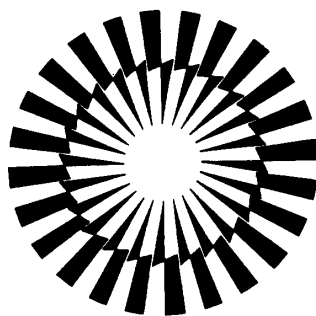


РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ТОМСКОЕ ПРОФЕССОРСКОЕ СОБРАНИЕ  
СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
МЕЖДУНАРОДНАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ  
МЕЖДУНАРОДНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК ЭКОЛОГИИ И БЕЗОПАСНОСТИ  
ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

**МАТЕРИАЛЫ ДОКЛАДОВ ВОСЕМНАДЦАТОЙ  
ВСЕРОССИЙСКОЙ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

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



Томск - 2012

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

Энергетика: Эффективность, надежность, безопасность:  
Э65 материалы XVIII Всероссийской научно-технической конференции /  
Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во ООО «СПБ  
Графикс», 2012. – 532 с.

Настоящий сборник содержит материалы восемнадцатой Всероссийской научно-технической конференции “Энергетика: эффективность, надежность, безопасность”, проведенной 5-7 декабря 2012 г. на базе ГОУ ВПО НИ ТПУ. 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  
Ушаков В.Я., 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

*XVIII научно-техническая конференция “Энергетика: эффективность,  
надежность, безопасность” проводится по гранту РФФИ 12-08-06099-г.*

© Авторы 2012

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

Чубик Петр Савельевич	ректор ТПУ, профессор, председатель оргкомитета;
Пестряков Алексей Николаевич	проректор по НР и И, профессор, сопредседатель оргкомитета;
Боровиков Юрий Сергеевич	директор ЭНИН, к.т.н., доцент, сопредседатель оргкомитета;
Кузнецов Гений Владимирович	зам. директора ЭНИН, профессор, зам. председателя оргкомитета;
Ушаков Василий Яковлевич	директор РЦР ТПУ; профессор ЭНИН, сопредседатель оргкомитета;
Литвак Валерий Владимирович	профессор каф АТЭС ЭНИН, зам. председателя оргкомитета;
Коханенко Лидия Павловна	начальник отдела ОНТИ, член оргкомитета;
Заворин Александр Сергеевич	зав. кафедрой ПГС ЭНИН, доцент, председатель секции;
Хрущев Юрий Васильевич	профессор ЭНИН, председатель секции;
Матковская Тамара Васильевна	профессор СГМУ, председатель секции
Романенко Сергей Владимирович	зав. кафедрой ЭБЖ ИНК, профессор, председатель секции;
Лукутин Борис Владимирович	зав. кафедрой ЭСПП ЭНИН, профессор, председатель секции;
Сечин Александр Иванович	профессор кафедры ЭБЖ ИНК, член оргкомитета.

# Секция 1 Эффективность электроэнергетических установок и систем

УДК 621.311.001

**Разработка модели системы автоматического управления  
управляемого шунтирующего реактора  
М.В. Андреев\*, Ю.С. Боровиков, А.В. Прохоров,  
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия  
E-mail: [andreevmv@tpu.ru](mailto:andreevmv@tpu.ru)**

В работе приведена краткая информация о пилотном проекте интеллектуальных энергосистем – энергокластер Эльгауголь. Ключевыми элементами силовой части энергокластера являются управляемые шунтирующие реакторы (УШР), локальное управление которыми осуществляется системой автоматического управления (САУ). В работе представлены результаты испытаний модели САУ УШР.

В настоящее время особо актуальной как в России, так и во многих других странах мира является разработка интеллектуальных энергосистем с активно-адаптивной сетью (ИЭС ААС). ОАО «ФСК ЕЭС» при поддержке правительства РФ приступило к реализации масштабного пилотного проекта по созданию ИЭС ААС на базе ОЭС Востока – энергокластер «Эльгауголь» [1].

В рамках данного проекта на базе разработанного в научно-исследовательской лаборатории «Моделирование электроэнергетических систем» Энергетического института Национального исследовательского Томского политехнического университета (НИИ «МЭЭС» ЭНИН ТПУ) Всережимного моделирующего комплекса реального времени ЭЭС (ВМК РВ ЭЭС) создана программно-аппаратная платформа для тестирования и настройки адаптивного регулятора группового управления компенсацией реактивной мощности и регулирования напряжения, с помощью которой решаются следующие конкретные задачи [2]:

- подбор рабочих диапазонов параметров регулятора;
- проверка достаточности мощности и количества, предусмотренных к установке систем компенсации реактивной мощности (СКРМ), для решения задач регулятора напряжения;
- проверка решений по эффективности использования регулятора, также осуществляется анализ режима работы энергокластера и прилегающей сети в части:
  - проверки условий статической и динамической устойчивости;
  - исследования и анализа нормальных и аварийных режимов в питающей сети, сети энергокластера и электроустановках потребителя энергокластера, в том числе мощной двигательной нагрузки;
  - проверка качества регуляторов;
  - проверка запасов по устойчивости энергокластера в условиях воздействия регулятора;
  - выполнение программы заводских испытаний по реализации всех функций регулятора на уровне центра управления группой подстанций (ЦУГП).

Для решения некоторых из ряда представленных задач разработана система автоматического управления управляемым шунтирующим реактором (САУ УШР), о которой и пойдет речь в данной работе.

Основное назначение данной системы – стабилизация напряжения в точке подключения, управления током реактора, а также степенью загрузки УШР по реактивной мощности. Управление описанными параметрами осуществляется варьированием индуктивности УШР за счет изменения степени насыщения магнитной системы постоянным магнитным потоком, который создается обмоткой управления (ОУ) при протекании в ней выпрямленного с помощью полупроводникового преобразователя (ПП) тока. Кроме того, в САУ УШР закладывается возможность управления несколькими блоками конденсаторных батарей (БСК).

Проанализировав алгоритмы работы САУ УШР (УШР-25000/110, РТУ-100000/220-УХЛ1, РТУ-100000/220-УХЛ4), применение которых планируется в энергокластере «Эльгауголь», удалось создать универсальную модель данной системы, объединяющую в себе несколько модификаций, и реализовать её в ВМК РВ ЭЭС (рисунок 1).

Данная модель содержит три основных канала управления: 1 – канал стабилизации напряжения в точке подключения УШР, в котором также предполагается управление БСК; 2 – канал управление током реактора; 3 – канал управления нагрузкой по реактивной мощности УШР.

Первоначально в каждом из каналов рассчитывается отклонение контролируемого параметра (напряжения, тока, реактивной мощности) от заданной уставки (уставка по U, уставка по I, требуемая мощность УШР = нагрузка по Q \* Q ном ушр):  $\Delta U = U_{уст} - U_{контр}$ ;  $\Delta U = I_{контр} - I_{уст}$ ;  $\Delta Q = Q_{треб} - Q_{контр}$ . Далее происходит преобразование сигнала рассогласования через блоки САУ, описываемые передаточными функциями, и устанавливается соответствующее индуктивное сопротивление УШР.

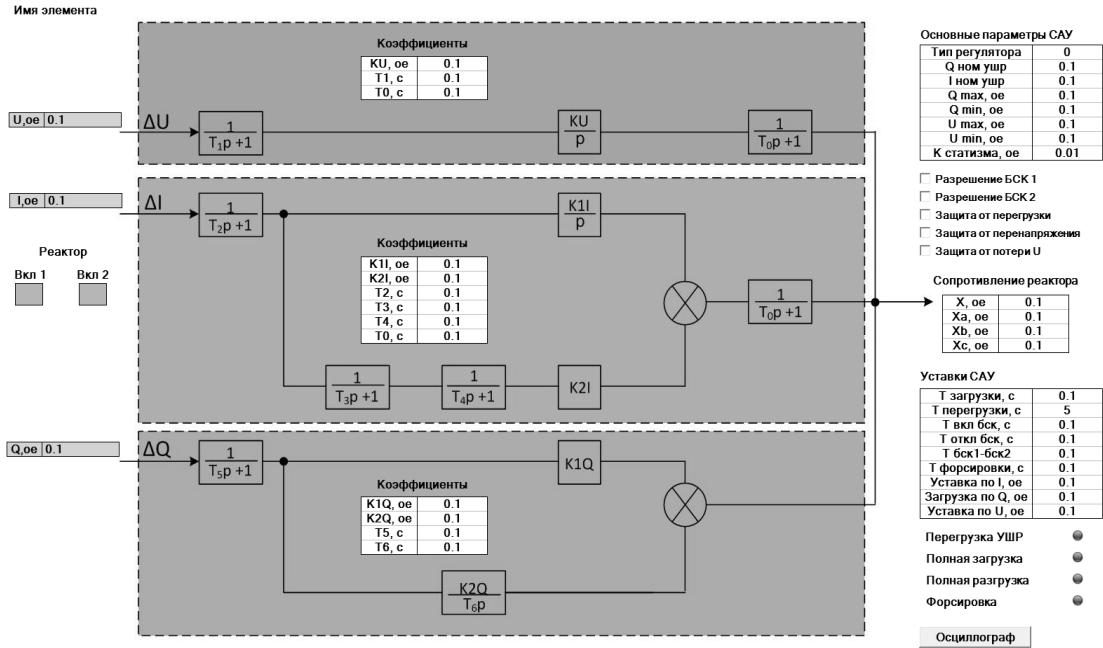


Рис. 1. Динамическая панель наблюдения и управления (ДПНУ) САУ УШР

Фрагмент результатов исследований реализованной в ВМК РВ ЭЭС модели САУ УШР, подключенного к шинам 110 кВ на ПС Эльгауголь, приведен на рисунке 2 (САУ УШР работает в режиме стабилизации напряжения на шинах 110 кВ – канал 1).

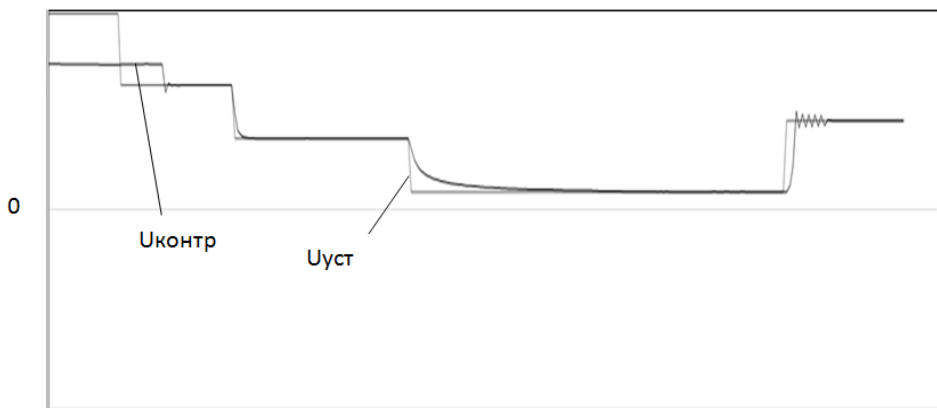


Рис. 2. Осциллограмма работы модели САУ УШР 110 кВ ПС Эльгауголь (канал 1)

Результаты испытаний математической модели САУ УШР на ВМК РВ ЭЭС показали её работоспособность: модель адекватно реагирует на изменения контролируемых параметров, к тому же является достаточно гибкой в плане настройки. Кроме того, проведены испытания совместной работы адаптивного регулятора группового управления компенсацией реактивной мощности и регулирования напряжения и нескольких САУ УШР подстанций Призейская и

Эльгауголь. Результаты испытаний показали, что система также успешно функционирует и под управлением регулятора.

Работа выполнена в рамках государственного задания «Наука» 7.2826.2011 «Разработка и создание гибридной модели энергоблоков электростанций».

**Список использованной литературы:**

1. Дорофеев И.Н., Летуновский Д.Н., Маргулян А.М. Пилотный проект активно-адаптивной сети кластера «Эльгауголь» - задачи создания и основные технические решения // Релейная защита и автоматизация. –2012. –№03. –С. 70-77.
2. Боровиков Ю.С., Прохоров А.В., Сулайманов А.О.. Всережимный моделирующий комплекс реального времени и его использование для решения задач управления в ИЭС ААС // Релейная защита и автоматизация. –2012. –№01(06). –С. 54-59.

УДК621.314

**Фотоэлектрическая энергетическая установка**

*К.В. Аржанов*

*Научно-исследовательский институт автоматики и электромеханики  
Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники,  
г. Томск, Россия*

**E-mail:** [rbhx@vandex.ru](mailto:rbhx@vandex.ru)

Приведены результаты разработки фотоэлектрической энергетической установки с автоматическим слежением за Солнцем.

Разработка новых фотоэлектрических энергетических установок (ФЭУ) определяется использованием солнечных батарей с улучшенными технико-экономическими показателями и реализацией режима автоматического слежения солнечных батарей за Солнцем. Наведение солнечных батарей на Солнце позволяет повысить энергетическую эффективность ФЭУ не менее чем на 30 % [1]. На рисунке 1 приведена фотография разработанной фотоэлектрической энергетической установкой мощностью 0,5 кВт.



Рис. 1. Фотография ФЭУ.

Разработанная конструкция состоит: из рамы с двумя фотоэлектрическими модулями КСМ-190; подвижного и неподвижного каркасов; двух редукторов; двух шаговых двигателей; двух датчиков положения Солнца, четырех конечных выключателей. В установке используются червячные редукторы с передаточными отношениями 1:250 (по азимуту) и 1:900 (по углу места). Это позволяет использовать шаговые двигатели типа ШД-5Д с номинальным вращающим моментом нагрузки 0,1 Н·м. Ограничение предельных углов поворота ФЭУ по азимуту (перемещение более 270 градусов) и углу места (перемещение более 90 градусов) обеспечивается конечными выключателями и программным обеспечением контроллера наведения на Солнце.

На рисунке 2 приведена функциональная схема ФЭУ, где СБ – солнечная батарея; КЗАБ – контроллер заряда АБ; И – инвертор; АБ1, АБ2 – аккумуляторные батареи; 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. В установке используется инвертор типа TS 1500-224 (номинальная выходная мощностью 1500 Вт) и два последовательно соединенных аккумулятора типа TUDOR T12V 155FT (номинальная емкость каждого 159 А·ч). Используемый в установке датчик положения Солнца изготовлен в ТПУ и 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 Atmega16, преобразователя постоянного напряжения, шести операционных усилителей, микросхемы, обеспечивающей связь по протоколу RS 485 с внешней ЭВМ через конвертор (тип I-7561). Микроконтроллер выдает на входы двух драйверов шагового двигателя следующие сигналы: направление вращения шаговых двигателей по азимуту и по углу места (сигналы DR1 и DR2), количество импульсов, которое необходимо обработать драйверами шаговых двигателей по

азимуту и по углу места (сигналы UP1 и UP2), сигналы включения драйверов по азимуту и углу места (сигналы MF1 и MF2). Контроллер наведения на Солнце принимает сигналы с четырех конечных выключателей (КВ1–КВ4): X1, Y1 и X2, Y2 – начальные и конечные положения рамы по азимуту и по углу места и принимает сигналы готовности с драйверов (RDY1 и RDY2). Драйвер ДШД задает величину минимального шага и амплитуду импульса тока в шаговом двигателе, осуществляет защиту от коротких замыканий в двигателе.

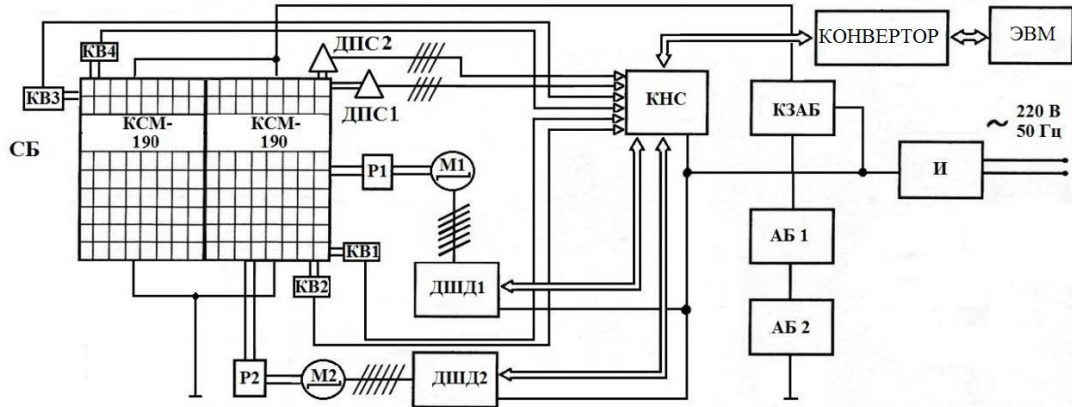


Рис. 2. Функциональная схема ФЭУ.

При автоматическом слежении за Солнцем осуществляется точное наведение рамы на Солнце, путем измерения токов в фотоэлементах датчиков положения Солнца и перемещения рамы с помощью шаговых электроприводов по обеим координатам. Если правый и левый фотоэлемент фотодатчика 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. В этом случае необходимо развернуть раму в направлении Солнца. В таблице 1 приведен алгоритм наведения СБ на Солнце. Перемещения происходят дискретно через  $3^\circ$  по обеим координатам, пока не выровняются сигналы в обеих плоскостях в каждом фотодатчике по обеим координатам. Допустимая погрешность (порог срабатывания) между сигналами в наклонных плоскостях фотоэлементов датчика, при которой необходимо проводить перемещение по координатам, составляет 5%. Введение порога срабатывания позволяет экономить энергию при перемещении рамы и предотвращать ненужный реверс в шаговых двигателях.

Таблица 1. Алгоритм наведения СБ на Солнце

Наведение по азимуту	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 углу места	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.

На рисунке 3 приведено рабочее окно программы управления контроллером наведения на Солнце.

Полученные результаты экспериментальных исследований шаговых электроприводов для системы автоматического слежения фотоэлектрических панелей за Солнцем показали следующее:

- наведение механической рамы с солнечной батареей на Солнце целесообразно проводить дискретно на 3 градуса, как по азимуту, так и по углу места, исходя из требований обеспечения точности наведения на Солнце и минимального потребления электрической энергии шаговыми электроприводами;

- в драйвере шагового двигателя электропривода перемещения механической рамы по азимуту целесообразно устанавливать амплитуду тока 3А, а в драйвере шагового двигателя электропривода перемещения механической рамы по углу места целесообразно устанавливать амплитуду тока 3,6А;

- при завершении микроцикла наведения рамы с солнечными батареями на Солнце необходимо выключать драйверы шаговых двигателей, чтобы исключить потребление энергии шаговыми двигателями;

- при перемещении механической рамы с солнечной батареей необходимо организовывать в электроприводе режим позиционирования. Целесообразно проводить перемещение со скоростью вращения шагового двигателя на уровне 3000 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 исключении рывков и качаний в механизме;

- суммарная суточная потребляемая энергия шаговыми электроприводами при перемещении механической рамы с солнечной батареей по азимуту на 180 градусов, а по углу места на 70 градусов и ее возвращение в начальное положение составляет не более 2,1 Вт·час.

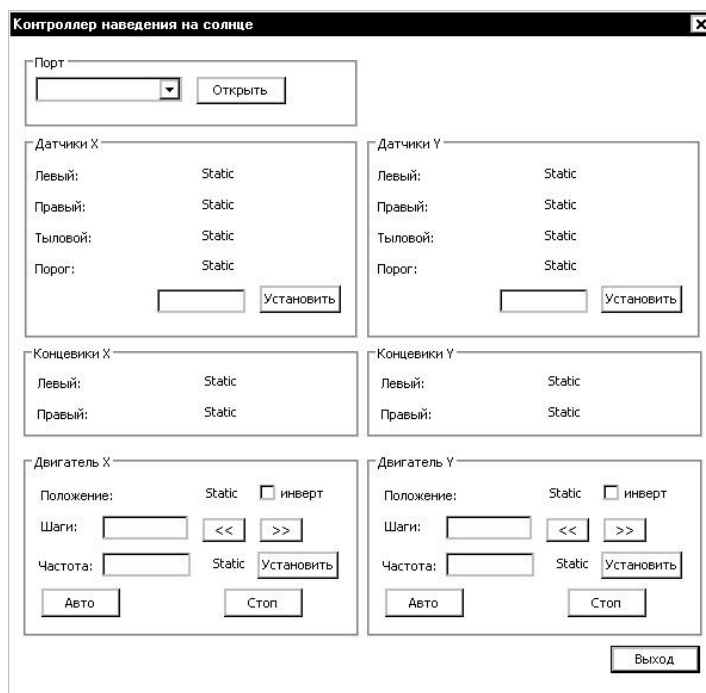


Рис. 3. Рабочее окно программы управления контроллером наведения на Солнце.

Работа выполняется в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы.

#### Список используемой литературы:

1. Шиняков Ю.А., Шурыгин Ю.А., Аржанов В.В., Теуцаков О.А., Осипов А.В., Аржанов К.В., Автономная фотоэлектрическая энергетическая установка // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т.320. – № 4. – С. 133 – 138.



УДК 621.311

**Методология развития генерирующих мощностей в условиях дерегулирования отрасли****В.А. Баринов, А.С. Мурачев\****ОАО «Энергетический институт им. Г.М. Кржижановского», г. Москва, Россия***E-mail: [murachev@eninnet.ru](mailto:murachev@eninnet.ru)**

В современных условиях дерегулирования отрасли электроэнергетика, при наличии многих собственников электроэнергетических объектов и создания электроэнергетического рынка возникает необходимость в адаптации к новым условиям систем управления отраслью, которая позволит минимизировать затраты, необходимых для развития и функционирования отрасли.

Обоснование оптимального развития электроэнергетики может быть основано на рассмотрении её как единого целого, используя идеологию целостного планирования, основные принципы которого сводятся к следующему [1, 2]:

- Должна быть получена эталонная модель, которая соответствует наибольшему общественному благу для всей системы.
- Должны использоваться вероятностные критерии надежности.
- Должны быть разработаны методы справедливого распределения затрат и выгод между участниками (субъектами хозяйствования).
- Должны быть выработаны такие правила для участников, чтобы их инициативы не приводили к решениям, направленным против достижения глобальной цели всей системы.

Базовым принципом для получения эталонной модели служит принцип оптимальности [3, 4] или принцип оптимального вхождения [5]. Согласно этому принципу любая из подсистем, входящих в сложную систему, включается в последнюю оптимальным образом, вследствие чего сложная система исполняет свою функцию с минимальными затратами.

Эталонная модель, соответствующая наибольшему общественному благу, может быть получена в результате решения задачи оптимизации функционирования и развития электроэнергетики страны. Исключительная сложность этой задачи обуславливает необходимость её декомпозиции на ряд более простых взаимосвязанных задач, одной из которых является оптимизация развития генерирующих мощностей и межсистемных связей.

При оптимизации развития генерирующих мощностей и межсистемных связей находится минимум целевой функции:

$$B = \sum_{y=1}^Y (K(y) + C(y) + V(y) + F(y) + A(y) + П(y)) \quad (1),$$

где:

$K(y)$  – капитальные затраты на развитие электростанций (включая эквивалентные электростанции, моделирующие распределенную генерацию) в год  $y$ ;

$C(y)$  – постоянные эксплуатационные затраты на обслуживание всех электростанций в год  $y$ , независимые от выработки электроэнергии;

$V(y)$  – переменные эксплуатационные затраты на обслуживание всех электростанций в год  $y$ , зависящие от объема выработанной электроэнергии;

$F(y)$  – затраты на топливо на всех электростанциях в год  $y$ ;

$A(y)$  – затраты на программы энергосбережения и управления нагрузкой в год  $y$ ;

$П(y)$  – затраты, связанные с развитием и эксплуатацией межсистемных связей, зависящие от ряда факторов, в том числе от стоимости увеличения пропускной способности межсистемных связей в год  $y$ ;

$Y$  – количество лет планируемого периода.

При этом сложное энергообъединение представляется эквивалентными узлами и межузловыми связями с пропускной способностью  $P_{ij}$ .

Состав генерирующих агрегатов  $G(y)$  в году  $y$  определяется в соответствии с выражением:

$$G(y) = G(y-1) + G(y)_v - G(y)_r + G(y)_p,$$

где  $G(y)_v$  – агрегаты, вводимые по обязательному плану в год  $y$ ;

$G(y)_r$  – агрегаты, выводимые из работы в год  $y$ ;

$G(y)_p$  – агрегаты, выбранные в год  $y$  в результате оптимизации из всего состава потенциально возможных для ввода в году  $y$  агрегатов.

Все разновременные составляющие в целевой функции приводятся к начальному периоду времени путем их умножения на коэффициент дисконтирования  $\alpha_y$ , определяемый для ставки дисконтирования  $d$  по формуле:

$$\alpha_y = \frac{1}{(1+d)^y}$$

При этом ставка дисконтирования в условиях дерегулирования электроэнергетики определяется на основе конкурентных рыночных ставок с учетом повышенного риска инвестиций в этих условиях.

Требуемый уровень надежности задается либо в виде нормируемого показателя – вероятности бездефицитной работы ЕЭС России (ОЭС, энергосистемы), либо в виде ущерба (компенсационных выплат) от недопоставленной электроэнергии. В последнем случае функция ущерба включается в функцию (1).

При оптимизации учитываются различного рода ограничения, в том числе:

- по балансу располагаемых генерирующих мощностей;
- по балансу рабочих генерирующих мощностей;
- по балансу электроэнергии;
- по балансу тепловой энергии;
- ограничения на перетоки мощности по межсистемным связям;
- ограничения по использованию различных видов топлива;
- ограничения по выработке электроэнергии на ГЭС и другие ограничения, налагаемые прочими водопользователями;
- ограничения по условиям защиты окружающей среды, в том числе ограничения на выбросы  $SO_2$ ,  $NO_x$ ,  $CO_2$ .

Стоит отметить, что величина  $B$  (1), определяющая общесистемные затраты, позволяет определить общесистемную эффективность того или иного объекта. Если величина общесистемных затрат с вводом какого-либо объекта снижается, то ввод этого объекта является экономически эффективным. В случае, если ввод объекта приводит к увеличению общесистемных затрат, то ввод этого объекта не является экономически эффективным.

Целевая функция (1), методы и программы оптимизации её реализующие, помимо выбора оптимальной структуры генерирующих мощностей, дают возможность решать задачи оптимального развития межсистемных связей и внешних связей, обоснования целесообразности присоединения электроэнергетически изолированных районов к ЕЭС России, обоснования масштабов развития распределенной генерации.

В последнем случае используется методический подход, состоящий в использовании принципа оптимальности или принципа оптимального вхождения. С этой целью для районов концентрации мест расположения распределенных источников электроэнергии производится оптимизация структуры этих источников и режимов их работы и готовятся характеристики эквивалентных электростанций, моделирующих в этих районах распределенные источники электроэнергии. Характеристики эквивалентных электростанций в узлах учитываются целевой функцией (1) и осуществляется комплексная оптимизация с учетом этих электростанций.

