в городе Томск</b> <i>Лаутенилегер Н.Н., Сечин А.А.</i> . . . . .	299
<b>К вопросу обеспечения пожаровзрывобезопасности шахтных технологических объемов.</b> <i>Сечин А.И., Мезенцева И.Л.</i> . . . . .	302
<b>Регионарные функции легких при хронической обструктивной болезни легких</b> <i>Агеева Т.С., Тетенев Ф.Ф., Дубоделова А.В., Левченко А.В., Мишустина Е.Л., Кривоногов Н.Г.</i> . . . . .	306
<b>Влияние хронической патологии ротоглотки у детей на развитие синдрома дефицита внимания/гиперактивности</b> <i>С.В. Самарина, А.П. Помогаева, Т.В. Матковская</i> . . . . .	308
<b>Работа внутрилегочного источника механической энергии у здоровых лиц и при внебольничной пневмонии</b> <i>Тетенев Ф.Ф., Тетенев К.Ф., Бодрова Т.Н., Агеева Т.С., Карзилов А.И.</i> . . . . .	310
<b>Возможности экспираторно-инспираторной компьютерной томографии для характеристики вентиляционной функции легких</b> <i>Якомаскина М.В., Завадовская В.Д., Агеева Т.С., Тетенев Ф.Ф., Мишустина Е.Л.</i> . . . . .	313
<b>Клиническое значение гиперлептинемии при гипертонической болезни с метаболическим синдромом</b> <i>Беспалова И.Д., Калюжин В.В., Рязанцева Н.В., Медянцева Ю.А., Мурашев Б.Ю., Осихов И.А.</i> . . . . .	314

<b>Роль системного воспаления в механизмах метаболического синдрома и снижении качества жизни больных гипертонической болезнью</b> <i>Беспалова И.Д., Калюжин В.В., Рязанцева Н.В., Медянцев Ю.А., Мурашев Б.Ю., Осихов И.А. ....</i>	318
<b>Противовоспалительный эффект статинов при метаболическом синдроме</b> <i>Беспалова И.Д., Калюжин В.В., Рязанцева Н.В., Медянцев Ю.А., Мурашев Б.Ю., Осихов И.А. ....</i>	321
<b>Инфекционная теория атеросклероза</b> <i>В.Т. Волков, Н.Н. Волкова ....</i>	324
<b>Вирусная или нанобактериальная природа гепатита?</b> <i>В.Т. Волков, Н.Н. Волкова ....</i>	328
<b>Клинические и гематологические проявления Эпштейн-Барр вирусного инфекционного мононуклеоза у детей в остром периоде и в катамнезе</b> <i>Помогаева А.П., Потарская Е.В. ....</i>	332
<b>Анализ показателей дельта-пикфлоу у больных бронхиальной астмы до и после лечения хронического описторхоза</b> <i>Калинина О.В., Месько П.Е., Бодрова Т.Н., Карзилов А.И., Якис О.В. ...</i>	334
<b>Состояние регуляции дыхания у здоровых лиц при электромеханическом воздействии на аппарат внешнего дыхания</b> <i>Карзилов А.И., Тетенев Ф.Ф., Калинина О.В., Якис О.В., Месько П.Е., Карзилова А.А. ....</i>	336
<b>Факторы риска преждевременной смертности в открытой популяции г. Томска</b> <i>Конобеевская И.Н., Ефимова Е.В. ....</i>	337
<b>Характеристика 20-летнего тренда демографической ситуации в Томске</b> <i>Конобеевская И.Н., Ефимова Е.В. ....</i>	340
<b>Лечение рубцовых последствий ожогов</b> <i>Мельник Д.Д., Гюнтер В.Э., Шалыгин В.А., Трохимчук Н.И., Шериф Л.А. ....</i>	344
<b>Роль цитокинов в 2,03 патогенезе воспаления при метаболическом синдроме</b> <i>Мурашев Б.Ю., Беспалова И.Д., Рязанцева Н.В., Новицкий В.В., Калюжин В.В., Медянцев Ю.А., Осихов И.А. ....</i>	347
<b>Терапия острых и хронических ларингитов у пациентов в зависимости от результатов бактериологического исследования микрофлоры гортани</b> <i>Чуйкова К.И., Зарипова Т.Н., Мухина В.И. ....</i>	349
<b>Современный взгляд на использование бактериофагов при воспалительных процессах</b> <i>В.И. Мухина; И.А. Смородина ....</i>	354
<b>Особенности гормонального статуса в патогенезе воспаления жировой ткани при метаболическом синдроме</b> <i>Осихов И.А., Беспалова И.Д., Мурашев Б.Ю., Рязанцева Н.В., Новицкий В.В. ....</i>	357
<b>Оценка факторов риска развития железодефицитной анемии у детей в амбулаторно-поликлинической практике</b> <i>Пономарева Д.А., Ильиных А.А., Нагаева Т. А. ....</i>	360