Рассмотренная выше методология легла в основу программного комплекса, позволившего на основе технико-экономических исследований получить варианты сценарии развития генерирующих мощностей в каждой из ОЭС ЕЭС России.

С учетом мировых тенденций развития ВИЭ и возможности использования целого ряда котельных на территории России для перевода в режим когенерации были проведены исследования масштабов развития данных видов источников электрической энергии в зоне централизованного электроснабжения на период до 2030 г. с учетом прогнозных цен на топливо, величин удельных капитальных затрат и уровнях электропотребления.

#### Список используемой литературы:

1. Stephen T.Lee. For the Good of the Whole. Holistic planning of an Electric Power System for Reliability, Economic Efficiencies, and Acceptable Environmental Impacts IEEE Power & energy, Number 5, September/ October, – 2007.
2. Волков Э.П., Баринов В.А., Маневич А.С. Методология обоснования и перспективы развития электроэнергетики России . – М.: Энергоатомиздат, – 2010.
3. Сейдж Э.П., Уайт Ч.С. Оптимальное управление системами. – М.: Радио и связь, – 1982.
2. 4. Баринов В.А., Совалов С.А. Режимы энергосистем: методы анализа и управления. – М.: Энергоатомиздат, – 1990.

4. Цветков В.Д. Золотая гармония и сердце. РАН, Пушинский научный центр, Институт теоретической и экспериментальной биофизики. ООО «Фотон – век», – 2008 г.

УДК 621.311

**Исследование случайного потока отказов в электрических сетях нефтепромыслов для мониторинга эксплуатационной надежности оборудования**

***Т.Р. Беккер, В.М. Левин, М.В. Кулагина, Е.В. Чимитова***

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

***E-mail: bekkertanya@mail.ru***

Проведены статистические исследования случайных потоков нарушений электроснабжения в электрических сетях нефтепромыслов, вызванных аварийными отказами оборудования. Предложены вероятностные модели отказов, необходимые для мониторинга и оценки эксплуатационной надежности электрооборудования.

**Постановка задачи.** Качеству функционирования электрических сетей нефтегазодобывающего комплекса России уделяется значительное внимание [1-3]. Это обусловлено, прежде всего, стратегическим положением отрасли в экономике страны, а также большим многообразием технических и природно-климатических факторов, оказывающих влияние на надежность электроснабжения потребителей. Среди причин нарушения надежности электроснабжения потребителей нефтепромыслов наряду с глубокими понижениями напряжения при коротких замыканиях в питающих сетях 110, 220, 500 кВ и пусковых режимах крупных двигателей [4], следует рассматривать причины аварийных отключений оборудования и воздушных линий (ВЛ) 6-35 кВ.

Любое нарушение в системах промышленного электроснабжения имеет случайный характер и приводит к нежелательным последствиям (простой, поломка оборудования, недовыпуск и брак продукции, пр.). Для нефтепромыслов аварийные отключения элементов электрической сети оборачиваются ущербами из-за аварийных потерь добычи нефти. Ущерб определяется количеством аварийных потерь и времени восстановления электроснабжения. Таким образом, жесткие условия функционирования обязывают сетевую компанию, осуществляющую электроснабжение, поддерживать высокий уровень эксплуатационной надежности своего оборудования.

Одним из способов повышения эффективности эксплуатации электрических сетей нефтепромыслов является мониторинг аварийных отключений с возможностью аналитической обработки данных, определением статистических характеристик отказов и оценкой показателей надежности. В связи с этим актуальной является разработка вероятностно-статистических моделей мониторинга на основе исследования случайных процессов аварийных нарушений электроснабжения, чему и посвящена данная статья.

В статье приводятся результаты статистических исследований данных типа времени жизни на примере аварийных отключений ВЛ 6 кВ (общей протяженностью 1822, км) в одном из районов электрических сетей на территории Западной Сибири. Глубина ретроспективы охватывает период эксплуатации ( $\Delta T=10$  лет) с 2000 по 2009 г. Исходный массив данных содержит следующее: характер отключения (плановый или аварийный); наименование отключаемого оборудования; цель (причина) отключения; дата и фактическое время начала и окончания отключения оборудования; фактический объем потерь добычи нефти в тоннах. Как правило, в составе исходной информации содержатся не корректные записи либо данные, достоверность которых вызывает сомнение. При формировании специальных выборок в соответствии с целью исследования такие данные исключаются из рассмотрения. Сформированные в процессе предварительной обработки выборки имеют достаточную представительность (300-400 записей), что позволяет рассчитывать на приемлемую с практической точки зрения достоверность получаемых результатов.

Согласно ГОСТ 27.002-89 аварийные отключения находящихся в эксплуатации линий электропередачи следует рассматривать как отказы, если они сопровождаются нарушением работоспособности. В связи с этим далее по тексту вместо термина аварийное отключение будет использован термин отказ.

**Методы и результаты исследований.** С точки зрения оценки надежности оборудования интерес представляют причины, по которым они происходят. Анализ причин отказов ВЛ 6 кВ позволил сгруппировать их следующим образом: «гроза» - повреждение изоляции; «ОЗЗ» -

однофазные замыкания на землю и поиск земли; «прочие причины» - механические и электрические повреждения отдельных конструктивных элементов (опор, проводов, контактных соединений и пр.). Группировка отказов ВЛ 6 кВ по причинам показывает, что удельный вес группы «прочие причины» составляет 82,5% в то время как группы «ОЗЗ» и «гроза» 9% и 8,5% соответственно. Это позволяет сделать вывод о достаточной защищенности оборудования электрической сети от действия емкостных токов и грозовых перенапряжений. Закон распределения случайной величины  $T_{\hat{A}}$  (времени аварийного восстановления) определялся по методике проверки статистических гипотез]. С использованием критерия  $\chi^2$  Пирсона установлено, что рассматриваемое распределение не противоречит начальной гипотезе о показательном законе ( $\chi^2_{\text{набл}} < \chi^2_{\text{кр}}$ ). В таблице 1 приведены значения  $\chi^2_{\text{набл}}$  для вероятностных характеристик отказов в зависимости от выделенных причин. Значение  $\chi^2_{\text{кр}}=23,7$  при уровне значимости  $\alpha=0,05$ .

Таблица 1. Значения  $\chi^2_{\text{набл}}$  для вероятностных характеристик отказов.

Причины отказов	ОЗЗ	Гроза	Прочие	Все причины
$\chi^2_{\text{набл}}$	9,69	7,13	15,25	22,48

На основании результатов исследований можно утверждать, что изменение вероятностей времени восстановления ВЛ 6 кВ после отказов в зависимости от вызвавших их причин с высокой степенью доверия описывают экспоненциальные функции различной интенсивности (рис.1.). При этом время аварийного восстановления ВЛ, например, с вероятностью 0,97 не превысит 3,5 часов при грозовых перекрытиях изоляции и ОЗЗ и 6,5 часов при прочих причинах отказа.

Для проверки независимости последовательности измерений, то есть проверки отсутствия тренда используют статистические критерии Аббе, Фостера-Стюарта, Кокса-Стюарта, Бартелса и другие [5]. Как показано в [6], среди непараметрических критериев отсутствия тренда наиболее мощным является критерий Кокса-Стюарта. Применим его для проверки гипотезы об отсутствии тренда в измерениях объемов потери нефти, времени восстановления и наработках между отказами. Зададимся уровнем значимости  $\alpha = 0.05$ . Результаты проверки гипотезы представлены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты проверки гипотезы об отсутствии тренда.

Случайная величина	Значение статистики Кокса-Стюарта	Достигнутый уровень значимости $p$	Вывод
Объем потерь нефти	1.699	0.089	не отклоняется
Время восстановления	0.499	0.618	не отклоняется
Нарботка между отказами	-5.064	0.000	отклоняется

Таким образом, изменения объема потерь нефти и времени восстановления не носят систематического характера. Однако величины наработок между отказами имеют тренд в средних. Анализ статистики по критерию Кокса-Стюарта показал, что изменение средних объемов потерь нефти не является значимым, хотя с течением времени наблюдается небольшая тенденция к уменьшению потерь. Что касается интервалов наработки между отказами, то, как показали исследования, заметна тенденция к ее увеличению. Кроме этого данная тенденция статистически значима (табл.2).

Процесс идентификации закона распределения потерь нефти заключается в последовательной реализации следующей двухэтапной процедуры [7] для каждого вида параметрической модели из рассматриваемого множества законов. На первом этапе процедуры, на основании выборочных данных строится модель закона определенного вида (из рассматриваемого

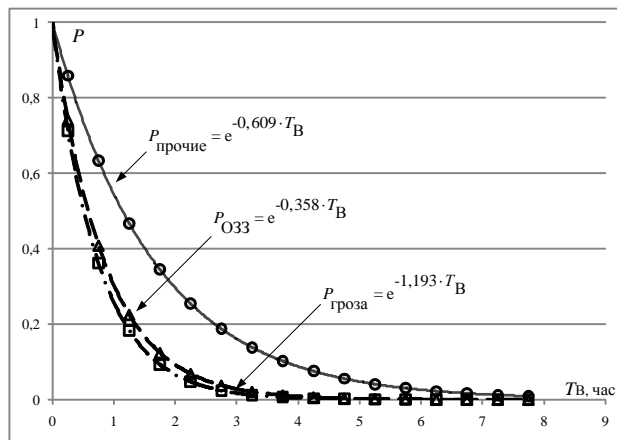


Рис. 1. Вероятность времени восстановления ВЛ 6 кВ

множества моделей), оцениваются параметры этой модели. На втором этапе оценивается степень адекватности полученной модели экспериментальным наблюдениям, как правило, с применением различных критериев согласия. Для проверки сложной гипотезы о согласии использовались следующие критерии отношения правдоподобия,  $\chi^2$  Пирсона и Колмогорова. В результате идентификации, наибольший уровень значимости достигнут при проверке гипотезы о согласии с распределением *SL*-Джонсона, функция плотности которого имеет вид:

$$f(x; \theta) = \frac{\theta_4}{\sqrt{2\pi}(x-\theta_1)} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\theta_4 \cdot \ln\left(\frac{x-\theta_1}{\theta_2}\right) + \theta_3\right)^2\right),$$

при следующих параметрах распределения:  $\theta_1 = -0.21$ ,  $\theta_2 = 43.33$ ,  $\theta_3 = 2.53$ ,  $\theta_4 = 0.90$ .

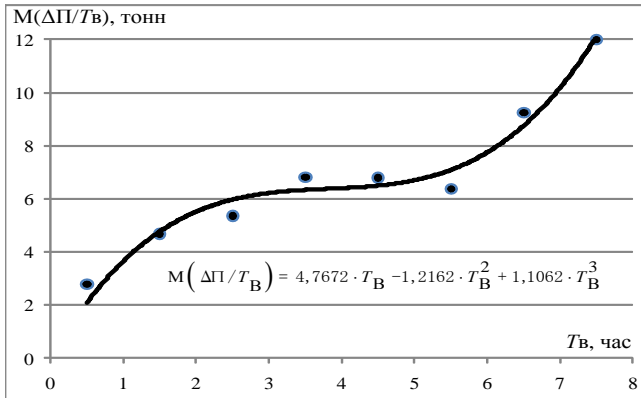


Рис. 2. Функция регрессии  $M(\Delta П / T_B)$

Полученная зависимость однозначно показывает, что увеличение времени восстановления ВЛ после отказа приводит к увеличению аварийных потерь добычи нефти.

$$M(\Delta П / T_B = T_{Bi}) = \sum_{j=1}^m \Delta П_j \cdot \left[ p(\Delta П_j / T_{Bi}) \right], \quad (i = \overline{1, n}). \quad (1)$$

#### Выводы.

1. Проведение статистических исследований данных типа времени жизни, содержащих информацию об аварийных отключениях оборудования сетей, с привлечением специального математического аппарата и профессиональных программных средств является не только целесообразным, но и обязательным условием разработки и внедрения моделей для мониторинга эксплуатационной надежности оборудования.

2. Применяемые авторами процедуры идентификации позволяют выбрать наилучший в некотором смысле закон распределения, на основе которого можно рассчитать показатели надежности исследуемых объектов. Проверка гипотезы об отсутствии тренда с использованием критерия Кокса-Стюарта позволяет выявить наличие систематических изменений в динамическом ряду исследуемого признака.

3. Предложенные в работе математические модели ориентированы на оценку и прогнозирование показателей безотказности и ремонтпригодности оборудования не только обследуемой сетевой компании, но также и других предприятий распределительных сетей нефтепромыслов. Разработанные модели и алгоритмы могут быть использованы в качестве расчетно-аналитической основы в системе мониторинга надежности электрической сети.

#### Список используемой литературы:

1. <http://www.eprussia.ru/news/base/2011/69189.htm>
2. [http://www.fsk-ees.ru/press\\_center/company\\_news/?ELEMENT\\_ID=82764](http://www.fsk-ees.ru/press_center/company_news/?ELEMENT_ID=82764)
3. <http://www.oilru.com/news/200196/>
4. Гумиров, Д.Т., Жуков, В.А., Пупин, В.М. Повышение надежности работы электроцентробежных насосов и станков-качалок при авариях в питающих сетях предприятий нефтедобычи // Главный энергетик, 2009, № 9, С. 56-66.
5. Кобзарь, А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. – М.: Физматлит, – 2006. – 816 с.

6. Статистический анализ данных, моделирование и исследование вероятностных закономерностей. Компьютерный подход: монография / Б.Ю. Лемешко, С.Б. Лемешко, С.Н. Постовалов, Е.В. Чимитова. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, – 2011. – 888 с.
7. Лемешко, Б.Ю. О задаче идентификации закона распределения случайной составляющей погрешности измерений // Метрология. 2004. – № 7. – С. 8-17.

УДК 620.97

### Разработка алгоритма управления электромеханическим накопителем энергии на основе нечёткой логики

*А.А. Борисов, В.М. Зырянов*

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

*E-mail: san\_master1984@mail.ru, zymov@ngs.ru*

Показаны результаты расчёта алгоритма управления электромеханическим накопителем энергии на базе машины двойного питания с помощью регулятора на нечёткой логике.

Работа автономных энергосистем «АЭС» с резкопеременной нагрузкой, как правило, сопровождается низким значением коэффициента использования установленной мощности электростанции, высокими значениями удельного расхода топлива [1] и амортизационных отчислений на ремонт дизеля, а также низкими показателями качества электроэнергии [2].

В статье рассматривается один из экономически выгодных [3] и наиболее эффективных способов решения вышеуказанных проблем с помощью электромеханического накопителя энергии «ЭМН» на базе машины двойного питания «МДП».

В качестве исследуемой АЭС была выбрана энергосистема плавкрана КПЛ 18-82, с мощностью дизель-генераторного агрегата «ДГА»  $P_{ДГА}=300$  кВт, работающая в типичном резкопеременном нагрузочном режиме в условиях реальной эксплуатации. В ходе пассивного натурного эксперимента были получены все основные параметры режима энергосистемы «токи, напряжения, активная и реактивная мощности, частота».

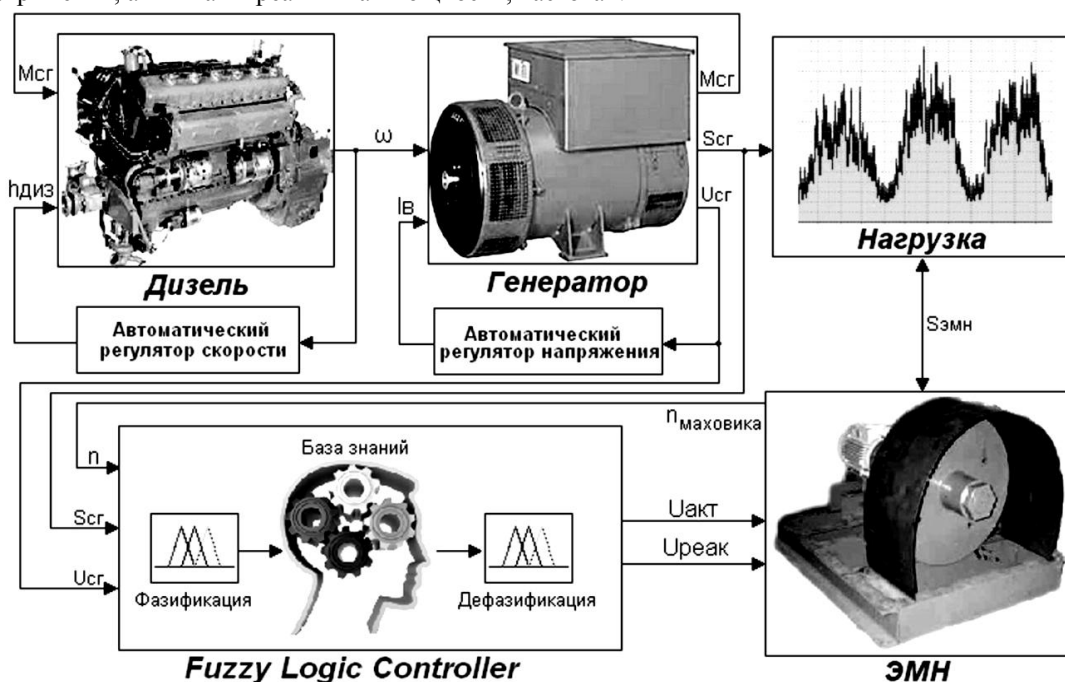


Рис. 1. Функциональная схема математической модели АЭС плавкрана.

Для управления ЭМН в условиях стохастического характера нагрузки целесообразно оценить эффективность алгоритма управления на основе нечёткой логики. Для этого с помощью программы MATLAB была создана математическая модель АЭС плавкрана, функциональная схема которой представлена на рисунке 1. Модель состоит из пяти основных блоков: дизеля с

регулятором скорости, синхронного генератора с регулятором напряжения, крановой нагрузки «нагрузка моделировалась экспериментальной нагрузочной диаграммой», ЭМН и контроллера, реализующего алгоритм управления на основе нечёткой логики.

Моделирование нечёткой логики в среде MATLAB осуществляется с использованием пакета расширения Fuzzy Logic Toolbox. В качестве входных переменных приняты значения полной мощности « $U_{сг}, \text{kBA}$ » и напряжения « $U_{сг}, \text{В}$ » на шинах синхронного генератора, а также значение частоты вращения маховика « $n_{\text{маховика}}, \text{об/мин}$ », по величине которого рассчитывается количество энергии, запасённой в маховике.

Для управления машиной двойного питания, входящей в состав ЭМН, используется два контура регулирования. Первый – по активной мощности МДП, необходимой для стабилизации графика нагрузки. Второй – по реактивной мощности МДП, необходимой для поддержания постоянства напряжения в сети. Для управления МДП выбрана схема с инвертором, включенным в цепь ротора. Управляющие сигналы с обоих каналов регулирования подаются в качестве задающих сигналов на инвертор, который в свою очередь формирует необходимые значения токов  $I_d$  и  $I_q$  машины. Инвертор управляется с помощью релейных регуляторов фазных токов ротора, ключи в инверторе коммутируются с выходов этих регуляторов, таким образом, чтобы поддерживать заданные фазные токи.

Нечёткая база знаний содержит 30 правил, работающих на основе лингвистических высказываний типа «если - то». Графическое представление нечёткой базы знаний для первого контура регулирования « $U_{акт}, \text{В}$ » показано в виде трёхмерной поверхности, рисунок 2, а второго контура регулирования « $U_{реак}, \text{В}$ » в виде двухмерной зависимости, рисунок 3.

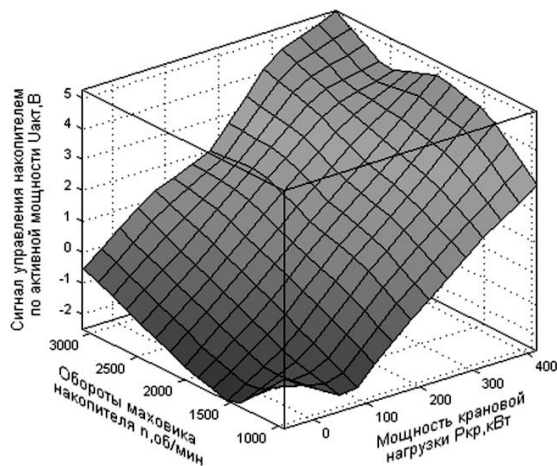


Рис. 2. Характеристика регулятора первого контура.

Результаты расчёта работы регулятора на основе нечёткой логики в режиме стабилизации графика нагрузки и натурные осциллограммы режимных параметров плавкрана представлены в виде графиков на рисунке 4. По ним можно сделать следующие выводы:

- накопитель позволяет уменьшить установленную мощность ДГА на 30%;
- за счёт «сглаживания» графика нагрузки

удельный расход топлива уменьшается на 20%;

- на 50% уменьшаются забросы и провалы частоты вращения дизеля и на 10% – напряжения на шинах электростанции, что повышает качество электроэнергии и приводит к уменьшению амортизационных отчислений на ремонт ДГА и основного электрооборудования плавкрана.

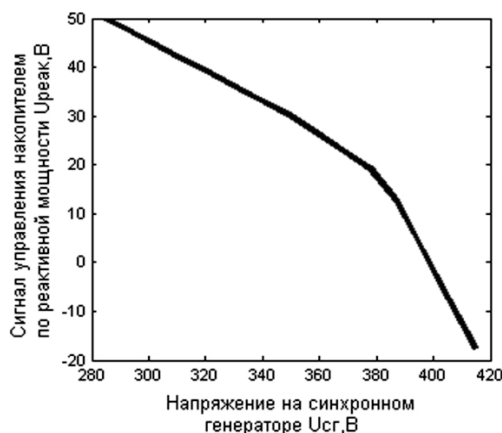


Рис. 3. Характеристика регулятора второго контура.

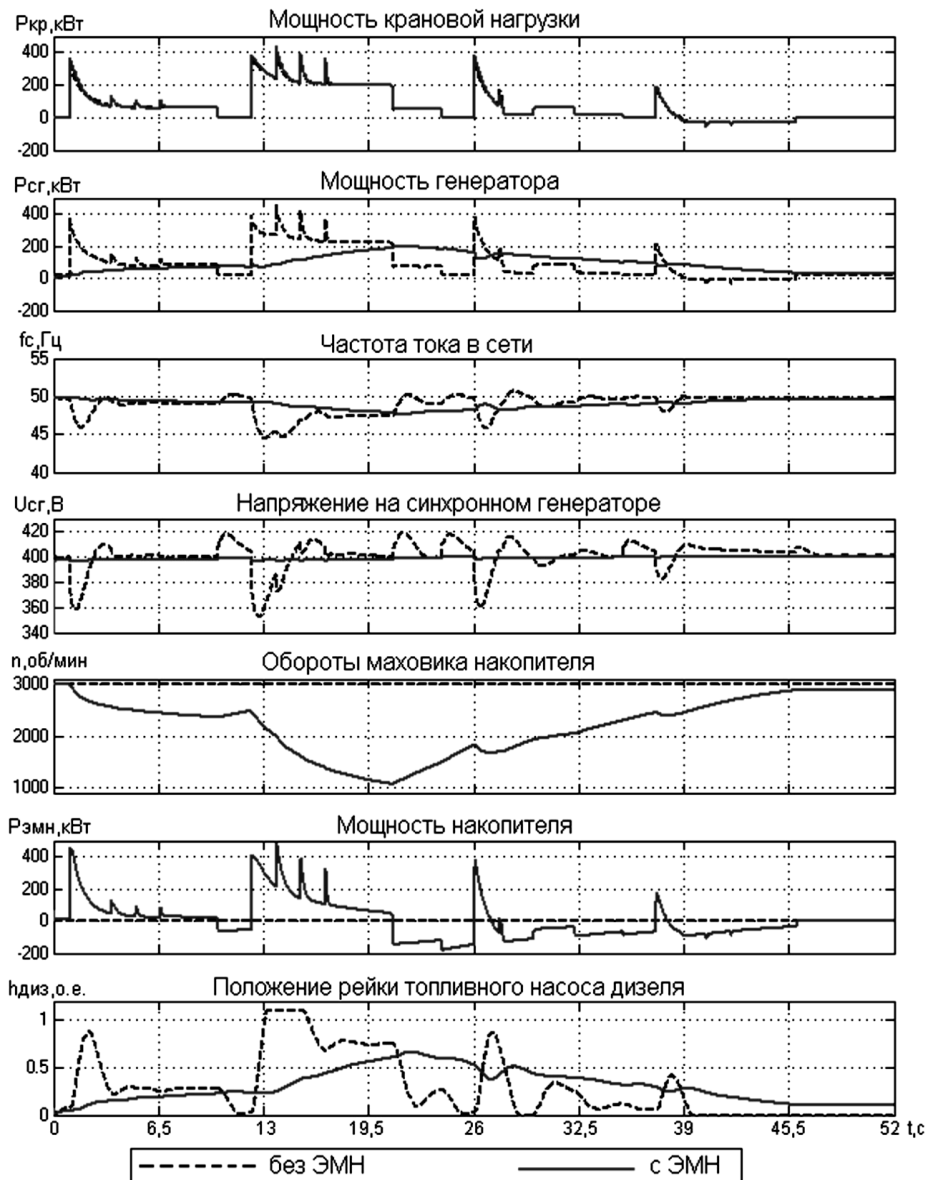


Рис. 4. Графики переходных процессов в АЭС плавкрана без использования накопителя энергии и с применением ЭМН на базе МДП, управляемого с помощью регулятора на нечёткой логике.

**Список использованной литературы:**

1. Алемасов В.А., Борисов А.А., Зырянов В.М. Оценка перспектив снижения расхода топлива в судовой энергосистеме с накопителем энергии // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока». Новосибирск, – Изд. НГАВТ, – 2011. – Вып. 2. – С. 215 – 218.
2. Алемасов В.А., Борисов А.А., Зырянов В.М., Сарин Л.И., Смирнов А.А., Подгаевский Р.А., Фролов Р.А. Анализ качества электрической энергии на судах технического флота // Проблемы и достижения в промышленной энергетике: Сборник докладов IX Международной научно-практической конференции в рамках выставки «Энергетика и электротехника – 2010», 24 – 26 ноября 2010 г., – Екатеринбург: ЗАО «Уральские выставки», – 2010. – С. 186 – 190.
3. Борисов А.А., Фюттик И.Г., Зырянов В.М. Оценка экономической эффективности применения емкостного и электромеханического накопителя в энергосистеме плавкрана // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока». Новосибирск, – Изд. НГАВТ, – 2012. – Вып.1. – С. 92 – 96.



**Технология перехода разработанного оборудования автоматики на новую элементную базу****Е.И. Гладышева, А.А. Шилин\***

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

\*ООО НПО «ВЭСТ», г. Томск, Россия

**E-mail: yegl@yandex.ru**

Рассматриваются вопросы организации технологии быстрого (1-3 месяца) перехода разработанного оборудования автоматики на новую элементную базу. Предлагается обобщенная концепция технологии перехода, основанная на имеющейся технической и программно поддерживаемой разработчиком электронных комплектующих (КИТ). Показывается ее доступность организации работ на основе подхода для ускорения производства.

Как известно, при разработке электронного оборудования разработчику в первую очередь необходимо решить две проблемы, это выбор элементной базы (процессор, блок питания, интерфейс, входные и выходные цепи и т.д.) и подбора к этой элементной базе готовых типовых решений, для ускорения процесса разработки. Сложность представляют работы по формированию принципиальных схем и разработки программного обеспечения (ПО) для микроконтроллеров.

За значительное время теоретического и практического использования подходов к проектированию (разработке) электронных устройств получены весьма успешные результаты, большая часть опубликована в монографиях, интернет ресурсах.

Именно поэтому мы считаем целесообразным прежде всего обратить внимание на некоторые примеры уже давно существующие.

Например, фирма Atmel и семейство восьмибитных микроконтроллеров этой фирмы AVR (RISK-микроконтроллеры), которые широко рассмотрены в интернете, что дает возможность легко приспособиться и быстро выполнить разработку необходимых частей электронного устройства.

Еще в 2004 году была издана книга «Применение микроконтроллеров AVR: схемы, алгоритмы, программы» автором которой является Баранов В.Н.[1], где разобрано большое количество примеров программирования микроконтроллера этого типа. Так же можно воспользоваться электронными ресурсами, представленными в списке литературы [2-8].

Совершенно ясно, что возникает следующая актуальная проблема: Существуют старые давно зарекомендовавшие себя микроконтроллеры к которым предлагается множество решений и существуют новые более дешевые или более функциональные микроконтроллеры, готовых решений к которым практически нет. Однако есть, так называемый среде разработчиков StartUp, набор имеющейся технической и программной поддержки разработчика электронных комплектующих, включающей в себя недорогое устройство и программное обеспечение получившие популярное название КИТ.

Создание новой технологии перехода предполагалось начать с анализа КИТ к современным контроллерам. Анализ и выбор производился из требования к комплекту разработчика:

- Собранная печатная плата совместимая со стандартной макетной платой [9], доступной для выполнения монтажных работ в лабораторных условиях с минимальными требованиями;
- ПО для компиляции исходного кода;
- ПО и технические средства для отладки исходного кода;
- основные действующие примеры и проекты для данного КИТ;
- качественная библиотека функций, макросов, определений максимально приближена к подходам, используемых на зарекомендовавших себя, но устаревших контроллерах;
- стоимость собранной печатной платы должна быть не большой, ПО желательно бесплатное или условно бесплатное.

Имея набор КИТ, можно поэтапно выполнять монтаж фрагментов схемы и проверять их на работоспособность, при наличии ошибок оперативно исправлять их. Таким образом Возможно отработать все необходимые узлы:

- схемы применения аналого-цифрового преобразователя (ADC);
- схемы подключения периферийных схем через интерфейсы SPI, IIC и др;
- схемы включения последовательного порта к компьютеру или другому оборудованию по стандарту RS232, RS485 и др.;
- схемы сопряжения с исполнительными устройствами: блоки симисторов, электромагнитных реле, широтно-импульсными модуляторами и др.
- схемы подключения к таким устройствам как клавиатура, LCD-дисплей и др.

В результате получаем ряд быстрых и недорогих экспериментов и решений, однозначно определяющие схемные решения и топологию платы нового устройства.

После ряда успешных экспериментов на оборудовании КИТ, программист дает информацию схемотехнику для построения принципиальной схемы. Важно, что использование КИТ позволяет тестировать и отработать все блоки до формирования окончательной принципиальной схемы, и при успешном завершении тестирования достаточно оплатить дорогостоящие работы (около 10 тыс. руб) по подготовке серийного производства печатных плат и трафарета для smd-монтажа.

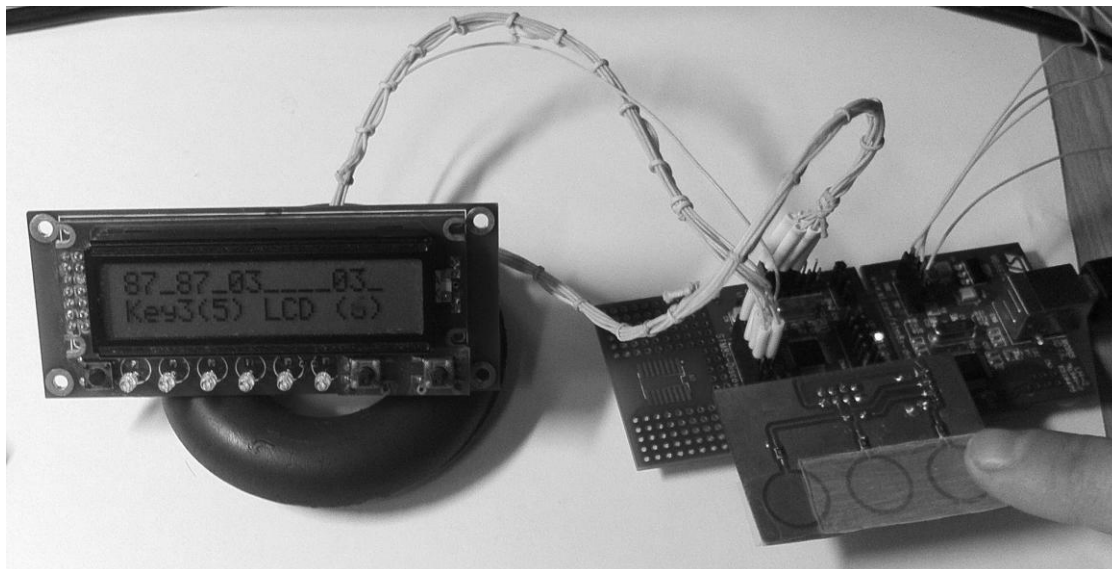


Рис.1. Проверка работы регулятора.

Представленный подход был реализован на конкретной задаче перевода контроллера ATmega32 в ПЛИК ВЭСТ-01m на более новый микроконтроллер STM32. КИТ для микроконтроллера удовлетворяет условиям (1):

- STM32 Discovery с выведенным отладочным интерфейсом SWD
- Доступны компиляторы: Costmic, GCC (бесплатный)
- ПО для отладки: Atollic, TrueSTUDIO, ST Visual Develop (STVD).
- Основные примеры доступны [9].
- Библиотека STM32 firmware library, Макросы для тех кто привык работать с AVR сошлись на [10].
- Стоит плата около 400-500 рублей.

Необходимую информацию по эксплуатации этого микроконтроллера можно найти перейдя по следующим ссылкам [11-14].

В итоге быстрый переход на контроллер stm32 возможен за минимальные сроки и с наименьшими материальными затратами: стоимость одной итерации серийного производства печатной платы. Из опыта разработки без использования КИТ, количество итерации может быть от 3 до 8, полагаем что экономия средств составляет от 20 до 70 тыс руб.

Выводы: эффективный переход возможен если для рассматриваемого контроллера выполнены условия-требования (1) к набору КИТ, примеры проектов рабочие, библиотека функций для разработчика без ошибок.

#### Список используемой литературы:

1. Баранов В.Н. «Применение микроконтроллеров AVR: схемы, алгоритмы, программы». – М.: Додэка, – 2004.– С. 5– 287
2. <http://www.attiny.com/programmer.htm>
3. <http://www.attiny.com/assembly.htm>
4. <http://www.dertien.dds.nl/content/avrprojects.html>
5. <http://www.avr-tutorials.com>
6. <http://www.engineersgarage.com/articles/avr-microcontroller?page=3>
7. <http://www.circuitvalley.com/2011/04/avr-serial-port-programmer.html>
8. <http://www.dmoz.org/Computers/Hardware/Components/Processors/AVR/>

9. <http://www.st.com/>
10. <http://ziblog.ru>
11. <http://habrahabr.ru/post/128734/>
12. <http://www.robotcraft.ru/tag/STM32/>
13. <http://ziblog.ru/category/stm32/stm32f1xx/>
14. <http://mcucpu.ru/index.php/stm32/82-stm32gpio>
15. <http://mcucpu.ru/index.php/stm32/83-stm32gpioprimer>

УДК 621.398

**Система обслуживания по фактическому состоянию на основе комплексного метода диагностики электромеханического оборудования**

**Ю.Л. Жуковский**

*Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», г. Санкт-Петербург, Россия*

*E-mail: [spmi\\_energo@mail.ru](mailto:spmi_energo@mail.ru)*

Рассмотрена возможность применения комплексного метода диагностики и оценки остаточного ресурса как основа перехода на стратегию обслуживания электромеханического оборудования по фактическому состоянию. Представлена система обслуживания по состоянию, позволяющая сократить затраты на эксплуатацию оборудования.

Одним из важных аспектов безаварийной и безопасной работы промышленных объектов является надежная работа электромеханического оборудования. Выход из строя двигателя наносит большой ущерб. Этот ущерб связан не столько со стоимостью ремонта или замены двигателя, сколько с простоем технологического оборудования вследствие его аварии. Наряду с этим происходит снижение электро- и пожаробезопасности, связанное с возможными короткими замыканиями, которые могут присутствовать в обмотке статора или ротора поврежденного двигателя [1].

Значительный износ парка электрических машин переменного тока на предприятиях России приводит к необоснованно высоким затратам на организацию технического обслуживания и ремонта (ТОиР), а также более высокому, по сравнению с исправной машиной, энергопотреблению в среднем на 3-5%. В условиях роста тарифов на электроэнергию, при значительном объеме оборудования, это ощутимо сказывается на энергоёмкости конечной продукции.

Повысить экономическую эффективность промышленных предприятия невозможно без совершенствования принципов и методов технического обслуживания и ремонта электромеханического оборудования (ЭМО). Развитие кризисных явлений приводит к увеличению расходов на ТОиР по сравнению с затратами на приобретение новой техники. Степень износа машин и оборудования по всем видам деятельности достигла 51,1%, в том числе на предприятиях по производству транспортных средств — 67, по добыче полезных ископаемых — 54,9, по производству машин и оборудования — 51,2%. Из всего парка техники полностью изношенными признаны 21,1% единиц оборудования [5]. Такая техника постоянно находится в «предотказном» состоянии, что приводит к увеличению доли затрат на ее содержание в себестоимости продукции производства. Если подобная тенденция сохранится, то через несколько лет затраты на ремонт сравняются со стоимостью нового оборудования.

Федеральный закон от 23.11.2009 № 261 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты» и Государственная программа Российской Федерации «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года» определяют вектор модернизации парка ЭМО на оборудование с более высоким КПД и отказ от перемотки двигателей переменного тока. В то же время предприятия при ликвидации техники ориентируются на ее физическую изношенность и не спешат вкладывать деньги в модернизацию и замену оборудования на более новое и энергоэффективное.

В настоящее время плановые ремонты ЭМО осуществляются с регламентированной периодичностью и в объеме, установленном в нормативной и эксплуатационной документации, независимо от текущего технического состояния оборудования в момент начала ремонта. Практика эксплуатации и опыт проведения ремонтов показывает, что плановые ремонты

выполняются чаще, чем это требуется по техническому состоянию оборудования, при этом не исключается возможность пропуска дефектов [4].

В сложившейся ситуации наиболее экономичным и перспективным является переход от технического обслуживания по регламенту или по выходу из строя оборудования к обслуживанию по фактическому состоянию, однако для этого необходим метод, который бы позволил выявлять дефекты и с заданной вероятностью давать прогноз о продолжительности работоспособного состояния без вывода оборудования в ремонт. Во многих отраслях промышленности электрические машины работают в тяжелых условиях и располагаются в труднодоступных местах, поэтому к ним нельзя применить только традиционные методы функциональной диагностики, которые базируются на анализе вибраций отдельных элементов, акустических колебаний, термографическом анализе. Использование этих методов требует непосредственного доступа к оборудованию, а также в ряде случаев вывод его из работы, что приводит к остановке технологического процесса [2].

Переход от технического обслуживания по регламенту или по выходу из строя оборудования к обслуживанию по фактическому состоянию, требует использования комплексного метода диагностики, который бы позволил выявлять дефекты и с заданной вероятностью давать прогноз о продолжительности работоспособного состояния без вывода оборудования в ремонт [2,3].

Разработка комплексной системы диагностики базировалась на нескольких взаимодополняющих методах, которые дают возможность определить наибольшее количество самых опасных для данного оборудования дефектов. Оценка технического состояния производится на основе многофакторного анализа: зависимостей напряжения и тока от времени, потребляемых электродвигателем; мгновенных мощностей каждой фазы; спектрального анализа полученных сигналов напряжения, тока и мощности; коэффициентов несимметрии (тока, напряжений, мощности); коэффициентов гармоник (тока и мощности); отдаваемой мощности электропривода; задания выходной координаты; величины потерь электрической энергии. Наличие нескольких диагностических параметров разной физической природы, позволяющих определить определенный вид повреждения, дает возможность провести более точный анализ возникшего дефекта и максимально исключить ошибку ложного определения, а также отбросить возникающие помехи [2,3].

По результатам анализа комплекса диагностических параметров определяется техническое состояние электромеханического оборудования (ЭМО) и оценивается остаточный ресурс. Обработка диагностических параметров осуществляется в несколько уровней. Нулевой уровень – предварительная подготовка массивов данных и их фильтрация. На первом уровне происходит дифференцированная обработка, определяются вид и уровень дефекта по каждому параметру. На втором уровне обрабатываются взаимные связи исследуемых параметров и дефектов, определяются возможные ложные дефекты и отбрасывается их вклад в уровень развития данного повреждения. На третьем уровне проводится интегральная оценка по всем параметрам, с учетом весовых коэффициентов различных дефектов определяется общее состояние двигателя и дается прогноз о сроке возможной безопасной эксплуатации.

Обработка диагностических параметров на первом уровне может проводиться разными методами. Например, вместо зарекомендовавшего себя спектрального анализа потребляемого тока может быть использована обработка с помощью вейвлетов.

Вейвлет-анализ позволяет получить значительно больше информации о исходном сигнале, чем традиционные методы спектрального анализа [2]. Особенно вейвлет-анализ полезен при нестационарных сигналах, что характерно для диагностических параметров электрооборудования снимаемых в динамических режимах, например при меняющейся его нагрузке или при изменении управляющих воздействий на него. Также в настоящее время вейвлет-анализ находит широкое применение в цифровой обработке сигналов, позволяя выделить полезную информацию при высоком уровне шума, что также полезно с точки зрения решения задач технической диагностики объектов, испытывающих действие множества внешних факторов, влияющих как на объект, так и на средства измерения.

Ядром комплексного метода диагностики является диагностическая база данных, которая корректируется с учетом проведения ремонтов, обнаруженных и зафиксированных дефектов (рисунок 1). Создание базы данных необходимо для информационного обеспечения работ по продлению срока безопасной эксплуатации электромеханического оборудования. Важным элементом системы обслуживания по фактическому состоянию является реализация постоянного или периодического контроля технического состояния оборудования, а так же определение

остаточного ресурса оборудования. В таком случае принятие решений о ремонте и планирование ремонта производится на основе информации о техническом состоянии контролируемых объектов, формируемой при помощи системы диагностирования включающей интеллектуальную систему обработки диагностических параметров.

Стратегия обслуживания по фактическому состоянию основана на том, что при помощи систем диагностирования производится контроль параметров оборудования с определенной периодичностью [2]. Ограниченный ряд параметров контролируется в автоматическом режиме, а остальные параметры – в ручном, чем достигается целостность информации и повышается скорость обработки данных.

Если интеллектуальная система обнаружит признаки дефектов, но параметры находятся в рамках норм и определенный остаточный ресурс соответствует требуемому, принимается решение о сроке следующей периодической диагностики по основным параметрам. В противном случае принимается решение о выводе оборудования в ремонт и его дальнейшей работе или замене.

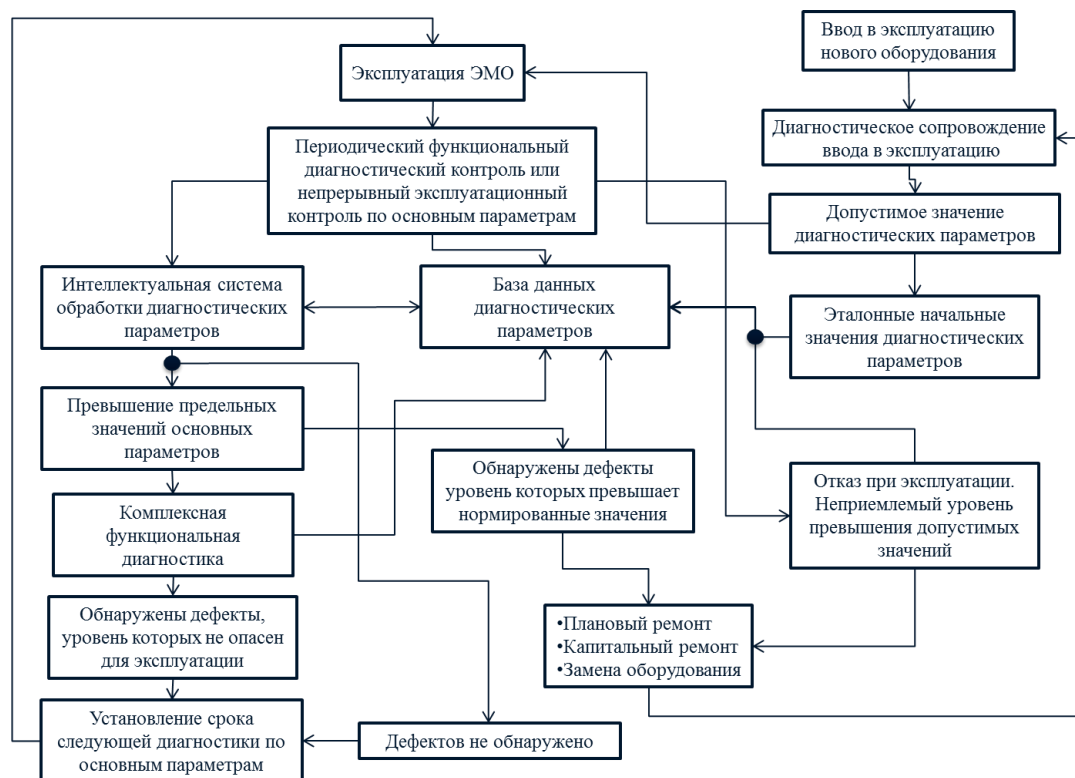


Рис. 1. Система обслуживания по фактическому состоянию электромеханического оборудования.

Точность комплексного метода диагностики повышается с ростом набора статистических данных по однотипному оборудованию. Более точный прогноз, может быть, достигнут путем сравнения диагностируемых параметров с эталонными и предельными сигналами, полученными на заведомо исправном и неисправном агрегате, например при вводе в эксплуатацию или при ремонтных работах в случае поломки.

#### Список используемой литературы:

1. Биргер И.А. Техническая диагностика. – М.: «Машиностроение», 1978, – 240 с.
2. Козярук А.Е., Жуковский Ю.А., Коржев А.А. Кривенко А.В. Диагностика и оценка остаточного ресурса электромеханического оборудования, работающего в тяжелых условиях, по электрическим параметрам. – СПб: Записки Горного института, т. 192, – 2011.
3. Козярук А.Е., Жуковский Ю.А., Коржев А.А. Кривенко А.В., Способ диагностики и оценки остаточного ресурса электроприводов переменного тока: патент РФ на изобретение № 2425390, – 2011.
4. Таджикибаев А.И. Автоматизированные системы распознавания состояний электроустановок. СПб: Энергоатомиздат, СПб отделение 5, – 2001, – 176 с.
5. Шухгальтер М. Л. Проблемы экономики ремонта оборудования на российских промышленных предприятиях. – М.: «Экономика и жизнь», – № 26, – 2009.

## Сильноточное контактное соединение

А.А.Казанцев, И.А. Косорлуков

Самарский государственный технический университет, г. Самара, Россия

E-mail: [kazantzev@63.ru](mailto:kazantzev@63.ru)

Данная статья посвящена проблеме энергосбережения в сильноточных контактных соединениях. Решение которой достигается путем уменьшения в них переходного сопротивления, на примере соединения шин электролизеров, контактирующие поверхности которых соединяются внахлест. Сделан вывод о том, что данное контактное соединение может применяться в электролизной и металлургической промышленности.

В контактных соединениях, при ошиновке электролизеров, происходят значительные потери электроэнергии. В промышленности широко применяется контактное соединение ошиновки электролизеров, в котором токопроводы устанавливаются внахлест и стягиваются крепежными болтами. При этом контактирующие поверхности соприкасаются максимум в трех контактных точках, и площадь соприкосновения зависит от давления при затягивании болтов. В процессе эксплуатации на контактирующих поверхностях образуется окисная пленка, которая в значительной мере увеличивает контактное сопротивление в результате которого увеличиваются потери электроэнергии.[1]

Известными решениями этой проблемы может являться, в частности, устройство по А.С. №1681587 [2], в котором при болтовом соединении шин на один из торцов ошиновки накладывается сварной шов, однако, недостатком этого соединения будет являться сварка тяжелой ошиновки из цветных металлов, медь-медь, алюминий-алюминий, алюминий-медь, сталь-медь. Кроме того, это соединение не может быть использовано при ошиновке электролизеров, в которых в качестве анода используется графит и отсутствует возможность очистки контактирующих поверхностей от окисных пленок без демонтажа соединения.

Разработанное авторами контактное соединение позволит снизить потери электрической энергии за счет уменьшения переходного сопротивления в контактных соединениях, которое достигается использованием дополнительного токопровода без демонтажа контактного соединения и без нарушения технологического процесса, то есть при протекании тока нагрузки, а также увеличением площади соприкосновения контактирующих пар при болтовом соединении без применения сварки.

Технический результат достигается тем, что пакет шин устанавливают внахлест с чередованием полярности и затем скрепляют между собой при помощи болтов. Для снижения потерь электрической энергии крепежные отверстия используют для установки устройств обеспечивающих дополнительные токопроводы.

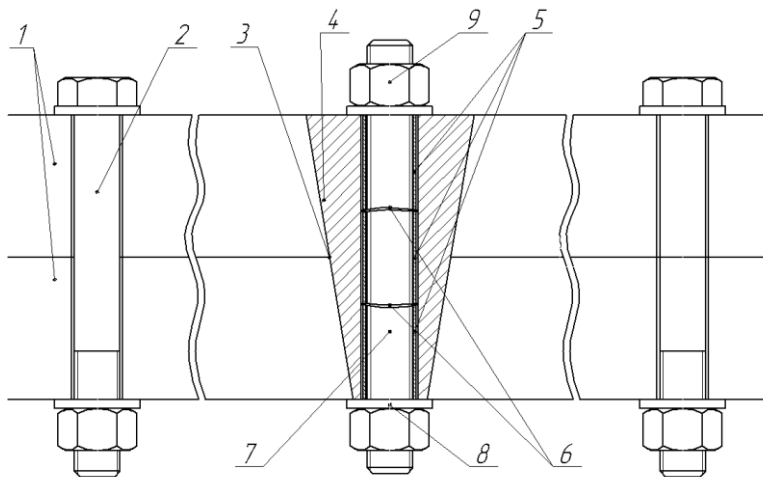


Рис. 1. «Общий вид контактного соединения».

Шины 1 разных полярностей установлены внахлест с чередованием полярности и скреплены между собой с помощью болтов 2. Причем диаметр отверстий в шинах  $D_1$  и диаметр крепежных болтов  $D_2$  находятся в соотношении  $D_2 \approx 0,8D_1$ . Шины и болты выполнены из одного и того же проводящего материала. Крепежные болты снабжены металлическими 3, 4 и

герметизирующими шайбами 5. Объем между боковыми поверхностями крепежного отверстия и болтом заполнено проводящим материалом, таким же что и шины в виде порошка. При стягивании шин шайбы уплотняют проводящий порошок, который обеспечивает дополнительный токопровод в контактном соединении.

Дополнительно, для уменьшения переходного сопротивления в контактных соединениях можно наносить на контактирующие поверхности шин пластичный материал, использующий в качестве наполнителя электропроводный материал на базе эвтектического сплава галлий-индий-олово, содержащий галлия не менее 70% и перемешанный с порошком железным распыленным [3].

При использовании предполагаемого изобретения в катодной ошиновке ртутных электролизеров с контактными парами сталь-медь снижение потерь электрической энергии:

$$\Delta A = (P_o - P_n)t, [\text{Дж}]$$

где  $P_o t$  - потери электрической энергии до использования дополнительного токопровода в контактном соединении,  $P_n t$  - потери электрической энергии после использования дополнительного токопровода в контактном соединении,  $t$  - расчетное время.

Проведены стендовые испытания модуля контактного соединения электролизера с током нагрузки  $I_H = 5000 \text{ А}$ .

Падение напряжения на контактном соединении до использования дополнительного токопровода составило  $42 \cdot 10^{-3} \text{ В}$ , что соответствует переходному сопротивлению  $R_o = 8,4 \cdot 10^{-6} \text{ Ом}$ .

После разрушения окисной пленки в контактном соединении падение напряжения составило  $34 \cdot 10^{-3} \text{ В}$ , что соответствует переходному сопротивлению  $R_o = 6,8 \cdot 10^{-6} \text{ Ом}$ .

Экономия электрической энергии в сутки при работе ртутного электролизера током нагрузки  $400 \cdot 10^3 \text{ А}$  и токоподводом из  $n = 80$  модулей при использовании предлагаемого контактного соединения составляет  $\Delta Q = I_H^2 (R_o - R_n) \cdot n \cdot t = 206,4 \text{ кВт} \cdot \text{час}$ .

Стендовые испытания показали, что при использовании предлагаемого изобретения в магистральном шинопроводе из алюминия в электролизном цехе получения хлора снижение потерь электрической энергии в одном контактном соединении составляет 15-20%

#### Список литературы:

1. Казанцев А.А., Косорлуков И.А. Уменьшение переходного сопротивления в силовых контактных соединениях // «Электрика». – 2012, – № 8. – С. 28 – 29.
2. Контактное соединение: пат. 2334321 Рос. Федерация. № 2007114550/09; заявл. 17.04.2007; опубл. 20.09.2008, Бюл. № 26. – 4 с.
3. Воронин А.А., Кулаков П.А., Новиков О.Я., Приходченко В.И. Пластичный электропроводный материал // «Электрические контакты». – 1996. – С.45 – 46.

#### Анализ режимов работы преобразователя частоты ТПЧ-800 в составе трубогибного стана УЗТМ-465 как нелинейного потребителя

Д.Н. Коржов

Белгородский Государственный Технологический Университет им. В.Г. Шухова,  
г. Белгород, Россия

E-mail: [korzhov.dima@list.ru](mailto:korzhov.dima@list.ru)

В статье отражены основные особенности и отличительные черты различных режимов работы преобразователя частоты, наличие которых обусловлено необходимостью регулирования мощности нагрева в широком диапазоне в соответствии с технологической режимной картой. Это в свою очередь требует глубокого регулирования выходных параметров преобразователя на стороне постоянного и переменного токов. Приведены результаты расчета параметров преобразователя частоты для различных режимов работы. На основе расчетов делается вывод о том, что для повышения качества электроснабжения данного нелинейного потребителя необходимо использовать устройства на базе активного фильтра гармоник.