<b>Виды недостаточности внешнего дыхания у ликвидаторов последствий аварии на чернобыльской АЭС</b>	
<i>Поровский Я.В., Бодрова Т.Н., Кузнецова О.В., Тетенев Ф.Ф. ....</i>	361
<b>Состояние щитовидной железы и коры надпочечников у детей, проживающих на территории, загрязненной радиационно-химическими веществами и микроэлементного состава волос, почв, молока</b>	
<i>Матковская Т. В. , Барановская Н. В, Ямановская Е.А. ....</i>	364
<b>Нанобактериальная этиология узлового зоба</b>	
<i>В.Т. Волков, Н.Н. Волкова ....</i>	366
<b>Отрицательный общий и эластический гистерезис легких у здоровых людей и при пневмонии</b>	
<i>Тетенев Ф.Ф., Тетенев К.Ф., Бодрова Т.Н., Агеева Т.С., Карзилов А.И. ....</i>	370
<b>Роль функционального снижения эластичности легких при гиперинфляции</b>	
<i>Тетенев Ф.Ф., Тетенев К.Ф., Бодрова Т.Н., Агеева Т.С., Карзилов А.И. ....</i>	372
<b>Энергодисперсионный анализ химического состава оксидных нанофазных покрытий, полученных при индукционно-термической обработке титана</b>	
<i>Фомин А.А., Родионов И.В., Пошивалова Е.Ю., Фомина М.А., Штейнгауэр Н.Н., Захаревич А.М., Петрова Н.В. ....</i>	374
<b>Особенности течения острых респираторных заболеваний у часто болеющих детей с хроническими заболеваниями лимфоидной ткани носоглотки</b>	
<i>Фурманова Е.А. ....</i>	377
<b>Вскармливание детей первого года жизни по данным поликлинического отделения №2 МАУЗ «ДГБ №1» г. Томска</b>	
<i>Цыганкова М.П., Шатрова Н.А. ....</i>	378
<b>Кандидатные параметры в гомеостатические величины аппарата внешнего дыхания у больных хроническим необструктивным бронхитом в сочетании с пневмофиброзом</b>	
<i>О.В. Якис, А.И. Карзилов, Ф.Ф. Тетенев, О.В. Калинина ....</i>	380
<b>Сопоставительный анализ методов термического воздействия на бетонную смесь</b>	
<i>Голдаев С.В., Шерина А.Е. ....</i>	382
<b>Оптимизация энергопотребления обоганительными процессами горно-металлургической промышленности</b>	
<i>Камалов Т.С., Ишнараров О.Х. ....</i>	385
<b>Об использовании силикагелей для повышения долговечности котельного оборудования</b>	
<i>Голдаев С.В., Хушвактов А.А. ....</i>	386
<b>Использование в промышленности золошлаковых отходов теплоэлектростанций, работающих на углях</b>	
<i>Крушенко Г.Г. ....</i>	389

<b>Формирование экокультуры казахстанского общества как решающего фактора реализации концепции по переходу республики Казахстан к зеленой экономике</b> <i>Хамзина Ш.Ш., Кадырова М.С.</i> . . . . .	391
<b>Применение перспективных потребителей электроэнергии в качестве потребителей-регуляторов</b> <i>Ханаев В.В.</i> . . . . .	395
<b>Сопоставительный анализ методов термического воздействия на бетонную смесь</b> <i>Голдаев С.В., Шерина А.Е.</i> . . . . .	398
<b>Анализ и разработка мероприятий по обеспечению безопасности работ при зачистке технологических резервуаров от остатков нефтепродуктов</b> <i>А.И. Сечин, О.С. Кырмакова, С.И. Осипенко</i> . . . . .	400
<b>Построение прогнозно-экстраполяционной зависимости времени индукции воспламенения по характеристикам пожаровзрывоопасности вещества</b> <i>А.И. Сечин, О.С. Кырмакова, С.И. Осипенко</i> . . . . .	404
<b>Построение математической модели определения закономерности нарастания концентраций горючих паров и газов в производственном помещении</b> <i>А.И. Сечин, И.Н. Долдин, И.Н. Курка</i> . . . . .	407
<b>Построение математической модели для определения времени нарастания концентраций горючих паров и газов в некотором объеме</b> <i>А.И. Сечин, И.Н. Долдин, И.Н. Курка</i> . . . . .	410
<b>Технико-экономическая оценка энергоэффективности применения традиционных и современных теплоизоляционных материалов для нужд централизованного теплоснабжения</b> <i>Танковская Л.В., Павлов М.В., Карпов Д.Ф., Юрчик М.С.</i> . . . . .	412
<b>Разработка методики расчета нейтрализатора статического электричества для циклонных аппаратов</b> <i>А.И. Сечин, О.С. Кырмакова, С.А. Королева, М.В. Гуляев</i> . . . . .	415
<b>Разработка установки по изучению электростатических полей в модельных полостях циклона</b> <i>А.И. Сечин, О.С. Кырмакова, С.А. Королева, М.В. Гуляев</i> . . . . .	418
<b>Нормализация экологической обстановки на субъектах Российской Федерации за счет утилизации золошлаковых отходов</b> <i>Волокитин О.Г., Шеховцов В.В.</i> . . . . .	420

Научное издание

**ЭНЕРГЕТИКА:  
ЭФФЕКТИВНОСТЬ, НАДЕЖНОСТЬ, БЕЗОПАСНОСТЬ**

Материалы докладов XIX Всероссийской  
научно-технической конференции