Трубогибный стан УЗТМ-465 предназначен для гибки стальных труб в горизонтальной плоскости с местным нагревом токами высокой частоты и одновременной осевой осадкой на участкегиба. Это устройство относится к типу станков горячей гибки, так как в его состав входит нагревательный элемент на базе тиристорного преобразователя частоты ТПЧ-800 [1]. Ниже представлена упрощенная схема стана.

На рис. 2 представлена электрическая схема силовой части преобразователя частоты ТПЧ-800. ТПЧ построен по схеме двухзвенного преобразователя частоты с явным звеном постоянного

тока. Основными составными частями силовой электрической схемы ТПЧ являются: автоматический выключатель QF1; выпрямитель VS1 – VS6; сглаживающий реактор LD1, LD2; инвертор VS7 – VS10; нагрузка  $R_1, L_1, C_1$ .

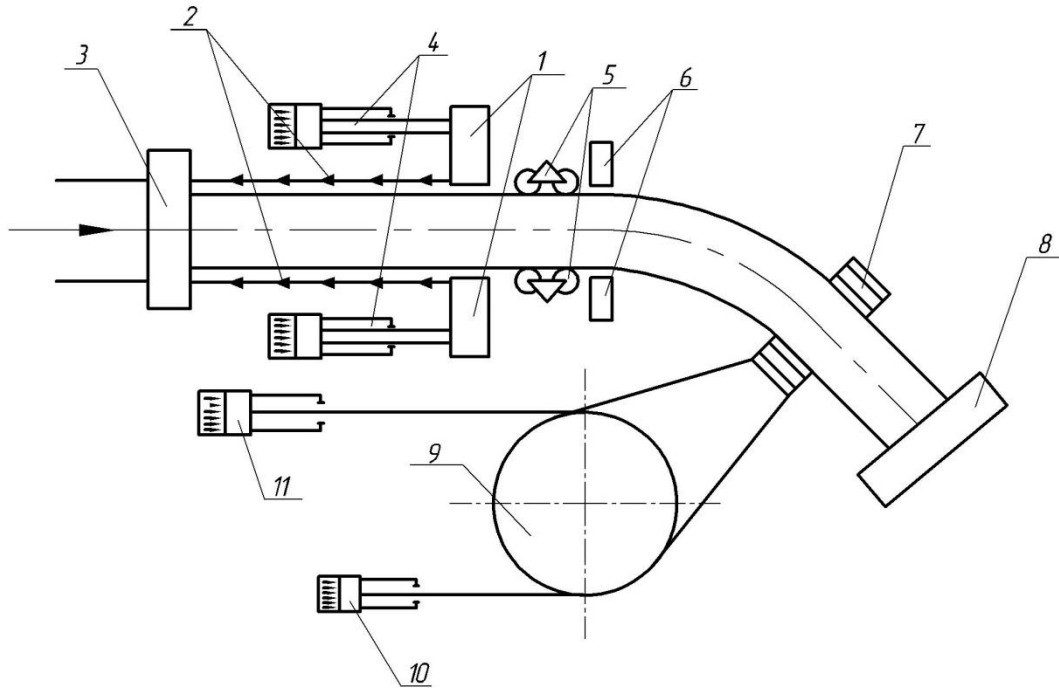


Рис. 1. Упрощенная схема работы УЗТМ-465.

1 - траверса механизма продольной подачи; 2 - гребенчатые тяги; 3 - задний упор; 4 - гидроцилиндры продольной подачи (рабочие цилиндры); 5 - направляющие ролики; 6 - индуктор нагрева ТПЧ; 7 - гибочная головка; 8 - передний торцевой упор; 9 - водило; 10 - цилиндр холостого хода; 11 - тормозной цилиндр.

В соответствии с технологической режимной картой на трубогибном стане УЗТМ-465 возможен гиб стальных труб со следующими размерами и параметрами нагрева: диаметр 219-465 мм; толщина 12-28 мм; радиусгиба 400-1000 мм; скорость подачи 15-115 мм/мин; температура нагрева 900-1050°C; мощность нагрева 80-400 кВт. Регулирование режима работы ТПЧ осуществляется путем прямого или косвенного (мощность, температура нагрева и т.д.) регулирования напряжения на нагрузке.

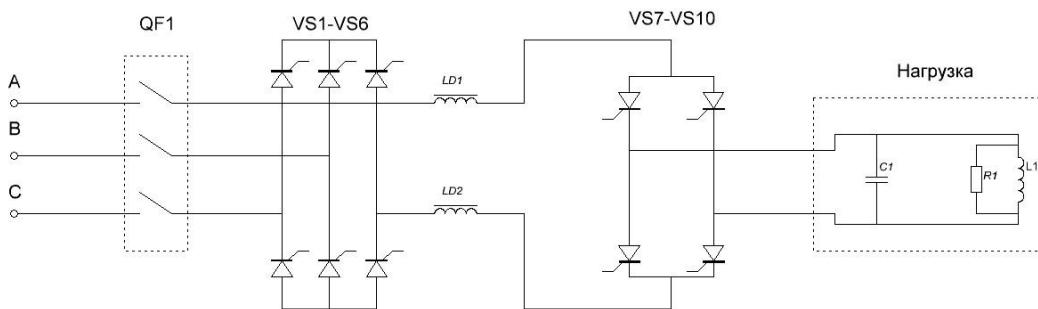


Рис. 2. Функциональная схема преобразователя частоты.

Для обеспечения работоспособности ТПЧ при изменении нагрузки в широких пределах, в режимах от близкого к холостому ходу до некоторого предельного, в ТПЧ применяется трехзонное регулирование выходного напряжения.



1. Режим I. Выпрямитель полностью открыт ( $\alpha=0^\circ$ ), инвертор работает в режиме стабилизации тока нагрузки. При этом схемное время выключения тиристорov превышает минимально требуемое значение.

2. Режим II. Инвертор работает в режиме стабилизации схемного времени выключения тиристорov, регулирование выходного напряжения осуществляется за счет изменения угла управления выпрямителя.

3. Режим III. Регулирование напряжения осуществляется за счет изменения угла управления как выпрямителя, так и инвертора. По мере уменьшения сигнала задания увеличиваются углы задержки выпрямителя и опережения инвертора. При этом стабилизируется (ограничивается) минимальное значение тока.

Для первого режима работы ток нагрузки, емкость конденсаторной батареи и угол управления будут постоянными и равными  $I_n = 400$  А,  $C = 150$  мкФ,  $\alpha = 0$ е. Значение тока нагрузки выбрано из соображений его нахождения в середине диапазона регулирования. Мощность нагрева является переменной, но изначально заданной величиной. Для второго режима работы исходными данными будут являться следующие величины: мощность нагрева  $P_{нагр}$ , емкость конденсаторной батареи, ток нагрузки  $I_n$  и угол опережения инвертора  $\beta$ . Для третьего режима работы исходными данными будут являться следующие величины: мощность нагрева  $P_{нагр}$ , ток и напряжение нагрузки  $I_n$  и  $U_n$ . Также примем допущение о том, что мощность нагрева тождественна активной мощности нагрузки, а мощность конденсаторной батареи – реактивной мощности. Исходные величины и результаты вычислений параметров для трех режимов работы преобразователя частоты сведены в табл. 1.

Как следует из табл. 1, при реализации трех режимов работы ТПЧ напряжение и ток на нагрузке изменяются в широком диапазоне за счет регулирования среднего выпрямленного напряжения и амплитуды тока инвертора. При таком регулировании ТПЧ является значительным потребителем реактивной мощности и нелинейным потребителем. Определение показателей качества электроэнергии, характеризующих электромагнитную совместимость таких потребителей (ЭМС), аналитическим путем представляется весьма сложной задачей. В реальных условиях нагрузка преобразователя частоты представляет собой параллельный  $L-C-R$  контур, что вносит значительные, причем труднопрогнозируемые изменения в форму напряжения на нагрузке. Поскольку процессы обмена энергией между конденсатором и индуктивностью описываются экспоненциальными зависимостями, то форма кривых токов и напряжений носит экспоненциальный характер. Следовательно, возникает проблема генерирования высших гармоник в сеть, связанная с несинусоидальностью напряжения нагрузки.

Таблица 1. Результаты расчета параметров ТПЧ-800.

Режим	Исходные данные			Расчетные величины			
	$C$ , мкФ	$P_{нагр}$ , кВт	$I_n$ , А	$U_d$ , В	$U_n$ , В	$\beta$	$\alpha^*$
I	150	80	400	516	647	$29^\circ$	$0^\circ$
	150	120	400	516	725	$38^\circ$	$0^\circ$
	150	180	400	516	924	$51^\circ$	$0^\circ$
II	$C$ , мкФ	$P_{нагр}$ , кВт	$I_n$ , А	$U_d$ , В	$U_n$ , В	$\beta^*$	$\alpha$
	500	80	500	300	337	$5,6^\circ$	$54^\circ$
	500	180	700	453	508	$5,6^\circ$	$28^\circ$
	500	250	900	509	594	$5,6^\circ$	$9^\circ$
III	$P_{нагр}$ , кВт	$I_n$ , А	$U_d$ , В	$U_n$ , В*	$\beta$	$\alpha$	
	80	400	178	300	$50^\circ$	$70^\circ$	
	250	600	371	550	$43^\circ$	$43^\circ$	
	450	800	503	650	$33^\circ$	$11^\circ$	

Примечания:

- $U_d$  – среднее выпрямленное напряжение на выходе управляемого выпрямителя.
- \* - отмеченная величина относится к исходным данным в этом режиме работы.

Простейшим методом фильтрации гармоник является применение пассивных фильтров. В них используются реактивные элементы, а именно конденсаторы и индуктивности. Широкое распространение получили параллельные настраиваемые и низкочастотные пассивные LC-

фильтры. Они имеют некоторые достоинства, в частности простота реализации и низкая стоимость. Среди основных недостатков следует отметить провоцирование резонансных явлений в питающей сети, сложность настройки на частоту фильтрации, ограниченное число подавляемых гармоник. Современные активные системы коррекции формы кривых тока и напряжения, выполненные на базе параллельных активных фильтров (ПАФ), лишены указанных недостатков и способны эффективно компенсировать реактивную мощность и высшие гармоники тока и напряжения сети (от второй до сороковой) в режиме реального времени с высоким быстродействием [2]. Наибольшее практическое применение получили схемы активных фильтров гармоник с ёмкостным накопителем благодаря их более высокому быстродействию и лучшим технико-экономическим показателям. Преимущество схем с индуктивным накопителем проявляется при использовании сверхпроводящих индуктивных накопителей в тех случаях, когда это необходимо для компенсации реактивной мощности или обеспечения резерва электроэнергии при исчезновении напряжения сети.

Выводы:

1. Наличие трех режимов работы преобразователя частоты обусловлено необходимостью регулирования мощности нагрева в широком диапазоне в соответствии с технологической режимной картой. Это в свою очередь требует глубокого регулирования выходных параметров преобразователя на стороне постоянного и переменного токов.

2. ТПЧ, обеспечивая необходимые режимы гнба труб, является нелинейным потребителем и тем самым потребителем реактивной мощности, генерируя при этом в сеть высшие гармоники различных амплитуд в зависимости от потребляемой мощности нагрузки.

#### Список использованной литературы:

1. Тиристорные преобразователи высокой частоты / Е.И. Беркович, Г.В. Ивенский, Ю.С. Иоффе. – Л.: Энергия, – 1973. – 200 с.
2. Абрамович Б.Н., Сычев Ю.А., Медведев А.В., Старостин В.В., Аболев Е.Н., Полещук В.В. Промышленные испытания активного фильтра в промышленных сетях ОАО «Оренбургнефть ТНК-ВР» // Промышленная энергетика. – 2008. – т № 8. – С. 2 – 6.

#### Оценка гармонических составляющих тока и напряжения кранового частотного электропривода с помощью виртуальной модели

*Д.С. Лимаров*

*Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

*E-mail: [sprutcomtel@mail.ru](mailto:sprutcomtel@mail.ru)*

В статье проведен анализ гармонического состава напряжений и токов в различных точках подключения кранового электропривода к участковой трансформаторной подстанции на основании виртуальной модели реальной системы. Рассмотрены методы и средства достижения требуемого уровня электромагнитной совместимости. Сделаны выводы, о том, что использование пассивных сетевых фильтров для минимизации высших гармонических составляющих напряжений и токов в сетях электроснабжения кранового электропривода не позволяют в достаточной степени добиться необходимого качества электроэнергии. Сравнительный анализ гармонического состава напряжений и токов в различных точках подключения кранового электропривода к участковой трансформаторной подстанции показывает, что коэффициент несинусоидальности превышает нормируемые значения даже для установившихся режимов.

На рис. 1 представлена виртуальная модель реальной системы электропривода мостового однобалочного электрического крана, грузоподъемностью 8 тонн, построенного на базе полупроводниковый преобразователь частоты – асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором (ППЧ-АД).

Для основных механизмов крана (подъем, передвижение тележки самого крана) используется частотный регулируемый электропривод, работающий в повторно-кратковременном режиме, основные технические характеристики представлены в табл. 1. Основной особенностью работы кранового электропривода является наличие потребителей с различными графиками нагрузок, которые накладываются друг на друга на шинах цеховых подстанций, образуя участки с преобладанием переходных режимов. Длительность этих участков может составлять от 10% до 50% от общей продолжительности работы в одном цикле. В этих режимах происходит значительное снижение коэффициентов мощности, полезного действия и повышенное потребление реактивной мощности.

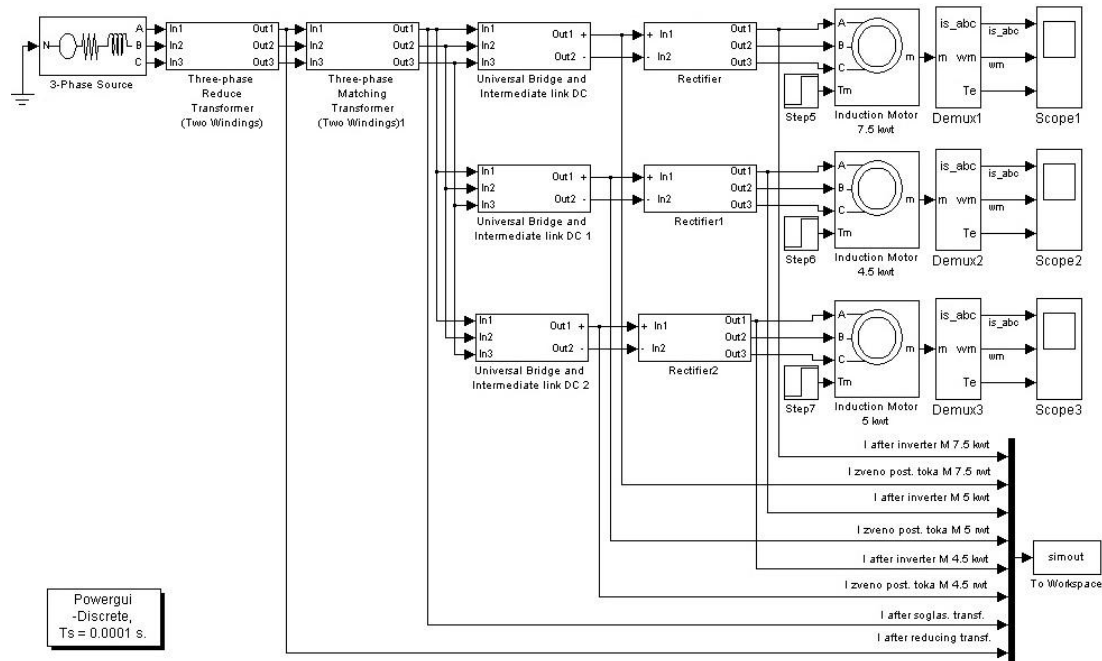


Рис. 1. Виртуальная модель реальной системы электропривода мостового однобалочного электрического крана.

Таблица 1

Наименование потребителя	Номинальная мощность, кВт	Частота вращения, об/мин	КПД, %	Коэффициент мощности, cosφ
Двигатель подъема	5	1000	87	0,86
Двигатель передвижения тали	4,5	900	71,5	0,75
Двигатель передвижения крана	7,5	880	76	0,77

Виртуальная модель включает: анализатор гармоник (Workspace); измеритель напряжения (Voltage Measurements); измеритель тока (Current Measurements); трехфазное устройство включения и выключения переменного тока (Three-Phase Breaker1); трехфазный источник тока (3-Phase Sources); Three-phase Reduce Transformer – понижающий трансформатор; Three-phase Matching Transformer – согласующий трансформатор; Universal Bridge – выпрямитель; Intermediate link DC – промежуточное звено постоянного тока; Rectifier – инвертор; Induction Motor – асинхронный двигатель [1].

В результате моделирования, были получены высшие составляющие тока после понижающего трансформатора, согласующего трансформатора, после инвертора, и в промежуточных звеньях постоянного тока для двигателя передвижения крана. Результаты моделирования приведены на рис. 2-5.

Как следует из результатов моделирования, коэффициент искажения синусоидальности кривых напряжений (коэффициент несинусоидальности) THD - величина, равная отношению корня квадратного из суммы квадратов амплитудных значений высших гармоник гармонических составляющих данной периодической кривой напряжения к амплитудному значению основной гармоники, выраженная в процентах превышает 39%. Во всех точках измерения  $k_{H1} = 6,51\%$ ,  $k_{H2} = 6,66\%$ ,  $k_{H3} = 29,59\%$ ,  $k_{H4} = 39,37\%$  не соответствуют параметрам ГОСТ Р 54149 – 2010.

Для достижения требуемого уровня электромагнитной совместимости (ЭМС) используются различные средства, которые можно разделить на два основных вида структурные и системные [2].

Структурные методы предусматривают воздействие непосредственно на преобразователи, которые сводятся к построению и оптимизации схем преобразования и систем управления:

- повышение фазности схемы выпрямления или создание условного режима повышения фазности на стороне переменного тока;

- выбор оптимального способа управления выходных напряжения и частоты частотного преобразователя;

- использование в системах управления частотных преобразователей дополнительных сигналов, получаемых с помощью обратных связей.

К системным решениям обеспечения электромагнитной совместимости относятся:

- оптимизация схем электроснабжения с нелинейными потребителями;
- использование фильтрокомпенсирующих устройств (ФКУ) или сетевых фильтров.

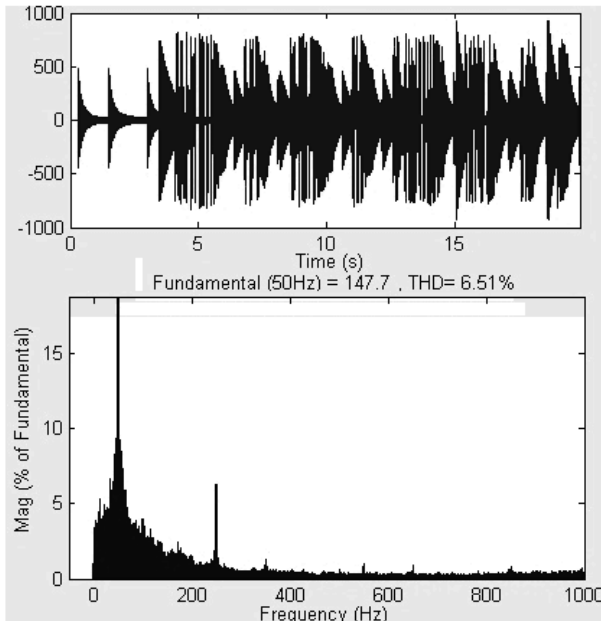


Рис. 2 Гармонические составляющие тока, после понижающего трансформатора.

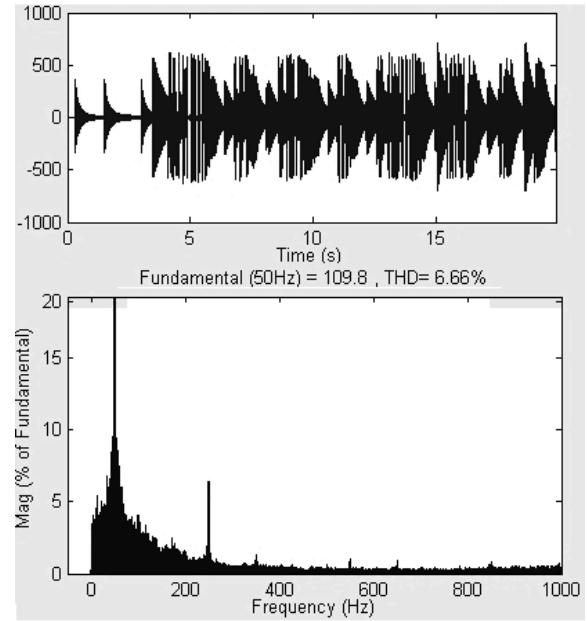


Рис. 3 Гармонические составляющие тока, после согласующего трансформатора.

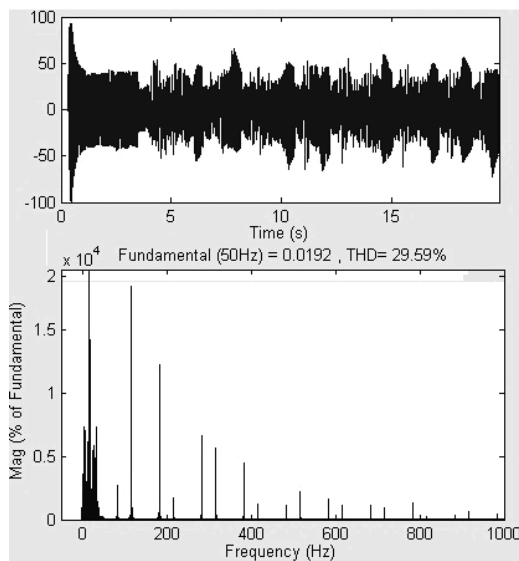


Рис. 4 Гармонические составляющие тока, после инвертора.

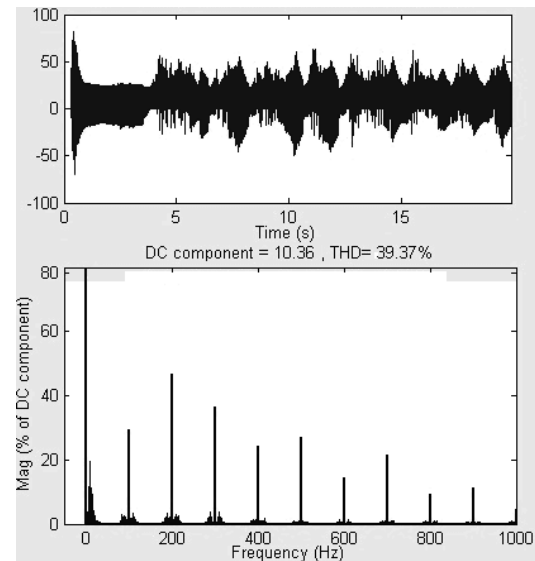


Рис. 5 Гармонические составляющие тока в промежуточном звене постоянного тока.

Простейшим методом фильтрации гармоник является применение пассивных сетевых фильтров. В них используются реактивные элементы, а именно конденсаторы и индуктивности. Широкое распространение получили параллельные настраиваемые LC и низкочастотные LC пассивные фильтры. Они имеют некоторые достоинства, такие как простота и цена. Среди основных недостатков следует отметить провоцирование резонансных явлений в питающей сети, сложность настройки на частоту фильтрации, ограниченное число гармоник.

Установка сглаживающих реакторов, как и установка фильтрующих конденсаторов, приводит к потерям напряжения в сети.

Ограничение мощности нелинейной нагрузки до уровня 15 – 20% номинальной мощности трансформатора не всегда технически осуществимо и экономически целесообразно.

Современные активные системы коррекции формы кривых тока и напряжения, выполненные на базе параллельных активных фильтров (ПАФ) лишены указанных недостатков и способны эффективно компенсировать реактивную мощность и высшие гармоники тока и напряжения сети (от второй до сороковой) в режиме реального времени с высоким быстродействием [2].

Активный фильтр – это преобразователь переменного/постоянного тока с ёмкостным или индуктивным накопителем электрической энергии на стороне постоянного тока, формирующий методами импульсной модуляции усреднённое значение тока (напряжения), равное разности нелинейного тока или напряжения и синусоидального тока (напряжения) его основной гармоники.

Наибольшее практическое применение получили схемы активных фильтров гармоник с ёмкостным накопителем благодаря их более высокому быстродействию и лучшим технико-экономическим показателям. Преимущество схем с индуктивным накопителем проявляется при использовании сверхпроводящих индуктивных накопителей в тех случаях, когда это необходимо для компенсации реактивной мощности или обеспечения резерва электроэнергии при исчезновении напряжения сети.

В зависимости от особенностей применения и для решения различных электрических проблем активные фильтры имеют следующие основные варианты исполнения: параллельного типа, последовательного, параллельно – последовательного типа.

Для компенсации действия гармонических составляющих кранового электропривода предлагается использовать активный фильтр с применением фазы-регулятора. Принцип алгоритма фазы-управления основан на сводке нечетких правил преобразовании токов нагрузки и напряжения сети в термы активной и реактивной мощностей. Затем через эти термы определяются суммарные искажения и далее эти искажения при помощи обратного преобразования переводятся в реальные сигналы управления АПФЭ. Получаемые сигналы управления активным фильтром, учитывают искажения формы токов нагрузки, фазу токов нагрузки относительно напряжения сети и несимметрию трёхфазных токов нагрузки. Целью дальнейшей разработки является формирование законов управления активным фильтром на базе правил нечеткой логики.

#### **Выводы**

1. Традиционное использование пассивных сетевых фильтров для минимизации высших гармонических составляющих напряжений и токов в сетях электроснабжения кранового электропривода не позволяют в достаточной степени добиться необходимого качества электроэнергии, особенно при динамических режимах работы электропривода.

2. Сравнительный анализ гармонического состава напряжений и токов в различных точках подключения кранового электропривода к участковой трансформаторной подстанции показывает, что коэффициент несинусоидальности превышает нормируемые значения даже для установившихся режимов.

#### **Список использованной литературы:**

1. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. – М.: ДМК Пресс; – СПб.: Питер, – 2008. – 288 с.
2. Абрамович Б.Н., Сычев Ю.А., Медведев А.В., Старостин В.В., Аболемов Е.Н., Полещук В.В. Промышленные испытания активного фильтра в промышленных сетях ОАО «Оренбургнефть ТНК-ВР» // Промышленная энергетика. – 2008. – № 8. – С. 2 – 6.

#### **Передача кодированного сигнала, заполненного высокой несущей частотой, по проводам электрических сетей**

*В.Л. Матюшев*

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

*E-mail: 19mety87@mail.ru*

Рассмотрена методика передачи и получения кодированного сигнала, заполненного высокой несущей частотой. Сделан вывод о том, что эта методика может применяться для передачи информации по проводам линии.

Построение релейной защиты (РЗ) воздушных высоковольтных линий (ВВЛ) с абсолютной селективностью и высокочастотным (ВЧ) обменом информации по проводам ВВЛ между комплектами на концах является наиболее надежным и эффективным вариантом таких защит, однако весьма дорогим.

Другие варианты обмена информацией по оптоволоконным каналам с точки зрения функциональной надежности не хуже, однако аппаратная надежность их ниже (временное и климатическое старение, чувствительность к механическим помехам). Потребность повторного усиления сигнала в электронном виде вследствие отсутствия оптических оконечных устройств, приемлемых систем оптического усиления и преобразования требует дорогостоящих оптоэлектронных и электронно-оптических преобразователей.

В связи с изложенным поставлена задача поиска и исследования способа построения передачи кодов на ВЧ несущей по проводам воздушных линий. Данные условия передачи сигналов ограничивают частоту несущей до 500-800 кГц. В связи с сильным затуханием ВЧ сигнала передача ограничивается также длиной воздушных линий, на которых требуется установка ВЧ защит.

Непосредственная передача высокой частоты по проводам линии вызывает необходимость ограничения распространения ВЧ сигнала пределами силовых проводов защищаемой линии. Это реализуется заградителями ВЧ несущей, устанавливаемыми на концах линии. Для реализации канала связи по проводам требуется также другое высоковольтное оборудование (конденсаторы связи и фильтры присоединения), что обуславливает высокую стоимость ВЧ каналов. В связи с этим рассматривается вышеуказанный способ организации ВЧ защит посредством передачи кода на несущей частоте.

Поставлена задача исследования передачи кода на несущей частоте. Исследования проводились на примере воздушной линии длиной 100 км при несущей частоте 500 кГц путем передачи манчестерского кода. Согласно [1], в манчестерском кодировании каждый бит кодируется двумя уровнями напряжения с переходом в середине каждого импульса. При прямом манчестерском кодировании бит «0» представляется переходом от уровня низкого напряжения к уровню высокого, а бит «1» – переходом от высокого уровня к низкому.

Манчестерское кодирование является самосинхронизирующимся кодами, т.е. оно позволяет приемнику настроиться на передатчик без специальных синхросигналов, отсутствие которых позволяет уменьшить объем стартовой информации при передаче кода. Еще одно достоинство манчестерского кодирования состоит в том, что оно использует два уровня напряжения вместо трех. Это обеспечивает лучшую помехозащищенность и упрощает соответствующую аппаратуру. При передаче кода отсутствует накопление распределенной емкости линии, ввиду изменения полярности передаваемого импульса.

Главным недостатком данного кодирования является увеличение времени расшифровки полученного сигнала. Для повышения скорости срабатывания защиты можно настроить приемный датчик на срабатывание защиты при получении стартового бита. В настоящее время минимальное полное время отключения выключателя составляет 0,05 с, что позволяет приемному датчику перепроверить полученный сигнал еще четыре раза.

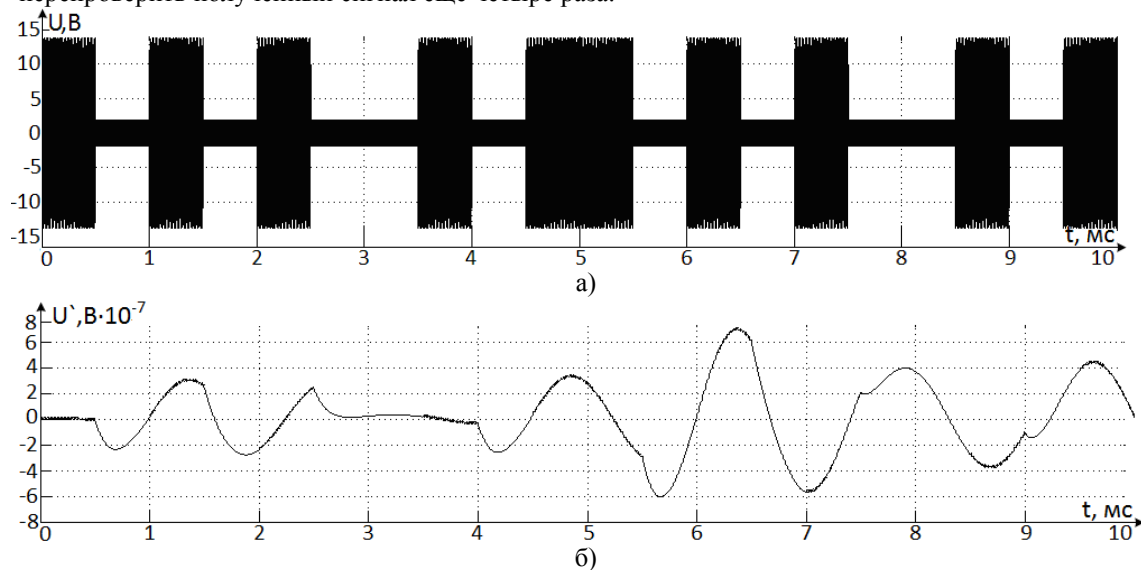


Рис. 1. Осциллограммы сигналов  
 а) переданный сигнал; б) сигнал, полученный на конце линии.

Опыт проводился в среде Matlab (библиотека Simulink). При передаче ВЧ сигнала возникает большое искажение самой структуры переданного сигнала, начинает преобладать низкая частота (рис. 1б), которая исключает возможность расшифровки передаваемого сигнала.

Для выявления сигнала из полученных помех используется ВЧ фильтр без катушек индуктивности. Стремление исключить из цепи катушку индуктивности вызвано рядом причин [2]. Во-первых, катушка индуктивности – довольно громоздкий и тяжелый элемент. Во-вторых, она обычно рассеивает большую энергию, в отличие от конденсатора того же размера. В-третьих, катушка индуктивности не так близка к идеальной индуктивности, как конденсатор к идеальной емкости. Активные потери в катушках индуктивности могут привести к большим отклонениям параметров практических схем от результатов их расчета методами теории цепей. В катушке индуктивности наблюдается возможность возникновения насыщения и нелинейных эффектов. По этим причинам выбрано схематическое решение, исключающее использование индуктивности, и фильтр формируется из активных RC элементов.

Также при моделировании процесса использовался Т-образный ВЧ фильтр, параметры которого выбраны в соответствии с [2]. При помощи Т-образного ВЧ фильтра достигнуто выделение из помех кодированного сигнала, ослабленного на 93 дБ относительно передаваемого полезного кода (рис. 2).

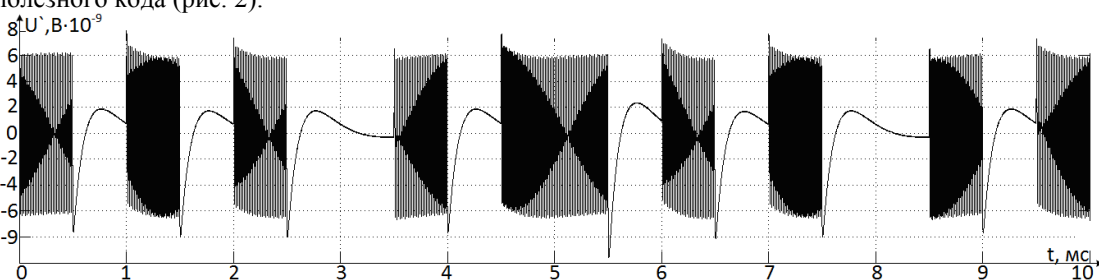


Рис. 2. Оциллограмма отфильтрованного сигнала.

Полученный отфильтрованный сигнал в конце линии лежит в пределах  $6 \times 10^{-9}$  В. Согласно [3], такие величины не пригодны для приемника манчестерского кода. Данное оборудование может надежно воспринять сигнал напряжением высокого уровня не менее 2 В, поэтому ставится задача не только отфильтровать сигнал от помех, но и усилить его до требуемой величины. Эта задача решается с помощью ВЧ фильтра на операционном усилителе (рис. 3). В связи с тем, что нет возможности смоделировать ВЧ фильтр на операционном усилителе в среде Matlab (библиотеке Simulink), данный фильтр смоделирован в среде Electronics Workbench.

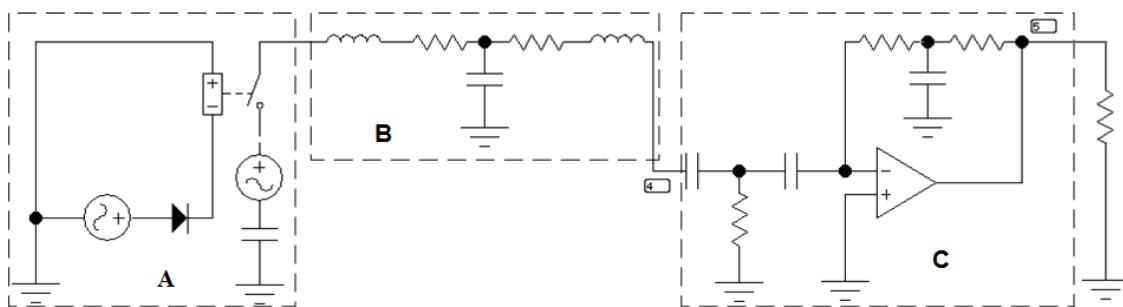


Рис. 3. Схема передачи сигнала.

Параметры ВЧ фильтра на операционном усилителе определены в соответствии с [2].

Блок «А» является источником модулированного сигнала частотой 1 кГц, заполненного несущей частотой 500 кГц. Данный источник не имеет проводниковую связь с землей. Такая схема замещения моделируется, согласно [4], посредством замены прямой связи источника сигнала с землей на связь через конденсатор. Блок «В» – линия электропередач длиной 100 км напряжением 750 кВ. Блок «С» – фильтр на операционном усилителе.

При пропуске полученного сигнала через активный фильтр на выходе усилителя получен сигнал, ослабленный на 40 дБ относительно передаваемого полезного кода (рис. 4).

Для большего увеличения сигнала применяется активный фильтр третьего порядка. Данный фильтр организован посредством последовательного соединения трех активных фильтров первого порядка. Последующее увеличение порядка фильтра привело к нестабильной его работе. Полученный сигнал ослаблен на 3,8 дБ относительно передаваемого полезного кода (рис. 5).

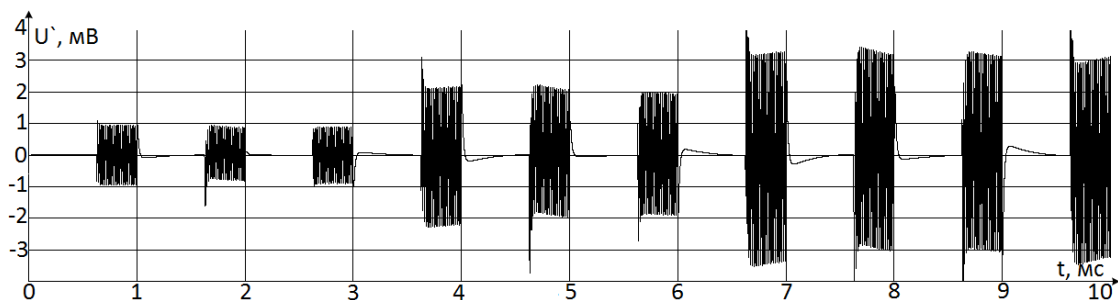


Рис. 4. Осциллограмма усиленного сигнала.

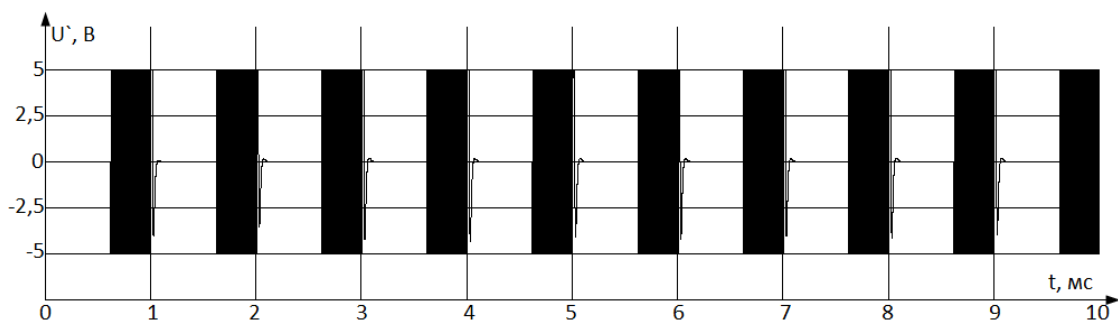


Рис. 5. Осциллограмма усиленного сигнала.

Результат, полученный после фильтрации и усиления сигнала, находится в соизмеримых пределах с передаваемым сигналом, т.е. есть возможность применить данную методику передачи и получения кодированного сигнала, заполненного высокой несущей частотой, для передачи информации по проводам линии.

#### Список использованной литературы:

1. Густов О., Джангуидо П. Цифровые системы автоматизации и управления. – СПб.: Невский Диалект, 2001. – 557 с.
2. Алексакова Г. Активные RC-фильтры на операционных усилителях. – М.: Энергия, 1974. – 64 с.
3. Технические данные. Приемопередатчики манчестерского кода. Интеграл, – 5 с.
4. Матюшев В.Л. Передача высокочастотного сигнала по проводам силовой линии // Энергетика: эффективность, надежность, безопасность: Тр. XIV междунар. студ. науч.-техн. сем. . – Томск: ТПУ, 2012. – с. 55–59.

#### Учет переменного графика нагрузки при оценке эффективности сооружения АИП

*В.П. Обоскалов, Д.И. Померанец\**

*Уральский федеральный университет, \*ОАО «ЕЭСК», г. Екатеринбург, Россия*

*E-mail: [yro@daes.ustu.ru](mailto:yro@daes.ustu.ru)*

Предлагается математическая модель оценки экономической эффективности сооружения автономных источников электро- и теплоснабжения потребителей (АИП) с учетом темпов роста цен на энергоносители в условиях переменных графиков цены и нагрузки. За основу принят критерий максимального чистого дисконтированного дохода (ЧДД). Показано, что фактор роста цен существенно влияет на принимаемое решение. Определено влияние конфигурации графиков цены и нагрузки на результирующую эффективность АИП.

В России в настоящее время сложилась ситуация, благоприятствующая сооружению для электро- и теплоснабжения потребителей автономных источников питания (АИП), к числу которых относятся поршневые газо- и дизель генераторы, газотурбинные установки (ГТУ), ветрогенераторы, солнечные генераторы и др. Этому способствует более низкая по сравнению с централизованным энергоснабжением стоимость производства тепловой и электрической энергии, достаточно высокий КПД и приемлемая стоимость АИП. Широкое применение ГТУ получило на крупных предприятиях. Это вызвано, прежде всего, ростом тарифов на тепло- и электроэнергию в условиях переходного периода рынка электрической энергии и мощности.



Развитие структуры АИП в значительной степени зависит от соотношения цен на энергоносители, в частности цен на газ и твердое топливо. В настоящее время использование природного газа для производства электро- и тепло энергии по экологическим и экономическим критериям более эффективно, чем угля или мазута. В результате оптимальным режимом загрузки всех видов АИП с потреблением газа является работа в базовом цикле с полной загрузкой агрегатов. При существенном повышении цены газа, возможно, более выгодным станет полное или частичное централизованное потребление энергии и использование АИП в качестве резервных или пиковых источников питания.

Критерием экономической целесообразности инвестиций в настоящее время, как правило, является максимум чистого дисконтированного дохода (интегральная приведенная к первому году чистая стоимость)

$$J = -K_0 + \sum_{t=1}^T (D_t - K_t - I_t)(1 + \alpha)^{-t}, \quad (1)$$

где  $D_t$  – доход от производственной деятельности АИП;  $K_t$ ,  $I_t$  – соответственно капиталовложения и издержки в текущем году  $t$ ;  $\alpha$  – ставка дисконтирования.

При оценке экономической эффективности сооружения АИП вариант АИП сопоставляется с вариантом централизованного энергоснабжения (базовый вариант). Отсюда для получения показателя эффективности в выражении (1) все представленные составляющие необходимо выразить в виде разностей величин отнесенных к вариантам с АИП и без АИП.

В варианте с АИП электрическая (ээ) и тепловая (тэ) мощности генерации  $P_t^{e,\Gamma}$ ,  $e \in \{\text{ээ, тэ}\}$  собственного потребления  $P_t^{e,\Pi}$ , потребления из централизованной сети  $P_t^{e,s}$  и отпуска энергии в централизованную сеть связаны соотношением баланса

$$P_t^{e,\Gamma} = P_t^{e,\text{от}} + P_t^{e,\Pi} - P_t^{e,s}, \quad e \in \{\text{ээ, тэ}\}.$$

**Централизованное энергоснабжение.** Здесь  $P_t^{e,\Gamma} = P_t^{e,\text{от}} = 0$ ,  $P_t^{e,\Pi} = P_t^{e,s}$ . Ежегодные издержки определяются стоимостью купленного у централизованного поставщика энергоносителя. ЧДД потребителя энергии в общем случае с подключением к тепловой и электрической сети

$$J_1 = -K_{\text{ээ}}^{\text{np}} - K_{\text{тэ}}^{\text{np}} - \sum_{t=1}^T (\Pi_t^{\text{ээ}} + \Pi_t^{\text{тэ}})(1 + \alpha)^{-t},$$

где  $K^{\text{np}}$  – стоимость подключения соответственно к электрической и тепловой сети, включающие затраты на ее реконструкцию;  $T$  – расчетный период;  $\alpha$  – ставка дисконтирования;  $\Pi^e = \alpha^{e,s} W^e$  – ежегодные платежи за потребленную (от внешнего поставщика) энергию;  $W = P_{\text{max}} T_{\text{max}}$  – планируемый объем потребляемой в период  $t$  электро- и теплоэнергии;  $P_{\text{max}} T_{\text{max}}$  – максимальная мощность и число часов использования максимальной мощности потребителя электро- и теплоэнергии;  $\alpha^{e,s}$  – одноставочный тариф электро- и теплоэнергии. Иные виды тарифа, например, двухставочный (за заявленную мощность и за потребленную энергию) могут быть преобразованы к одноставочному из условия равенства платежей.

В общем случае собственник АИП может покупать и продавать энергию на оптовом рынке, где значимыми являются суточные колебания цены энергии, выраженные в ценовых графиках (ЦГ). Прибыль зависит от стратегии загрузки АИП. Здесь возможны различные сценарии: работа АИП в пиковой зоне ЦГ, в базе с непрерывной генерацией тепловой и электрической энергии, в качестве резервного источника питания и др.

Учитывая специфику производства (одно-, двух- или трехсменная работа предприятия) суточный период необходимо разбить, по крайней мере, на два полупериода – день-ночь, а характерные графики цены и нагрузки стандартно дифференцируются по критерию сезонности и дня недели. С учетом этого годовые платежи за электро- и теплоэнергию в год  $t$  составляют

$$\Pi_t^e = \sum_{k=1}^{N_\Gamma} n_k \sum_{v=1}^{N_{vk}} \alpha_{vkt}^{e,s} P_{vkt}^{e,\Pi} \Delta t_v, \quad e \in \{\text{ээ, тэ}\}, \quad (2)$$

где  $N_\Gamma$  – число характерных ЦГ (зима, лето, день, ночь и др.);  $n_k$  – годовое число графиков  $k$ -го типа;  $N_{vk}$ ,  $\Delta t_v$  – число и длительность интервалов постоянства цены и мощности в графике  $k$ . Рассматривая

$$\Delta t_v / T_k = \Delta t_v / \left( n_k \sum_{v=1}^{N_{vk}} \Delta t_v \right)$$

как вероятность случайной реализации платежей в интервале определения графика  $k$ , платежи за энергию (2) можно выразить через математическое ожидание и корреляционный момент:

$$\Pi_t^e = \sum_{k=1}^{N_t} T_k \left( \bar{\Pi}_{kt}^{e,s} \bar{P}_{kt}^{e,\Pi} + \text{Cov} \left( \Pi_{kt}^{e,s}, P_{kt}^{e,\Pi} \right) \right)$$

или через коэффициент корреляции  $k \left( \Pi_{kt}^{e,s}, P_{kt}^{e,\Pi} \right)$

$$\Pi_t^e = \sum_{k=1}^{N_t} T_k \left[ \bar{\Pi}_{kt}^{e,s} \bar{P}_{kt}^{e,\Pi} + \sigma \left( \Pi_{kt}^{e,s} \right) \sigma \left( P_{kt}^{e,\Pi} \right) k \left( \Pi_{kt}^{e,s}, P_{kt}^{e,\Pi} \right) \right] = \sum_{k=1}^{N_t} W_{kt}^{e,\Pi} \mathfrak{S}_{kt}^{e,s,\Pi} \bar{\Pi}_{kt}^{e,s}, \quad (3)$$

где коэффициент согласованности графиков цены и нагрузки

$$\mathfrak{S}_{kt}^{e,s,\Pi} = 1 + k \left( \Pi_{kt}^{e,s}, P_{kt}^{e,\Pi} \right) / \left[ \nu \left( \Pi_{kt}^{e,s} \right) \nu \left( P_{kt}^{e,\Pi} \right) \right]; \quad (4)$$

$W_{kt}^{e,\Pi} = \bar{P}_{kt}^{e,\Pi} T_k$  – количество энергии, потребленное в течение года по графику  $k$ ;  $\nu(\cdot)$  – коэффициенты вариации представленной в (4) рыночной цены и мощности нагрузки.

**Вариант 2. Автономный источник питания.** При наличии АИП часть избыточной энергии (как электрической, так и тепловой) может быть отпущена в сеть централизованного энергоснабжения по цене  $\Pi^{e,\text{от}}$ , которая в общем случае может отличаться от рыночной (например, с целью привлечения энергоприемников). Это формирует доход предприятия. Основную долю ежегодных издержек составляют затраты на топливо. Платежи за энергию могут быть представлены выражением (3) с учетом корреляции графиков нагрузки и цены на рынке. Принимая во внимание, что капиталовложения в АИП носят, как правило, одноразовый характер (в год сооружения АИП), ЧДД в варианте с АИП определяется выражением

$$J_2 = -K_{\text{АИП}} - K_{\text{АИП}}^{\text{ип}} - \sum_{t=1}^T \left( I_{\tau,t} + I_{\text{ао},t} - \sum_{e=\{\text{э},\text{т}\}} \left( \Pi_t^{e,\text{от}} - \Pi_t^{e,s} \right) \right) (1 + \alpha)^{-t},$$

где  $K_{\text{АИП}}$  – капиталовложения на приобретение, установку, монтаж, наладку и пуск в эксплуатацию АИП;  $K_{\text{АИП}}^{\text{ип}}$  – стоимость подключения к электрической и тепловой централизованным сетям, включающие затраты на реконструкцию, при наличии АИП;  $I_{\tau} = \Pi_{\tau} \beta_{\tau} W^{\tau}$  – стоимость ежегодно потребляемого топлива;  $\Pi_{\tau}$  – цена топлива;  $\beta_{\tau}$  – удельный расход топлива на единицу произведенной суммарной электро- и теплоэнергии;  $W^{\tau}$  – годовое производство энергии;  $I_{\text{ао}} = p_{\text{ао}} K_{\text{АИП}}$  – издержки на амортизацию и обслуживание;  $W^{\text{от}} = \psi W^{\tau}$ ,  $\Pi^{\text{от}}$   $\Pi^s$  – соответственно объем отпущенной во внешнюю сеть энергии, выручка от продажи и платежи за энергию, получаемую потребителем из сети централизованного энергоснабжения. В рассматриваемом случае  $W^{\tau} = \Pi^{\Pi} + \Pi^{\text{от}} - \Pi^s$ .

#### Расчетный ЧДД

Расчетный ЧДД определяется превышением ЧДД второго (с АИП) над ЧДД первого (без АИП) варианта

$$J = J_2 - J_1 = K_{\text{ип}} - K_{\text{АИП}} - \sum_{t=1}^T \left( I_{\text{ао},t} + I_{\tau,t} - \sum_{e=\{\text{э},\text{т}\}} \left( \Pi_t^{e,\text{от}} + \Pi_t^{e,\Pi} - \Pi_t^{e,s} \right) \right) (1 + \alpha)^{-t}$$

где  $K_{\text{ип}} = K_{\text{э}}^{\text{ип}} + K_{\text{т}}^{\text{ип}} - K_{\text{АИП}}^{\text{ип}}$ ,  $\Pi_t^{e,\text{от}}$ ,  $\Pi_t^{e,\Pi}$ ,  $\Pi_t^{e,s}$  – соответственно расчетные затраты на присоединение к централизованной сети и платежи за отпущенную, потребленную и принятую из сети энергию.

**Издержки на амортизацию и эксплуатацию.** При обосновании инвестиций, как правило, принимается, что издержки на амортизацию и эксплуатацию пропорциональны капиталовложениям  $I_{\text{ао},t} = p_{\text{ао}} K_{\text{АИП}}$ . Отсюда

$$K_{\text{АИП}} + p_{\text{ао}} K_{\text{АИП}} \sum_{t=1}^T (1 + \alpha)^{-t} = \gamma K_{\text{АИП}},$$

где множитель  $\gamma$  выражается через сумму геометрической прогрессии (ГП).

$$\gamma = 1 + p_{ao} \sum_{t=1}^T (1 + \alpha)^{-t} = 1 + p_{ao} \left[ 1 - (1 + \alpha)^{-T} \right] / \alpha.$$

**Топливные издержки.** Пренебрегая изменением КПД при оперативном изменении режима работы АИП можно считать, что затраты на топливо пропорциональны генерации энергии и определяются через средний удельный расход топлива

$$I_{T,t} = c_{T,t} \beta_T W_t^r = c_{T,t} \beta_T P_y T_y,$$

где  $P_y, T_y$  – соответственно установленная мощность и число часов использования мощности АИП. Величины  $P_y, T_y, \beta_T$  можно считать условно неизменными в процессе эксплуатации АИП. Цена топлива изменяется во времени примерно с постоянным темпом роста  $\alpha_T$ . Отсюда

$$I_{T,t} = c_{T,0} \beta_T P_y T_y (1 + \alpha_T)^t,$$

где  $c_{T,0}$  – цена топлива на момент пуска АИП

Топливная составляющая расчетного ЧДД может быть представлена через сумму ГП

$$I_T = c_{T,0} \beta_T P_y T_y \sum_{t=1}^T (1 + \alpha_T)^t (1 + \alpha)^{-t} = c_{T,0} \beta_T P_y T_y \sum_{t=1}^T (1 + \alpha_T^*)^{-t} = \zeta_T c_{T,0} \beta_T P_y T_y,$$

где  $\alpha_T^* = (\alpha - \alpha_T) / (1 + \alpha_T)$ ;

$$\zeta_T = \sum_{t=1}^T (1 + \alpha_T^*)^{-t} = \begin{cases} \left[ 1 - (1 + \alpha_T^*)^{-T} \right] / \alpha_T^*, & \alpha \neq \alpha_T; \\ T, & \alpha = \alpha_T, \end{cases} \quad (5)$$

Анализируя (5) можно отметить, что  $\zeta_T$  определяет эквивалентный срок эксплуатации для топлива. При  $\alpha_T < \alpha$  величина  $\zeta_T < T$  и при  $\alpha_T > \alpha$  величина  $\zeta_T > T$ .

Нетрудно показать, что платежи за энергию при заданных темпах роста цен на энергоносители имеют аналогичную структуру и также представляются через сумму ГП.

**Вывод.** При расчете экономической эффективности АИП ЧДД представляется в виде формулы, учитывающей как темпы роста цен топлива, электро- и теплоэнергии, так и конфигурацию электрического и теплового графиков нагрузки и их корреляционную взаимосвязь с графиком нагрузки цены. При этом все члены ЧДД относятся к началу расчетного периода.

УДК 620.97

#### Математическая модель для выбора оптимальной энергоёмкости накопителя ветродизельной электростанции с учетом спектра мощности ветрового потока

*Р.А. Подгаевский, В.М. Зырянов*

*Новосибирская государственная академия водного транспорта, г. Новосибирск, Россия*

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

*E-mail: roma7485@mail.ru, zymov@ngs.ru*

Предлагаемая математическая модель предназначена для решения задач оптимизации энергоёмкости, мощности и алгоритмов управления накопителем энергии в составе ветродизельной электростанции (ВДЭС).

#### Общие положения

Так как мощность ВЭУ – функция скорости ветра, то ее можно рассчитать, зная модель описывающую скорость ветра и передаточную функцию ВЭУ. Чаще всего скорость ветра представляется в виде гармонического сигнала, распределение которого по частотам описывается спектральной плотностью мощности. Следовательно, мощность ВЭУ, дизель-генератора (ДГ) и накопителя в составе ВДЭС также удобно представить в виде гармонического сигнала, рассчитанного на основе спектра скорости ветра и передаточной функции ВЭУ.

#### Расчет гармонических составляющих скорости ветра

Спектр скорости ветра состоит из двух основных составляющих: низкочастотной составляющей (условно - с периодом более 15 минут), которая хорошо описывается с помощью спектра мощности Ван дер Ховена, и высокочастотной (турбулентной) составляющей [1].

МЭК 61400-1 рекомендует использовать для расчета турбулентной составляющей скорости ветра следующие модели [2]: модель однородного сдвига Манна и модель Каймала (спектральную или когерентную экспоненциальную).

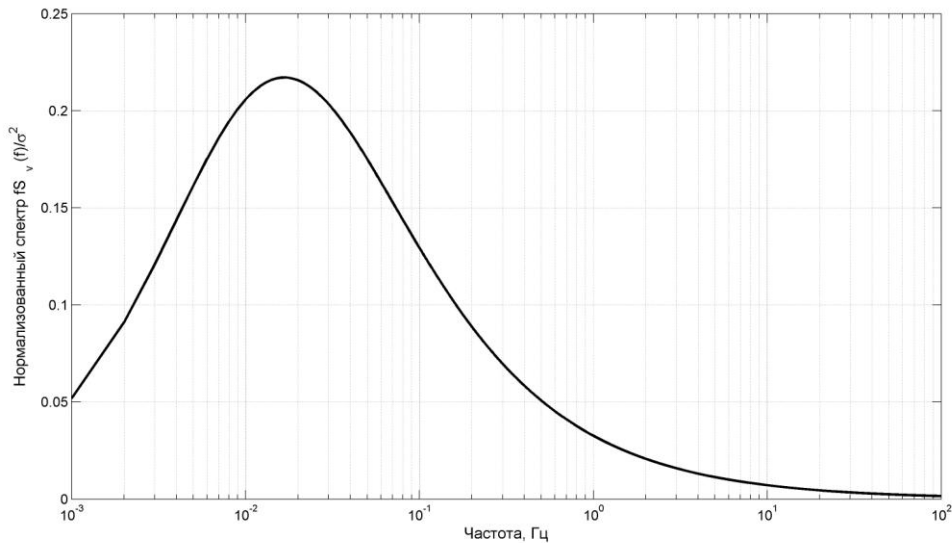


Рис. Спектр Каймала на высоте 30 м, при  $L=150$  и  $\bar{v} = 10$ .

Рассмотрим определение гармоник на примере спектра Каймала

$$S_v(f) = \frac{\sigma^2 \frac{4fL}{\bar{v}}}{f \left(1 + \frac{6fL}{\bar{v}}\right)^{\frac{5}{3}}}, \quad (1)$$

где  $f$  – частота в Гц;

$S_v$  – односторонний спектр продольной составляющей вектора скорости;

$\sigma$  – среднеквадратичное отклонение продольной составляющей вектора скорости

$L$  – интегральный масштабный параметр продольной составляющей вектора скорости;

$\bar{v}$  – средняя скорость ветра.

Из уравнения (1) можно найти спектр мощности ВЭУ  $S_p(j\omega) = H(j\omega)S_v(j\omega)$ , где  $H(j\omega)$  – передаточная функция ВЭУ.

Далее переходим от непрерывного спектра к дискретному:

$$p(t) = \bar{p} + \sum_{m=1}^N \bar{A}_m \cos(\omega_m t + \varphi_m), \quad (2)$$

где  $\bar{p}$  – средняя мощность, соответствующая средней скорости ветра  $\bar{v}$ ,

$N$  – число гармоник;

$\bar{A}_m$  – амплитуда  $m$ -ой гармоники, рассчитываемая по формуле (3);

$\omega_m$  – круговая частота  $m$ -ой гармоники, равная  $2\pi f_m$ ;

$\varphi_m$  – фаза  $m$ -ой гармоники равномерно распределенная на интервале  $[-\pi, \pi]$ .

$$\bar{A}_m = \sqrt{\frac{1}{2} (S_p(f_m) + S_p(f_{m+1})) (f_{m+1} - f_m)}. \quad (3)$$

Оценка влияния нелинейной зависимости расхода топлива от нагрузки на увеличение расхода топлива

Покажем, что переменный характер нагрузки ДГ вызывает перерасход топлива. Зависимость расхода топлива дизель-генератора (ДГ) от нагрузки имеет нелинейный характер и ее можно аппроксимировать полиномом вида

$$q(t) = P_0 p(t)^0 + P_1 p(t)^1 + \dots + P_n p(t)^n. \quad (4)$$

Интеграл  $q(t)$  отражает расход топлива за какой либо промежуток времени. Т.к. мощность ДГ представляется в виде гармонического ряда, то возведение его в степень  $n \geq 2$  дает сложный гармонический ряд с набором частот, отличным от исходного, и постоянной составляющей, которая и является интегралом  $q(t)$ . Рассчитаем эту постоянную составляющую, используя полином Ньютона.

Пусть гармонический ряд  $p(t)$  состоит из постоянной составляющей  $\bar{p}$  (обозначим ее как  $A_0$ ) и гармоник  $A_1 \cos(\omega_1 t + \varphi_1), A_2 \cos(\omega_2 t + \varphi_2), \dots, A_m \cos(\omega_m t + \varphi_m)$ , как показано в (2). Представим этот сигнал в экспоненциальной форме

$$\begin{aligned} & A_0 + A_1 \cos(\omega_1 t + \varphi_1) + A_2 \cos(\omega_2 t + \varphi_2) + \dots + A_m \cos(\omega_m t + \varphi_m) = \\ & = A_0 + A_1 \left( \frac{e^{i(\omega_1 t + \varphi_1)} + e^{-i(\omega_1 t + \varphi_1)}}{2} \right) + A_2 \left( \frac{e^{i(\omega_2 t + \varphi_2)} + e^{-i(\omega_2 t + \varphi_2)}}{2} \right) + \dots + \\ & \quad + A_m \left( \frac{e^{i(\omega_m t + \varphi_m)} + e^{-i(\omega_m t + \varphi_m)}}{2} \right) = \\ & = A_0 + \frac{A_1}{2} e^{i(\omega_1 t + \varphi_1)} + \frac{A_1}{2} e^{-i(\omega_1 t + \varphi_1)} + \frac{A_2}{2} e^{i(\omega_2 t + \varphi_2)} + \frac{A_2}{2} e^{-i(\omega_2 t + \varphi_2)} + \dots + \\ & \quad + \frac{A_m}{2} e^{i(\omega_m t + \varphi_m)} + \frac{A_m}{2} e^{-i(\omega_m t + \varphi_m)}. \end{aligned} \quad (5)$$

Обозначим слагаемые из уравнения (5) как  $x_0 + x_1 + \dots + x_{2m-1} + x_{2m}$  и найдем степень суммы экспоненциальных функций, используя полином Ньютона. В общем виде полином Ньютона имеет вид

$$(x_0 + x_1 + \dots + x_{2m-1} + x_{2m})^n = \sum \frac{n!}{k_0! k_1! \dots k_{2m-1}! k_{2m}!} x_0^{k_0} x_1^{k_1} \dots x_{2m-1}^{k_{2m-1}} x_{2m}^{k_{2m}}, \quad (6)$$

где  $n$  – степень суммы;

$m$  – индекс гармоники;

$k_m$  – целое положительное число, такое, что для каждого слагаемого в правой части уравнения  $k_0 + k_1 + \dots + k_{2m-1} + k_{2m} = n$ ;

$\frac{n!}{k_0! k_1! \dots k_{2m-1}! k_{2m}!}$  – мультиномиальный коэффициент.

Из решения уравнения (6) следует, что вклад в постоянную составляющую на выходе нелинейного элемента вносят следующие слагаемые:  $A_0^n$  и слагаемые вида

$$\frac{n!}{k_0! k_1! \dots k_{2m-1}! k_{2m}!} A_0^{k_0} \prod \left( \frac{A_{2m-1}}{2} e^{i(\omega_{2m-1} t + \varphi_{2m-1})} \right)^{k_{2m-1}} \left( \frac{A_{2m}}{2} e^{-i(\omega_{2m} t + \varphi_{2m})} \right)^{k_{2m}},$$

где  $k_{2m-1} = k_{2m}$ , а  $\frac{A_{2m-1}}{2} e^{i(\omega_{2m-1} t + \varphi_{2m-1})}$  и  $\frac{A_{2m}}{2} e^{-i(\omega_{2m} t + \varphi_{2m})}$  – комплексно сопряженные числа.

Следует учесть, что при  $n \geq 3$ , в результате определенных сочетаний кратных частот и фаз, могут появляться произведения несопряженных комплексных чисел с показателями степени равными нулю, которые также вносят свой вклад в постоянную составляющую. Однако, т.к. фаза  $\varphi_m$  является случайным числом, равномерно распределенным на интервале  $[-\pi, \pi]$ , то вероятность такого сочетания крайне мала и этими слагаемыми можно пренебречь, но при другом законе распределения фаз данное обстоятельство следует учитывать.

Характеристика расхода топлива ДГ достаточно точно аппроксимируется полиномом пятой степени [3]. Найдем постоянные составляющие для степеней со второй по пятую включительно:

$$\begin{aligned} H_2 &= A_0^2 + \frac{1}{2} \sum_{m=1}^N A_m^2 \\ H_3 &= A_0^3 + \frac{3}{2} A_0 \sum_{i=1}^N A_i^2 \\ H_4 &= A_0^4 + 3 A_0^2 \sum_{m=1}^N A_m^2 + \frac{3}{8} \sum_{m=1}^N A_m^4 + \\ &+ \frac{3}{2} (A_1^2 \sum_{m=2}^N A_m^2 + A_2^2 \sum_{m=3}^N A_m^2 + \dots + A_{N-2}^2 \sum_{m=N-1}^N A_m^2 + A_{N-1}^2 A_N^2) \\ H_5 &= A_0^5 + 5 A_0^3 \sum_{m=1}^N A_m^2 + \frac{15}{8} A_0 \sum_{m=1}^N A_m^4 + \\ &+ \frac{15}{2} A_0 (A_1^2 \sum_{m=2}^N A_m^2 + A_2^2 \sum_{m=3}^N A_m^2 + \dots + A_{N-2}^2 \sum_{m=N-1}^N A_m^2 + A_{N-1}^2 A_N^2). \end{aligned} \quad (7)$$

Т.к. мощность накопителя представляет собой сумму гармоник и их фазы – случайные числа, то энергоемкость накопителя найдем как сумму интегралов гармонических сигналов в пределах  $[0, \frac{1}{2\pi f_m}]$ :

$$W_H = \sum_{m=1}^N \left[ \int_0^{\frac{1}{2\pi f_m}} \dot{A}_m \cos(\omega_m t) dt \right] = \sum_{m=1}^N \frac{\dot{A}_m}{\pi f_m}. \quad (8)$$

где  $\dot{A}_m$  – амплитуда гармоники;

$f_m$  – частота гармоники;

$N$  – число гармоник.

Составим с учетом уравнений (7), (8) и (4) выражение суммарных затрат на топливо и накопитель:

$$C = (P_0 + P_1 A_0 + P_2 H_2 + P_3 H_3 + P_4 H_4 + P_5 H_5) \cdot T \cdot C_T + W_{\text{н}} \cdot C_{\text{вн}},$$

$$\text{при } \bar{A}_m = A_m + \dot{A}_m,$$

Где  $C$  – издержки на эксплуатацию ВДЭС с учетом цены дизельного топлива и амортизацию накопителя (прочие издержки считаются независимыми от мощности накопителя и не включены в выражение);

$T$  – расчетный срок эксплуатации ВДЭС;

$C_T$  – цена дизельного топлива;

$C_{\text{вн}}$  – цена энергоемкости накопителя за кВт·ч. Минимизируя функцию  $C$  по переменным  $A_m$  и  $\dot{A}_m$ , можно найти оптимальную энергоемкость накопителя энергии с учетом цены дизельного топлива и стоимости накопителя.

#### Заключение

Описанная выше методика позволяет рассчитать оптимальную энергоемкость накопителя, а также дает математическую основу для разработки законов управления накопителем энергии для автономной ВДЭС с учетом вероятностного характера мощности ВЭУ.

#### Список использованной литературы:

1. Nichita C. Large band simulation of the wind speed for real time wind turbine simulators // IEEE Transactions on Energy Conversion. – 2002. – № 17(4). – С. 523 – 529.
2. IEC 61400-1. Wind turbines – Part 1: Design requirements (MOD). Введ. 2005-12-27. – Женева. IEC, – 2005. – 85 с.
3. Гун В.С. Улучшение динамики и экологических показателей переходных процессов дизеля с электронным управлением подачи топлива: дис. к.т.н. / Южно-Уральский государственный университет. – Челябинск, – 2009. – 219 с.

УДК 621.311.001

#### Современный подход к моделированию релейной защиты

*Н.Ю. Рубан*

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

*E-mail: rubanny@tpu.ru*

Приведено обоснование актуальности адекватного моделирования средств релейной защиты (РЗ). Рассмотрена методика всережимного моделирования в реальном времени РЗ и её реализация. Представлены фрагменты экспериментальных исследований практического осуществления разработанной методики.

Надежность работы любой энергосистемы напрямую зависит от правильности функционирования средств релейной защиты (РЗ). В свою очередь корректность действий РЗ определяется несколькими причинами:

- 1) аппаратной надежностью оборудования;
- 2) правильностью настройки средств РЗ;
- 3) правильностью алгоритма действий защиты;

К первой группе относятся неправильные действия РЗ, связанные с выходом из строя оборудования по причине старения или заводского брака. В отличие от первой причины, две последние носят неслучайный характер и могут быть устранены еще на этапе отладки и проектирования средств РЗ. В связи с этим возникает задача адекватного моделирования указанных средств, решение которой позволит устранить неправильные действия РЗ по обозначенным причинам. Под адекватным моделированием следует понимать учет, помимо логических действий средств РЗ, процессов в самих этих средствах, а также в измерительных трансформаторах. Актуальность создания подобных моделей РЗ обусловлена появлением соответствующих средств моделирования ЭЭС, таких как разработанный в Томском политехническом университете Всережимный моделирующий комплекс реального времени ЭЭС (ВМК РВ ЭЭС) [1], позволяющих в полной мере использовать подобного рода модели РЗ.

Далее представлена методика создания всережимных математических моделей средств релейной защиты, ориентированная на использование в ВМК РВ ЭЭС:

1. Анализ цепей измерительных трансформаторов и моделируемого устройства РЗ.

2. Составление схемы замещения, учитывающей измерительные трансформаторы и особенности аппаратной реализации моделируемой защиты.

3. Получение передаточных функций средств РЗ с учетом процессов в измерительных трансформаторах и конкретной реализации.

4. Исследование полученной математической модели с помощью программ MathCAD и MATLAB для проверки адекватности ее функционирования и проведения необходимых корректировок.

5. Программная формализация полученной математической модели на языке Си для ее использования в микроконтроллерах ВМК РВ ЭЭС.

6. Экспериментальная проверка разработанной модели на ВМК РВ ЭЭС.

На данный момент предложенная методика прошла успешную апробацию: синтезированы модели дифференциально-фазной и дистанционной защит линий электропередачи [2,3], дифференциальной защиты трансформатора [4].

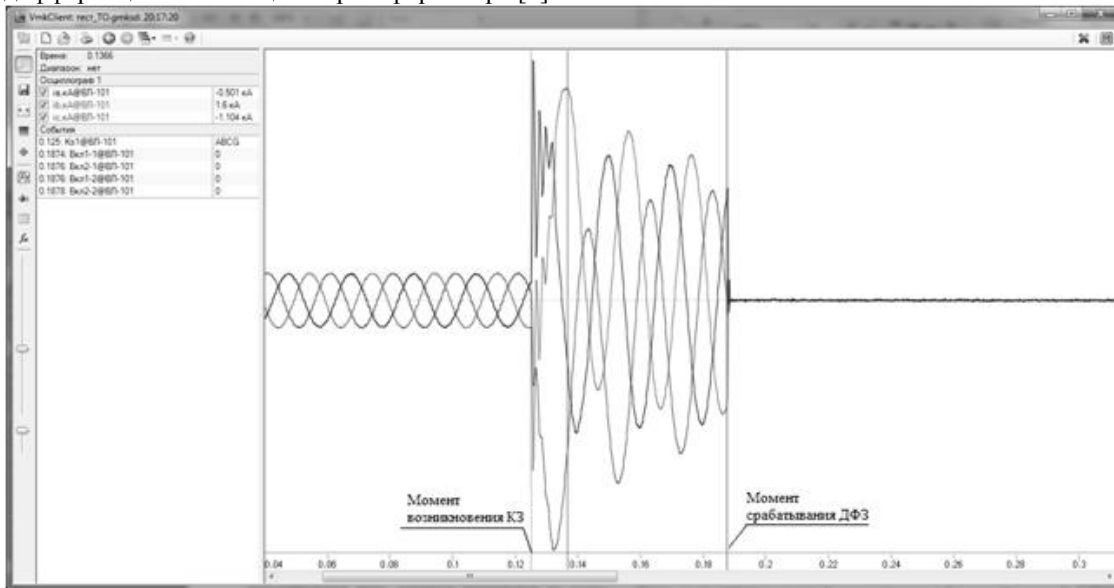


Рис. 1. Осциллограмма фазных токов ВЛ-110 кВ при трехфазном КЗ в зоне действия дифференциально-фазной защиты и ее функционирование.

Осциллограмма, иллюстрирующая действие дифференциально-фазной защиты линии электропередачи 110 кВ при возникновении трехфазного короткого замыкания в зоне срабатывания защиты, представлена на рис. 1.

Такой уровень моделирования позволяет достаточно полно и достоверно воспроизводить процессы в измерительных трансформаторах и средствах РЗ, что дает возможность решать следующие важнейшие задачи:

- производить оптимальную настройку этих средств;
- достоверно выявлять причины неправильной работы средств РЗ;
- выработать алгоритмы как для модернизации существующих средств РЗ, так и для разработки новых.

Работа выполнена в рамках государственного задания «Наука» 7.2826.2011 «Разработка и создание гибридной модели энергоблоков электростанций».

#### Список используемой литературы:

1. Гусев А.С., Хрущев Ю.В., Гуринов С.В., Свечкарев С.В., Плодистый И.Л. Всережимный моделирующий комплекс реального времени электроэнергетических систем // Электричество. – 2009. – № 12. – с. 5 – 8.
2. Рубан Н.Ю. Математическое моделирование органа сравнения фаз дифференциально-фазной защиты ДФЗ-201 // Материалы докладов международной научно-технической конференции «Энергетика глазами молодежи». В 3 т. – 21-25 ноября 2011 г. – Самара: СамГТУ, – Том 1. – с. 88 – 91.
3. Гордиенко И.С. Математическое моделирование реагирующего органа РО1 дистанционной защиты комплекта ШДЭ2801 // Материалы докладов международной научно-технической

- конференции «Энергетика глазами молодежи». В 3 т. – 21-25 ноября 2011г. – Самара: СамГТУ, – Том 1. – с. 41 – 45.
4. Андреев М.В., Прутик А.Ф., Рубан Н.Ю. Математическое моделирование измерительной части дифференциальной защиты типа ДЗТ-21 // Наука. Технологии. Инновации: Материалы всероссийской научной конференции молодых ученых. Новосибирск, 3-5 декабря 2010. – Новосибирск: НГТУ, – 2010. – т. 2. – с. 37 – 38.

УДК 001.891.572

**Проблемы построения интеллектуальных электроэнергетических сетей***С.А. Сбитнев, Н.А. Куйдин, В.Е. Шмелев**Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых, г. Владимир, Россия.**E-mail: kuydinna@yandex.ru*

Рассмотрены современные проблемы электроэнергетики и матричные методы теоретической электротехники для расчета и анализа электроэнергетических сетей, представленных трехфазными схемами замещения, применительно к построению интеллектуальных сетей, обеспечивающих надежное, безопасное и энергоэффективное электроснабжение потребителей различных классов напряжения.

Современным направлением повышения энергоэффективности электроэнергетики в различных странах является построение интеллектуальных активно-адаптивных систем управления генерацией, передачей и потреблением энергоресурсов (по зарубежной терминологии smart grid - «умная сеть»). При построении «умных сетей» необходимо решить комплекс проблем двух видов: технических (аппаратных) и научных (методологических).

В настоящее время в России электроэнергетические компании активно применяют автоматизированные системы контроля и управления электропотреблением (АСКУЭ) для уменьшения технических и коммерческих потерь электрической энергии [1]:

$$W_{\text{пот}} = W_{\text{техн}} + W_{\text{ком}}$$

Установка систем АСКУЭ в распределительных сетях 0,4кВ является первоочередным этапом в реализации интеллектуальных сетей. Ввод подобных систем в эксплуатацию вызван большими коммерческими потерями электрической энергии в распределительных сетях низкого напряжения. Это обусловлено хищением электроэнергии, отсутствием возможности доступа к счетчикам и схемам их подключения, неравномерностью снятий показаний с приборов учета, практикой представления информации самими абонентами. Электросетевыми компаниями разрабатываются программы установки систем АСКУЭ в районах с очагами потерь выше нормативных. При этом необходимо экономическое обоснование установки этих систем из-за отсутствия достоверных сведений о полезном отпуске энергии в сеть и о технических потерях:

$$W_{\text{отп}} = W_{\text{пол}} + W_{\text{пот}}$$

Поэтому очень важно определить участки с наибольшими коммерческими потерями для эффективного применения данных систем по причине их высокой стоимости. При установке систем АСКУЭ в микрорайонах городов с частной застройкой часто возникает проблема обеспечения надежности работы подобных систем из-за большой вероятности возникновения коротких замыканий, перенапряжений, несоответствий показателей качества электрической энергии ГОСТу. Велика вероятность ошибок при проектировании сетей и выборе оборудования защиты вследствие недостаточной точности существующих методик расчета режимов распределительных сетей по однофазным схемам замещения, что часто приводит к повреждению сетей. Системы АСКУЭ применяют также для контроля мгновенной потребляемой мощности и показателей качества электрической энергии.

В соответствии с законами Российской Федерации электросетевые компании обязаны производить технологическое присоединение заявителей (без права на отказ), при этом плата за технологическое присоединение на мощности до 15кВт является незначительной. В настоящее время требуется глубокая реконструкция распределительных электрических сетей, что связано с большими затратами на такие работы из-за их износа и значительных протяженностей. Электросетевые компании остро нуждаются в минимизации затрат на реконструкцию и обслуживание названных сетей. Остается актуальной проблема защиты от коротких замыканий воздушных линий 0,4кВ. Эта проблема стала особенно актуальной по причине применения самонесущих изолированных проводов (СИП). Линии электропередачи (ЛЭП), построенные с



применением СИП, несомненно имеют ряд достоинств, однако при возникновении токов короткого замыкания (КЗ), превышающих номинальные токи проводников и неотключаемых защитными аппаратами, неизбежно повреждение изоляции на всем протяжении воздушной ЛЭП, что ведет к большим капитальным затратам на замену аварийного участка линии. Таким образом возникает проблема правильного выбора аппаратов защиты, их настройки и определения мест установки. Это накладывает дополнительную ответственность на принимаемые решения при проектировании электрических сетей и подчеркивает необходимость применения точных матричных методов теоретической электротехники. Эти методы необходимы также для расчета сетей с распределенной генерацией. Примером таких сетей могут служить сети коттеджных поселков, содержащие автономные электрогенерирующие установки и сети зданий, выполненные по концепции многодатчиковых интеллектуальных систем «Умный дом». В основе энергоэффективности подобных объектов лежит принцип включения в работу энергопринимающих устройств только в случае необходимости. Информационными элементами таких систем являются: датчики освещенности, движения, температуры, противоаварийной автоматики, преобразователи тока, напряжения и мощности, обеспечивающие согласование параметров системы генерации одного здания с внешней системой электроснабжения. Реализация данной концепции сократит расходы электроэнергии, однако требуются более совершенные методы расчета сетей, основанные на матричных методах применительно к трехфазным схемам замещения этих сетей. В работе [2] констатируется следующее: «Важной проблемой в наших сетях является рост уровней токов КЗ, не обеспечивающийся соответствующим ростом отключающей способности коммутационной аппаратуры. Вопрос ограничения токов КЗ актуален как для распределительных сетей и подстанций с напряжением 6-20кВ, так и для сетей 110-750кВ».

Из вышеизложенного следует вывод о необходимости использования точных методов теоретической электротехники для расчета сетей различных классов напряжения с целью обеспечить безопасное, надежное и энергоэффективное электроснабжение с минимальными потерями электрической энергии. Расчет систем электроснабжения по однолинейным схемам замещения, широко применяемый до настоящего времени, невозможен без ряда упрощений этих схем по отношению к анализируемой реальной электрической сети и, в том числе, предполагается симметричный режим работы сети по фазам. Такие упрощения неизбежно приводят к потере точности и достоверности результатов расчета режимов в реальных сложных электрических сетях. Для воздушных линий высоких классов напряжений в нормальных эксплуатационных условиях режим можно считать симметричным, если пренебречь несимметрией реактивных параметров различных фаз, а также несимметрией питающих трансформаторов. Симметричный режим для воздушных линий высоких классов напряжений не возможен в аварийных режимах при несимметричных КЗ. Расчет несимметричных режимов по упрощенным однолинейным схемам замещения предполагает применение метода симметричных составляющих, который имеет принципиальное ограничение: причины нарушения симметрии должны быть сосредоточены не более чем в двух местах системы; при этом все остальные ветви трёхфазной цепи должны иметь одинаковые параметры всех фаз [3]. Эти условия не выполняются строго даже для сетей высоких классов напряжений и перманентно нарушаются в распределительных сетях. На современном уровне развития методов теоретической электротехники, вычислительной техники и программного обеспечения необходим и возможен качественно новый подход к расчету и анализу электрических сетей. Моделирование режимов работы разветвленных распределительных и магистральных сетей с высокой точностью возможно только при использовании полных трехфазных схем замещения и компьютерных расчетов на основе матричных методов теоретической электротехники. Экономичным методом расчета режимов трехфазной сети является метод узловых потенциалов в матричном виде [3, 4]. Использование такого подхода позволяет представить схему электроснабжения целиком в матричной форме, как совокупность нескольких матриц, с учетом всех возможных параметров и связей между элементами:

$$\begin{aligned} [\dot{\phi}^{(y)}] &= [Y^{(y)}]^{-1} \cdot [j^{(y)}]; \\ [Y^{(y)}] &= [A] \cdot [Y^{(b)}] \cdot [A]^T; \\ [j^{(y)}] &= [A] \cdot ([j^{(b)}] - [Y^{(b)}] \cdot [\dot{E}^{(b)}]); \\ [\dot{U}^{(b)}] &= [A]^T \cdot [\dot{\phi}^{(y)}]; \\ [\dot{I}^{(b)}] &= [Y^{(b)}] \cdot ([\dot{U}^{(b)}] + [\dot{E}^{(b)}]) - [j^{(b)}]; \end{aligned}$$

где  $[\dot{\phi}^{(y)}]$  – матрица-столбец комплексных действующих значений узловых потенциалов;  $[Y^{(y)}]$  – матрица комплексных узловых проводимостей;  $[J^{(y)}]$  – матрица-столбец комплексных эквивалентных узловых источников тока;  $[A]$  – матрица узловых соединений, соответствующая полной схеме замещения;  $[Y^{(b)}]$  – матрица комплексных проводимостей ветвей;  $[\dot{E}^{(b)}]$  – матрица столбец комплексных ЭДС ветвей;  $[J^{(b)}]$  – матрица-столбец комплексных источников тока ветвей;  $[\dot{U}^{(b)}]$  – матрица-столбец комплексных напряжений ветвей;  $[i^{(b)}]$  – матрица-столбец комплексных токов ветвей.

Для реализации названного или иного матричного метода теоретической электротехники необходимо определить топологию и электрофизические свойства всех элементов, образующих анализируемую электрическую сеть. Типовые элементы сети назовем сетевыми объектами (воздушные и кабельные линии, трансформаторы и автотрансформаторы, реакторы, конденсаторные батареи и т.п.). Для построения глобальных матриц сети, представленных в приведенных уравнениях, необходимо предварительно определить для каждого типового сетевого объекта локальную топологическую матрицу (например матрицу соединений) и локальную матрицу электрофизических свойств (например матрицу адмитансов). Названные локальные топологические матрицы всех сетевых объектов в совокупности образуют глобальную топологическую матрицу сети (в данном случае матрицу  $A$ ). Локальные матрицы электрофизические свойства всех сетевых объектов в совокупности образуют глобальную матрицу электрофизических свойств сети (в данном случае матрицу проводимостей ветвей).

Наибольший объем аналитической работы связан с определением параметров матриц электрофизических свойств (поперечных адмитансов или продольных импедансов) различных сетевых объектов. Для примера рассмотрим матрицу продольных импедансов сетевого объекта «Воздушная линия»:

$$[Z^{(b)}] = \begin{bmatrix} R_A + j\omega L_A & j\omega M_{AB} & j\omega M_{AC} & -j\omega M_{AN} \\ j\omega M_{BA} & R_B + j\omega L_B & j\omega M_{BC} & -j\omega M_{BN} \\ j\omega M_{CA} & j\omega M_{CB} & R_C + j\omega L_C & -j\omega M_{CN} \\ -j\omega M_{NA} & -j\omega M_{NB} & -j\omega M_{NC} & R_N + j\omega L_N \end{bmatrix}$$

Матрица импедансов ветвей  $[Z^{(b)}]$  состоит из диагональных элементов – активных сопротивлений и продольных индуктивных сопротивлений линий, а также внедиагональных – взаимных индуктивных сопротивлений линий, вычисляемых методами теории электромагнитного поля.

Сетевые объекты типа «Жилой дом», «Многоквартирный жилой дом» и сетевые объекты, соответствующие понятию «Обобщенная нагрузка», также представляются соответствующими матрицами, определяемыми путем вероятностного моделирования величин нагрузок на дискретных интервалах времени в течение расчетных суток.

По методу узловых потенциалов по трёхфазной схеме замещения проведен расчет режимов в распределительных сетях 0,4кВ микрорайона г. Киржач (Владимирская область). Рассматриваемая распределительная сеть представлена 345 сетевыми объектами при общем числе потребителей электроэнергии 136. Участок сети охватывает 7 улиц, 68 жилых здания и трансформаторную подстанцию. Расчетом определены технические потери электрической энергии, выявлены участки с показателями качества электрической энергии не соответствующие ГОСТ 13109-97. Проведен анализ аварийных ситуаций, в том числе различных типов коротких замыканий с учетом множества факторов, в том числе влияния нагрузок, что недоступно существующим методам расчета по однолинейным схемам. Проведены также расчеты вариантов реконструкции указанной сети с учетом замены ее участков на самонесущие системы проводников большего сечения и перераспределения нагрузок по фазам, предложен экономически эффективный вариант реконструкции данной сети. Применение матричных методов теоретической электротехники, позволяющих производить моделирование режимов сетей отдельных жилых домов, комплексов жилых домов, промышленных и иных объектов, ориентировано на повышение энергоэффективности и надежности таких сетей. Эти методы обеспечивают получение необходимой информации для технически и экономически обоснованного применения автоматизированных систем АСКУЭ.

## Список использованной литературы:

1. Егоров В., Кужеков С. Интеллектуальные технологии в распределительном электросетевом комплексе // Энергорынок. – 2010, – № 6.
2. Основы современной энергетики: В 2-х т., том 2. Современная электроэнергетика / Под ред. А.П. Бурмана, В.А. Строева. – М.: Издательский дом МЭИ, – 2008.
3. Теоретические основы электротехники. В 2-х т., том 1/ Под ред. П.А. Ионкина – М.: Высшая школа, – 1976.
4. Сбитнев С.А., Шмелев В.Е., Куйдин Н.А. «Модель силового трансформатора, представленная полной трехфазной схемой замещения». Материалы междунар. конф. «Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте». –Одесса, –2011.

УДК 621.311.001.57

## Влияние угла сдвига фаз на расчет параметров сети при гармонических искажениях

Я. Э. Шклярский, В. С. Добуш

Национальный минерально-сырьевой университет "Горный", г. Санкт-Петербург, Россия

E-mail: [griimov@yandex.ru](mailto:griimov@yandex.ru)

В статье проанализировано влияние энергетических характеристик нелинейной нагрузки на расчет параметров цепи. На основе примера электрической цепи рассчитана погрешность применения схем замещения нелинейной нагрузки с учетом и без учета углов сдвига фаз между током и напряжением на высших гармониках.

Современное производство нельзя представить сегодня без наличия огромного количества регулируемых приводов, которые являются основными потребителями электроэнергии на предприятии. Их работа основана на использовании элементов силовой электроники, которые имеют весомый недостаток: они ухудшают качество электроэнергии и могут привести к выходу из строя элементов энергосистемы. Поэтому вопросы связанные с расчетом и прогнозированием уровней гармоник являются актуальными как для потребителей, так и для поставщиков электроэнергии.

Традиционно при расчетах нелинейный источник напряжения заменяют на совокупность источников напряжения, амплитуды которых соответствуют спектру источника, а фаза принимается равной нулю. Нелинейные элементы заменяются на источники тока, амплитуды которых соответствуют спектру нагрузки, а фаза также принимается равной нулю. Очевидно, что при воздействии на цепь только нелинейного источника или только нелинейной нагрузки учет фаз отдельных гармоник не требуется. Интерес вызывает только случай когда в цепи присутствуют оба этих нелинейных элемента. Данный случай и был рассмотрен в статье (рис. 1).

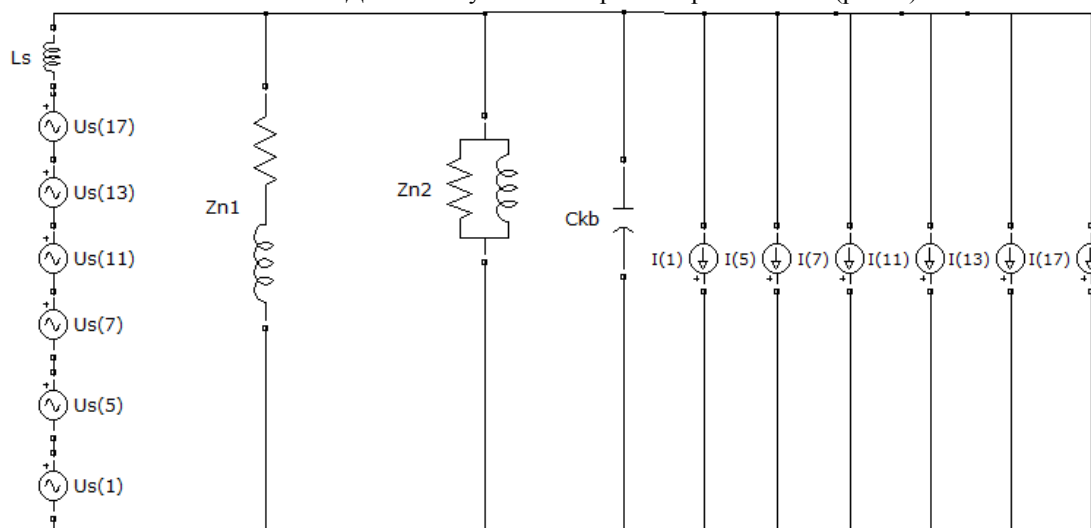


Рис. 1. «Обобщенная схема замещения сети».

Для оценки влияния угла сдвига фаз была построена компьютерная модель цепи с трехфазным тиристорным мостом в пакете Simulink (рис. 2), который заменяет нелинейный элемент, и традиционная модель (рис. 1) с заменой нелинейного элемента совокупностью источников тока, не учитывающая угол сдвига фаз. Параметры рассматриваемых моделей представлены ниже.

- 1) Параметры источника сетевого напряжения  
 $U_S(1)=5773$  В,  $U_S(5)=390$  В,  $U_S(7)=150$  В,  $U_S(11)=93$  В,  $U_S(13)=82$  В,  $U_S(17)=61$  В
- 2) Параметры нелинейной нагрузки  
 $I_S(1)=500$  А,  $I_S(5)=100$  А,  $I_S(7)=71,4$  А,  $I_S(11)=45,5$  А,  $I_S(13)=38,5$  А,  $I_S(17)=29,4$  А.
- 3) Индуктивность ЛЭП  
 $L_S=0.2547$  мГн
- 4) Параметры линейной нагрузки  
 $R_{n1}=67.534$  Ом,  $L_{n1}=0.155$  Гн,  $R_{n2}=16.67$  Ом,  $L_{n2}=0.08$  Гн
- 5) Параметры КБ  
 $C=149,6 \cdot 10^{-6}$  Ф.

Для обеих схем за целевой параметр принята величина тока конденсаторной батареи (КБ). Так как конденсаторы являются самым чувствительным звеном по отношению к высшим гармоникам. Для высших гармоник КБ имеет малое сопротивление, а значит при незначительных высших гармониках напряжения появляются значительные токи высших гармоник, протекающих через КБ. ГОСТом-1282 определяется возможная перегрузка по току в 30% от номинальной величины, а по напряжению в 10%. Также доказано значительное сокращение срока службы батарей при перегрузке менее 30%.

Замена нелинейного элемента моделью тиристорного моста эквивалентна, так как во-первых основной вид мощной нелинейной нагрузки является как раз тиристорный выпрямитель, во-вторых рассматриваемый спектр нелинейной нагрузки схож со спектром выпрямителя.

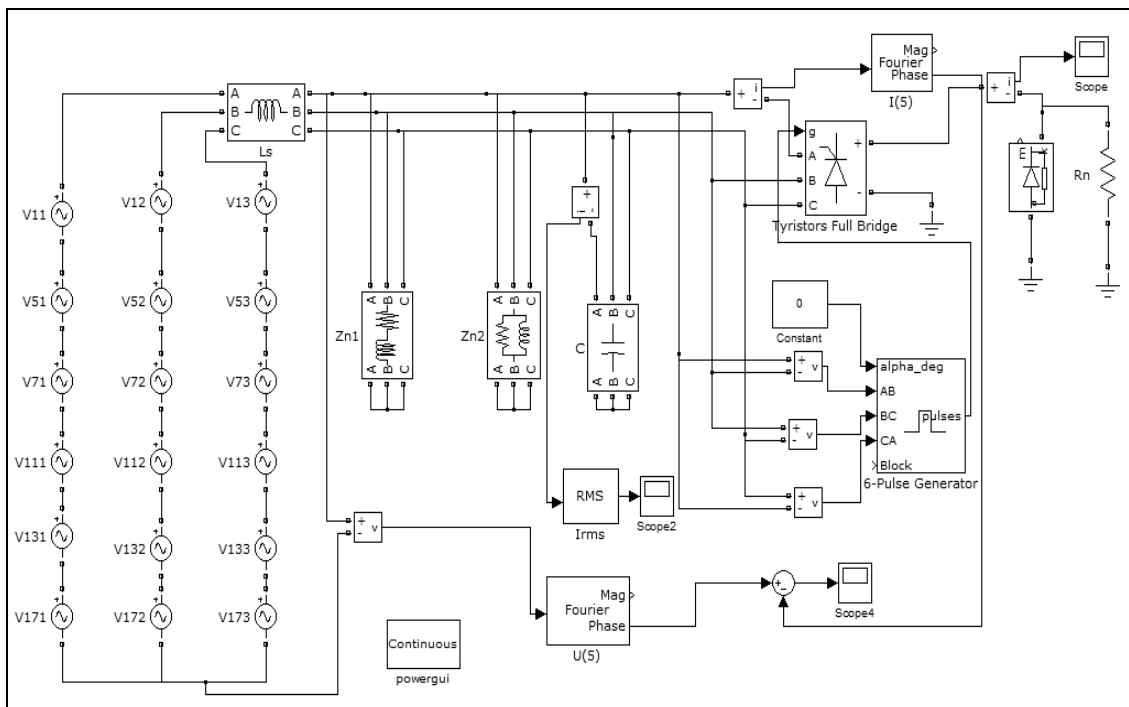


Рис. 2. «Имитационная модель».

Совокупность источников напряжения имитирует трехфазную питающую сеть с искажениями,  $L_S$ -индуктивное сопротивление системы,  $Z_{n1}$ ,  $Z_{n2}$ -сопротивление нагрузки,  $C$ -емкость конденсаторной батареи, *Tyristors Full Bridge*-модель тиристорного выпрямителя, блок *6-pulse Generator*-система управления выпрямителя, блок *Constant* необходим для задания угла зажигания тиристоров, все остальные блоки необходимы для измерения параметров цепи. Сравнительная диаграмма исходного спектра тока нелинейной нагрузки и спектра потребленного тока тиристорного моста при угле открытия ключей  $0^\circ$  представлена на рис. 3.

Диаграмма показывает, что спектры схожи и различие в спектрах не превышает 3% от исходной величины основной гармоники тока нелинейной нагрузки, а различие в среднеквадратических значениях тока равна 2%, а потому моделью, которая была построена можно пользоваться и выводы полученные из анализа будут верны и для реальной нелинейной нагрузки.

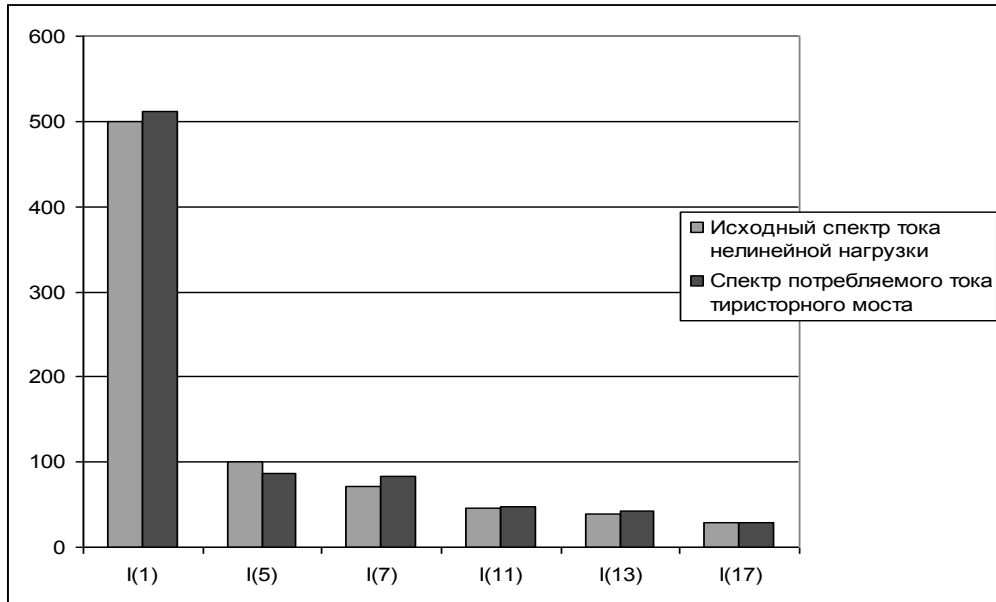


Рис. 3. «Сравнительная диаграмма исходного спектра тока и спектра тока, потребляемого тиристорным мостом».

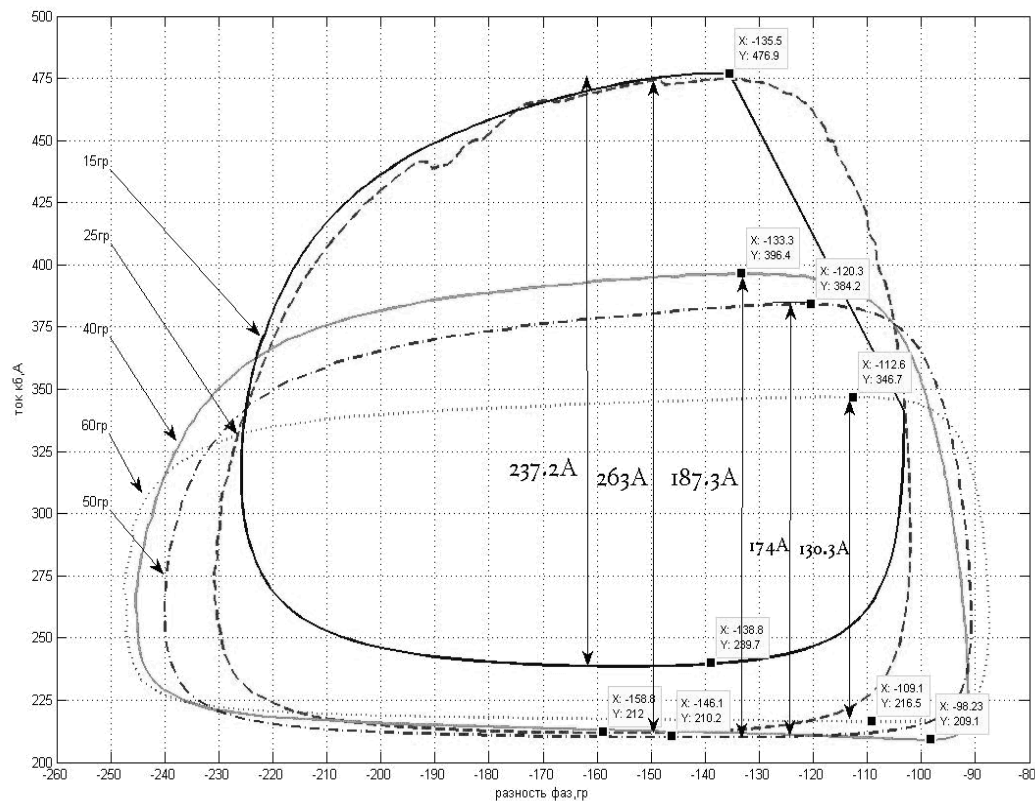


Рис. 4. «Семейство графиков зависимости тока КБ от угла сдвига фаз на пятой гармонике при различных углах открытия тиристорных».

Суть эксперимента состоит в следующем при изменении угла сдвига фаз на 5 гармонике между током нелинейной нагрузки и напряжением питающей сети измеряем действующее значение тока конденсаторной батареи, тоже самое проделываем для различных углов открытия тиристоров, для того чтобы определить влияние угла сдвига фаз на величину тока КБ. Пятая гармоника выбрана из-за того, что она имеет наибольшее влияние на величину тока КБ после основной гармоники, а угол сдвига фаз на основной гармонике регулируется только углом открытия тиристоров, который задается в зависимости от нагрузки.

На представленном рисунке 3 показано семейство характеристик полученных для пятой гармоники при различных углах открытия ключей. Как следует из рисунка угол сдвига фаз значительно влияет на определение тока КБ, например, даже при угле открытия  $15^{\circ}$ . величина тока КБ колеблется между 283,7А и 477А при этом традиционная модель дает результат в 350А при  $0^{\circ}$ . Это означает, что если мы воспользуемся традиционной моделью подсчетов результат расчет расчетов может расходиться с реальными показаниями на 19% в большую сторону (на показаниях приборов 237,9А) или на 36% в меньшую сторону, а это уже означает перегрузку по току конденсаторной батареи больше 30%, больше, чем предусмотрено ГОСТом-1282.

Из всего сказанного выше следует сделать следующие выводы:

- одной и той же разности фаз соответствуют два различных значения тока КБ, поэтому при точных расчетах следует учитывать не разность фаз между током и напряжением, а начальные фазы источника питания и нелинейной нагрузки.

- следует отметить, что максимальное отличие традиционной модели от значений рассчитанных с помощью модели компьютерной достигается при угле открытия тиристоров в  $25^{\circ}$ , вследствие резонансных явлений в цепи. Далее при увеличении угла открытия тиристоров разница между значениями тока КБ при различных начальных фазах тока и напряжения уменьшается вследствие уменьшения потребления тока нелинейной нагрузки.

#### Список использованной литературы:

1. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. В 3-х ч. Издание девятое. – М.: Высшая школа. – 1996.
2. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MatLab, SimPowerSystems и Simulink. – Издательство Питер. – 2008.
3. Жежеленко И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий. 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, – 2000. – 331 с.
4. Железко Ю.С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: Руководство для практических расчетов. – М.: Издательство ЭНАС, – 2009. – 456 с.

УДК 621.314

### Повышение энергоэффективности промышленного предприятия за счет прогнозирования электрических нагрузок

**Ю.П. Максимов, А.А. Тетерятник**

*Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых, г. Владимир, Россия  
E-mail: kaf\_electro@vlsu.ru*

Повышение энергоэффективности промышленного предприятия может быть обеспечено за счет многих факторов, например, рационального расхода энергоресурсов, снижения потерь мощности и др. Прогнозирование электрических нагрузок является также важным фактором, влияющим на энергоэффективность. Кроме того, вопросу прогнозирования электрических нагрузок уделяется большое внимание при решении и таких задач, как: проектирование систем электроснабжения, расчет надежности систем электроснабжения, управление режимами работы электрических сетей и других.

В зависимости от решаемых задач могут быть использованы различные методы:

- детерминированный подход (нагрузка задается постоянной во времени величиной – током, мощностью или проводимостью) [1];
- комбинированный способ (активная составляющая нагрузки задается постоянной величиной активной составляющей тока, а реактивная составляющая – постоянной величиной реактивной составляющей сопротивления) [2];
- вероятностный метод задания нагрузки (учитывает случайный характер изменения нагрузки) [3].

В свою очередь, методы прогнозирования электрических нагрузок, основанные на предположении о вероятностном характере электропотребления в соответствии с [4] можно классифицировать, например, на:

- методы прогнозирования с помощью скользящей средней;
- методы экспоненциального сглаживания;
- методы адаптивной фильтрации и другие.

Целью настоящей работы является построение математической модели прогнозирования для исследования электрических нагрузок промышленного предприятия, учитывающей вероятностный характер электропотребления.

В зависимости от используемых методик, прогнозная модель может быть алгоритмической или аналитической[5]. Алгоритмическая модель учитывает время и прошлые значения прогнозируемого параметра, а аналитическая модель позволяет рассчитывать прогнозные значения на основе технологических факторов производства. В работе предлагается алгоритмическая модель, которая может быть представлена в виде:

$$y(t)=u(t)+s(t)+c(t)+\acute{e}(t), \quad t=r\Delta t, \quad r=1,2,\dots,n,$$

где  $u(t)$  – тренд электрической нагрузки,  $s(t)$  – сезонная составляющая изменения нагрузки,  $c(t)$  – циклическая составляющая изменения нагрузки,  $\acute{e}(t)$  – случайная величина с законом распределения близким к нормальному

Для определения  $u(t)$  могут использоваться различные подходы, например, адаптивные методы, имеющие «механизм» автонастройки, способный оперативно реагировать на изменения нагрузки, путем учета прогноза, сделанного на предыдущем шаге. У истоков адаптивных методов лежит модель экспоненциального сглаживания, для которой используется следующая рекуррентная формула [5]:

$$S_t = \alpha y(t) + (1-\alpha)S_{t-1} \quad (1),$$

где  $S_t$  и  $S_{t-1}$  – значения экспоненциальной средней, соответственно в момент  $t$  и  $t-1$ ;  
 $\alpha$  – параметр сглаживания,  $0 < \alpha < 1$ .

Выражение (1) можно представить в виде  $S_t = S_{t-1} + \alpha[y(t) - S_{t-1}]$ ,

Величину  $[y(t) - S_{t-1}]$  – можно рассматривать как погрешность прогноза. Тогда новый прогноз  $S_t$  получается в результате корректировки предыдущего прогноза, с учетом его ошибки. Таким образом, модель постоянно учитывает новую информацию, приспосабливается к ней, и к концу периода наблюдения отображает тенденцию, сложившуюся на текущий момент. В различных методах прогнозирования процесс адаптации модели осуществляется по разному. Базовыми адаптивными моделями являются: модель Брауна и двухпараметрическая модель Хольта, для которых  $y^*(t) = u(t) + \acute{e}(t)$

Многие временные ряды электрических нагрузок промышленных предприятий содержат сезонные колебания  $s(t)$ . В зависимости от характера этих колебаний их делят на два класса: мультипликативные и аддитивные. При мультипликативных сезонных колебаниях нагрузки предполагается, что амплитуда колебаний изменяется во времени пропорционально уровню тренда,  $y^*(t) = u(t)s_m(t) + \acute{e}(t)$ . При аддитивном характере сезонности,  $y^*(t) = u(t) + s_A(t) + \acute{e}(t)$ , где  $s_m(t)$  – мультипликативный сезонный фактор,  $s_A(t)$  – аддитивный сезонный фактор. В[5] описаны алгоритмы построения модели Хольта-Уинтерса, учитывающей мультипликативную сезонность и модель Тейла-Вейджа, которая является аддитивной моделью сезонных явлений.

Циклическая составляющая нагрузки  $c(t)$  описывает длительные периоды относительного спада или подъема. Разница между циклической и сезонной компонентой состоит в том, что сезонная имеет регулярную (сезонную) периодичность, тогда как циклические факторы имеют, как правило, более длительный период, который к тому же меняется от цикла к циклу.

Для прогнозирования электрических нагрузок промышленного предприятия предлагается использовать алгоритмическую модель, которая может быть построена на основе известных прогнозных моделей, например, модели Брауна, Хольта, Хольта-Уинтерса или Тейла-Вейджа.

#### Список использованной литературы:

1. Идельчик В.И. Расчеты и оптимизация режимов электрических сетей и систем.–М.: Энергоатомиздат. – 1988. – 288 с.
2. Колисниченко А.Б. Моделирование несимметричных режимов электрических сетей до 1 кВ с учетом статических характеристик нагрузок//Преобразования и стабилизация параметров электроэнергии: Сб.науч. тр. – Киев: Наук.думка.– 1990. – С. 21 – 25.
3. Жежеленко И.В., Саенко Ю.Л., Степанов В.П. Методы вероятностного моделирования в расчетах характеристик электрических нагрузок потребителей. – М.: Энергоатомиздат. – 1990.–128 с.
4. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий: учебник для вузов.–М.: Интернет Инжиниринг, – 2006. – 672 с.
5. Статистические методы прогнозирования в экономике: Учебное пособие / Т.А.Дубровина.

Московский государственный университет экономики, статистики и информатики. – М.: – 2004. – 136 с.

УДК 621.311

### Энергоэффективность и мероприятия по снижению потерь мощности в электрических сетях

*Ю.П. Максимов, А.А. Тетерятник*

*Владимирский государственный университет А.Г. и Н.Г. Столетовых, г. Владимир, Россия*

*E-mail : kaf\_electro@vlsu.ru*

В работе приводятся мероприятия по снижению потерь мощности, позволяющие повысить энергоэффективность электрических сетей.

Одним из условий повышения энергоэффективности электрических сетей является снижение потерь мощности в них. Все мероприятия по снижению потерь в электрических сетях могут быть разделены на три группы [1]:

- организационные, связанные с совершенствованием эксплуатационного обслуживания и оптимизацией схем и режимов работы электрических сетей;
- технические, к которым относятся мероприятия по реконструкции, модернизации и строительству сетей;
- мероприятия по совершенствованию учета электроэнергии.

Рост потерь энергии в электрических сетях определен действием вполне объективных закономерностей в развитии всей энергетики в целом. Основными из них являются: тенденция к концентрации производства электроэнергии на крупных электростанциях; непрерывный рост нагрузок электрических сетей, связанный с естественным ростом нагрузок потребителей и отставанием темпов прироста пропускной способности сети от темпов прироста потребления электроэнергии и генерирующих мощностей. Поэтому разработка методов анализа потерь электроэнергии и выбора экономически обоснованных мероприятий по их снижению являются весьма актуальными задачами.

Все потери в электрических сетях можно разделить на технологические и коммерческие. В свою очередь технологические потери делятся на технические и потери, обусловленные погрешностями приборов учета. Коммерческие потери могут быть представлены: нормативными и сверхнормативными потерями. Особое внимание уделяется разработке методик нормирования потерь электроэнергии. В основе норматива потерь лежат технические потери электроэнергии в электрических сетях, обусловленные физическими процессами передачи и распределения электроэнергии, определяемые расчетным путем и включающие «переменные» и условно-постоянные потери, а также нормативный расход электроэнергии на собственные нужды подстанций.

В норматив потерь должны включаться:

- потери холостого хода в трансформаторах, батареях статических конденсаторов и статических компенсаторов, шунтирующих реакторах, синхронных компенсаторах (СК) и генераторах, работающих в режиме СК;
- потери на корону в линиях; расход электроэнергии на собственные нужды подстанций;
- прочие обоснованные и документально подтвержденные условно-постоянные потери;
- нагрузочные переменные потери в электрических сетях;
- потери в связи с погрешностями приборов учета электроэнергии.

Все мероприятия по снижению потерь электроэнергии можно условно распределить на пять групп [2]: группа 1 - мероприятия, реализация которых приводит к снижению технических потерь электроэнергии; группа 2 - мероприятия, реализация которых приводит к снижению потерь, обусловленных допустимыми погрешностями приборов учета; группа 3 - мероприятия, реализация которых приводит к снижению коммерческих потерь электроэнергии; группа 4 - мероприятия, реализация которых приводит к снижению технических и коммерческих потерь электроэнергии; группа 5 - мероприятия, реализация которых приводит к снижению коммерческих потерь и потерь, обусловленных допустимыми погрешностями приборов учета.

Можно подчеркнуть, что такое деление условно, но оно имеет право на существование. Для сетевых компаний с существенной долей сетей 10–0,38 кВ и большим количеством абонентов категорий «население» и «непромышленные потребители» наибольший эффект приносит реализация некоторых мероприятий группы 3, а также всех мероприятий групп 4 и 5. Для



компаний с преобладающей долей сетей от 35 кВ и выше наиболее актуальными следует считать мероприятия групп 1 и 2, а также частично группы 5. Для сетевых организаций с протяженными замкнутыми сетями высокого напряжения, осуществляющих существенный транзит электроэнергии, особую важность представляют мероприятия группы 1 [3].

Не все из способов снижения потерь электроэнергии имеют одинаковую эффективность, поэтому приходится расставлять приоритеты. Если рассмотреть компанию, на балансе которой имеются сети всех классов напряжения, то ранжировка мероприятий может иметь следующий вид:

1. Мероприятия выполняемые постоянно: мероприятия по снижению коммерческих потерь, в первую очередь проведение рейдов по выявлению и предотвращению хищений и отключение неплательщиков, а также организационные мероприятия по снижению технических потерь. К организационным мероприятиям по обнаружению, предотвращению, устранению и недопущению впредь фактов хищения электроэнергии можно отнести следующие [4]: - полномасштабное использование правовых административно-уголовных мер для неотвратимого воздействия на расхитителей электрической энергии; -внедрение согласованного расчетного учета электроэнергии между энергоснабжающими организациями и энергоемкими потребителями; - переход энергосбытовых организаций на контроль работы расчетных приборов учета с выпиской счетов потребителям в бытовом и мелкоотраслевом секторе; -организация рейдов по выявлению фактов хищения электроэнергии; -создание телефонов доверия; -разработка системы стимулирования и материального поощрения инспекторов и контролеров энергосбытовых организаций за выявление фактов хищения электроэнергии; -проведение ревизий и маркирование средств учета специальными знаками; -организация массового внедрения автоматизированных систем контроля и учета электроэнергии; -использование систем учета с дистанционной передачей информации от расчетных приборов учета по силовой цепи электроснабжения потребителей; - установка расчетных приборов учета на стороне высшего напряжения абонентских трансформаторов; -перенос расчетных приборов учета за границы балансовой принадлежности потребителей электроэнергии частных владений (коттеджей, садоводческих товариществ и т.п.); - согласование однолинейных схем электроснабжения вновь вводимых и реконструированных электроустановок не только с Энергосбытом, но и с органами Ростехнадзора. К техническим мероприятиям по выявлению, предупреждению и устранению фактов хищения электроэнергии относятся: - совершенствование конструкции индукционных счетчиков; - применение индукционных счетчиков со стопорами обратного хода; -применение индукционных счетчиков с реверсивным счетным механизмом; - замена индукционных счетчиков на электронные; - разработка и серийный выпуск защитных экранов или других подобных устройств для защиты электронных счетчиков от воздействия влияния электромагнитных полей; - применение приборов-индикаторов, позволяющих сравнивать значения токов нагрузки в фазном и нулевом проводах; - применение электронных сканеров, позволяющих выявлять скрытую электропроводку, выполненную в обход схемы учета электроэнергии; -проверка правильности схем включения приборов учета, порядка чередования фаз и правильности работы счетного механизма.

2. Мероприятия включаемые в инвестиционную программу на ближайшие 3-5 лет: быстро окупаемые технические мероприятия, в первую очередь замена проводов и линий ответвления к зданиям 0,38 кВ с применением СИП, а также большая часть мероприятий по совершенствованию систем расчетного и технического учета электроэнергии.

3. Мероприятия включаемые в программы долгосрочного развития: Основная масса технических мероприятий по реконструкции и техническому перевооружению электрических сетей всех классов напряжения.

4. Мероприятия по снижению потребления электроэнергии в быту [5]: - использование электроэнергии с целью отопления нерационально с учетом большой её стоимости. Но, тем не менее, иногда электричество единственный источник энергии. В настоящее время существует много современных способов отопления, имеющих явные преимущества перед традиционными: длинноволновые обогреватели, теплые полы, теплоаккумуляторы. Последние позволяют использовать выгоду низкого "ночного" тарифа на электроэнергию, т.к. именно во время действия этого тарифа происходит накопление тепла в теплоаккумуляторах. В дневное же время они отдают тепло строго в соответствии с выставленной температурой. В случае электроотопления установка двухтарифного учета просто обязательна. Часто в быту в совокупности с центральным отоплением используются масляные радиаторы. Прежде чем их использовать необходимо позаботиться о снижении потерь тепла в квартире; - электроплиты стоят на втором месте по энергопотреблению, годовое потребление электроэнергии ими составляет 1200-1400 кВт. Здесь

существуют некоторые правила эффективного использования электричества: Использование конфорки на полную мощность только на время, необходимое для закипания. Далее мощность понижается до уровня необходимого для поддержания кипения (выше 100 градусов температура все равно не поднимется). Продукты, требующие долгой варки необходимо варить на маленькой конфорке. Диаметр посуды должен быть равен или немного больше диаметра конфорки, дно должно иметь наибольший контакт (предпочтительнее плоское и ровное). Пользование посудой с искривлённым дном может привести к перерасходу электроэнергии до 40-60 %. Кастриולי необходимо закрывать крышкой. При кипячении и подогреве воды лучше наливать столько воды сколько необходимо для предстоящего чаепития. Своевременно удаляйте накипь. Применение скороварки существенно экономит энергию и время; - электробытовые приборы и электроника. Холодильник должен находиться в самом прохладном месте кухни подальше от батареи и плиты, желательнее возле наружной стены, но ни вплотную к ней. Автоматическую стиральную машину нужно использовать в ночное время (при установке двухтарифного счетчика);

- в быту необходимо использовать три системы освещения: общее, местное и комбинированное. Светильники общего освещения обычно являются самыми мощными светильниками в помещении, их основная задача – осветить всё как можно более равномерно. В одном или нескольких местах помещения следует обеспечить местное освещение с учётом конкретных условий. Такое освещение требует специальных светильников, устанавливаемых в непосредственной близости к письменному столу, креслу, туалетному столику и т.п. Комбинированные светильники за счет избирательного включения ламп могут выполнять функции общего и местного освещения. Наиболее экономичным является принцип зонального освещения, основанный на использовании общего, комбинированного или местного освещения отдельных функциональных зон. Если при освещении этих зон использовать лампы направленного света, настольные лампы, торшеры, бра, то в квартире станет уютнее, а следовательно, и комфортнее. Для такого зонального освещения подходят лампы в 1,5-2 раза менее мощные, чем в подвесных светильниках. В результате на комнату 18- 20 кв. м экономится до 200 кВт\*ч в год. В настоящее время существует огромный выбор более совершенных источников света. Но экономически эффективными являются не все из них (из-за их стоимости). Световая отдача некоторых источников света лк/Вт: лампа накаливания 12 ,галогенная лампа 22 , люминесцентная лампа 55 , ртутная лампа высокого давления 55 ,галогенная лампа высокого давления 80 , Натриевая лампа высокого давления 95 . Компактные люминесцентные лампы как служат примерно в 8 раз дольше ламп накаливания и потребляют меньше мощности. Это позволяет для средней квартиры (2-3 комнаты) сберечь до 1500 руб. за срок службы. В первой группе выделены наиболее приоритетные с точки зрения эффективности мероприятия, реализовывать которые необходимо постоянно. Выполнение большей части этих мероприятий не требует дополнительных затрат и зависит от того, как поставлена в компании работа с персоналом. Вторая группа, также позволяет существенно снизить потери, особенно вызванные ненормативными условиями работы комплексов учета электроэнергии. Но их реализация требует существенного вложения денег. Третья группа мероприятий направлена на развитие электросетей, повышение их надежности и улучшение качества электроэнергии. Эти мероприятия нужно предусматривать в долгосрочных перспективных планах развития сетевой компании. Четвертая группа предполагает применение современных энергоэффективных бытовых приборов и электронных многотарифных счетчиков.

#### Список использованной литературы:

1. Методические указания по определению потерь электроэнергии в городских электрических сетях 10(6)-0,4 кВ
2. Воротницкий В.Э. Нормирование и снижение потерь электроэнергии в электрических сетях: результаты, проблемы, пути решения. Энергоэксперт, – № 3, – 2007. – С. 10 – 19.
3. [http://esco-ecosys.narod.ru/2005\\_7/art220.htm](http://esco-ecosys.narod.ru/2005_7/art220.htm)
4. [http://esco-ecosys.narod.ru/2003\\_7/art52.htm](http://esco-ecosys.narod.ru/2003_7/art52.htm)
5. Воротницкий В. Э., Загорский Я. Т., Апрыткин В. Н. и др. Расчет, нормирование и снижение потерь электроэнергии в городских электрических сетях // Электрические станции. – 2000.– №5.

УДК 622.862.8

### Влияние низкочастотных поляризаций на величину тока утечки в изоляции электрической сети напряжением до 1 кВ

А.В. Пичуев

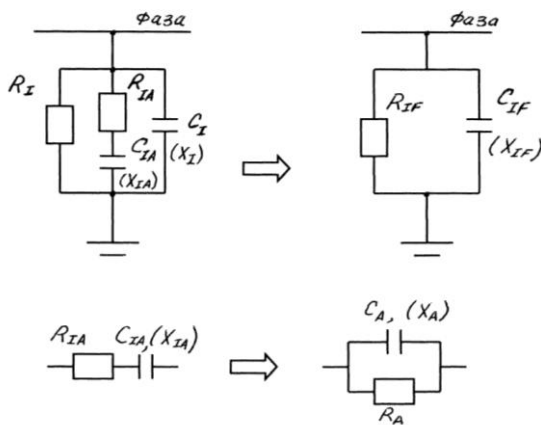
Московский государственный горный университет, г. Москва, Россия

E-mail: alleystone@mail.ru

Представлены расчетные параметры сопротивления изоляции электрической сети относительно земли с учетом ветви сопротивления току абсорбции и соответствующие параметрические зависимости. В результате анализа зависимостей подтверждена необходимость учета низкочастотных поляризаций в изоляции и возможность возникновения резонанса тока утечки

В процессе эксплуатации рудничных участков электрических сетей изоляция подвергается воздействию влаги, химически агрессивных веществ, нагреву, загрязнению и механическому воздействию, что приводит к снижению уровня ее сопротивления электрическому току и возникновению различного рода утечек. При этом возрастает опасность поражения человека электрическим током при случайном прикосновении к фазе сети.

При анализе токов утечки сопротивление изоляции электрической сети относительно земли традиционно представляют в виде активного  $R_I$  и емкостного  $X_I$  сопротивлений. Однако при этом необходимо учитывать дополнительную ветвь, представляющую собой последовательную



цепочку из активного  $R_{IA}$  и емкостного  $X_{IA}$  сопротивлений току абсорбции (рис. 1).

Рис. 1. Схема замещения сопротивления изоляции сети.

Появление тока абсорбции может быть обусловлено разными видами поляризационных процессов, происходящих в изоляции. Наиболее характерными для изоляции рудничного электрооборудования являются: ионная, дипольная и низкочастотная поляризации [1,2].

Выражения для сопротивления току абсорбции и соответствующей емкости запишутся в виде:

$$R_{IF} = \frac{\omega^2 \tau^2 + 1}{\omega^2 \tau^2 (G + S) + S} = \frac{R_I R_{IA}}{R_I + R_{IA}}; C_{IF} = \frac{C_I (\omega^2 \tau^2 + 1) + S \tau}{\omega^2 \tau^2 + 1} = C_I + C_{IA},$$

где  $G$  – сквозная проводимость фазной изоляции;  $S$  – начальная проводимость, соответствующая току абсорбции;  $\omega$  – круговая частота переменного напряжения;  $\tau$  – время затухания тока абсорбции или постоянная времени релаксации [2].

Составляющие эквивалентного фазного сопротивления изоляции сети относительно земли определяются по формулам:

$$R_{IF} = \frac{R_I Z_{IA}^2}{R_I R_{IA} + Z_{IA}^2}; X_{IF} = \frac{X_I Z_{IA}^2}{X_I R_{IA} + Z_{IA}^2},$$

где  $Z_{IA} = \sqrt{R_{IA}^2 + X_{IA}^2}$  – полное сопротивление току абсорбции в фазе сети.

Электромагнитная постоянная затухания колебаний в контуре, образованном активными и емкостными сопротивлениями изоляции определится по формуле:

$$T_{IF} = \frac{X_{IF}}{R_{IF}} = \frac{X_I (R_I R_{IA} + Z_{IA}^2)}{R_I (X_I R_{IA} + Z_{IA}^2)}.$$

В результате выполненных расчетов были получены параметрические зависимости  $R_{IF} = f(\ln R_{IA})$  при  $C_1 = 0,1$  мкФ/фазу, и  $R_1 = \text{var}$  (см. рис.2): 1 – 60 кОм, 2 – 120 кОм, 3 – 240 кОм (при  $C_{IA} = 0,1$  мкФ); 1' – 60 кОм, 2' – 120 кОм, 3' – 240 кОм (при  $C_{IA} = 0,01$  мкФ).

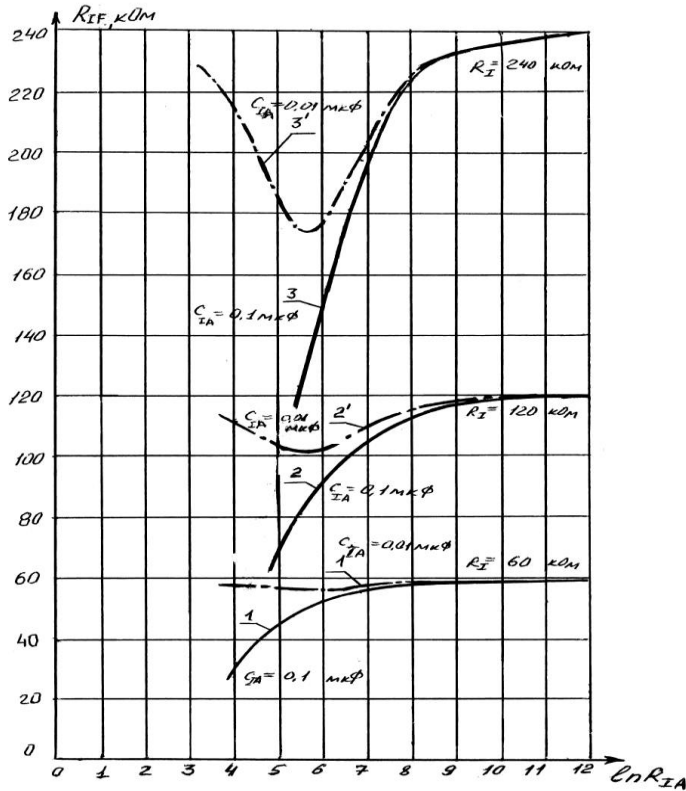
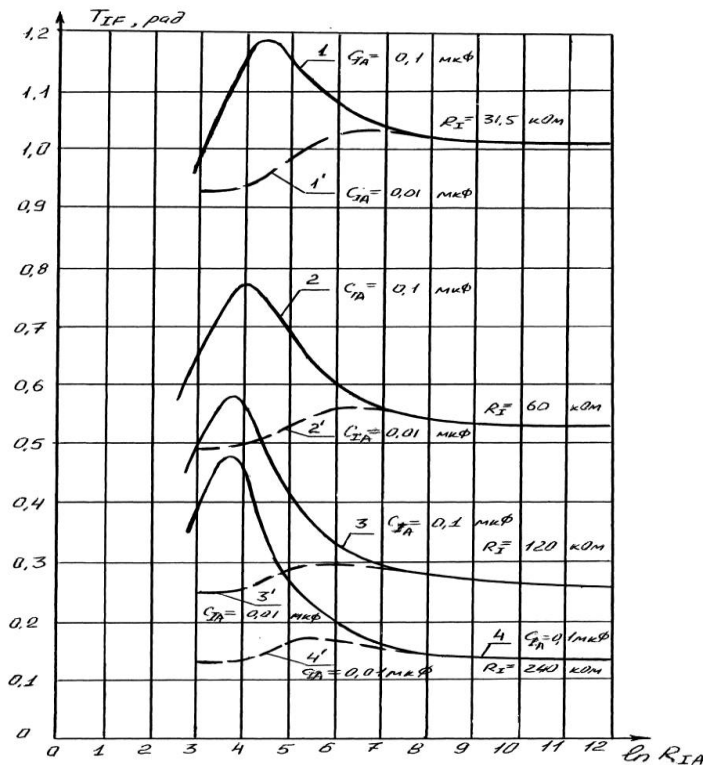


Рис. 2.

Для более полной картины, отражающей уровень значимости сопротивления абсорбции на рис.3 представлены зависимости  $T_{IF} = f(\ln R_{IA})$  при  $C_1 = 0,1$  мкФ/фазу, и  $R_1 = \text{var}$ : 1 – 31,5 кОм, 2 – 60 кОм, 3 – 120 кОм, 4 – 240 кОм (при  $C_{IA} = 0,1$  мкФ); 1' – 31,5 кОм, 2' – 60 кОм, 3' – 120 кОм, 4' – 240 кОм (при  $C_{IA} = 0,01$  мкФ).

Анализ зависимостей  $T_{IF} = f(\ln R_{IA})$ , представленных на рис.3, показал, что при изменении активного сопротивления изоляции  $R_1$  в диапазоне 31,5÷240 кОм/фазу и емкости изоляции  $C_1 = 0,1$  мкФ/фазу происходит резкое снижение сопротивления  $R_{IF}$  при сопротивлении абсорбции  $R_{IA} = 125 \div 250$  кОм и емкости абсорбции, изменяющейся в диапазоне  $C_{IA} = 0,01 \div 0,1$  мкФ. При этом постоянная времени  $T_{IF}$  возрастает, причем для значений  $R_1 < 120$  кОм/фазу это увеличение более чем двукратное.

Рис. 3.



Анализ нижнего предела допустимых сопротивлений показал их практическое совпадение для максимумов функций  $T_{IF} = f(\ln R_{IA})$  при  $C_{IA} \leq 0,1$  мкФ. Например, при  $R_{\text{доп}} = 24,2$  кОм, что соответствует максимальному значению  $T_{IF} = 1,178$  рад. При

изменении емкости изоляции в диапазоне  $C_1 = 0,1 \div 0,5$  мкФ/фазу и неизменном уровне активного сопротивления  $R_1 = 60$  кОм/фазу снижение эквивалентного сопротивления ниже допустимого предела возможно лишь при  $R_{IA} \leq 250$  кОм/фазу и  $C_{IA} > 0,1$  мкФ/фазу. При этом совпадения максимумов  $T_{IF}$  с соответствующими им значениями  $R_{доп}$  не наблюдается. Фактически емкость объемных зарядов становится соизмерима или даже превышает геометрическую емкость поясной изоляции. Электромагнитные колебания в контуре, образованном активными и емкостными сопротивлениями достигают максимальной частоты и амплитуды.

Графический анализ показал, что с ростом емкости  $C_{IA}$  электромагнитная постоянная  $T_{IF}$  увеличивается, причем функция имеет явно выраженный экстремум, который приходится на значения  $R_{IA}$  в диапазоне от 31,3 кОм до 125 кОм. При значениях емкости абсорбции соизмеримой с геометрической емкостью изоляции электромагнитная постоянная достигает максимального значения, т.е. поляризация имеет максимальную продолжительность.

Таким образом, на величину тока утечки оказывают влияние поляризационные процессы в изоляции, при которых уровень активного сопротивления абсорбции не превышает 500 кОм/фазу, а емкость абсорбции более 0,1 мкФ/фазу.

Чем выше уровень сопротивления изоляции сквозному току утечки, тем при более высоких уровнях сопротивления абсорбции возникают условия, при которых процессы поляризации приводят к снижению эквивалентного сопротивления до уровня  $R_{IF} \leq R_{доп}$ .

Реальное сопротивление изоляции сети относительно земли с учетом токов абсорбции может быть существенно ниже, допустимого уровня. При этом создаются условия для возникновения резонанса тока утечки при определенных соотношениях активного сопротивления  $R_{IF}$  и емкости  $C_{IF}$  изоляции сети в случае введения индуктивности в нейтраль силового трансформатора.

#### Список использованной литературы:

1. Тареев Б.М. Физика диэлектрических материалов. – М.: Энергия, – 1973.
2. Машкин А.Г. Разработка способов и средств обеспечения электробезопасности в рудничных электрических сетях напряжением до 1000 В. Дисс....канд. техн. наук. – М.:МГИ, – 1987.

УДК 622:621.316

### Компенсация емкостных токов утечки в низковольтных электрических сетях в условиях неявно выраженного резонанса

*А.В. Пичуев*

*Московский государственный горный университет, г. Москва, Россия*

*E-mail: alleystone@mail.ru*

Приведены зависимости распределения фазных напряжений и напряжения смещения нейтрали при возникновении режима однофазной утечки тока. Дано обоснование условий возникновения резонанса тока утечки в фазах электрической сети. Приведено описание способа и принцип действия устройства автоматической пофазной компенсации емкостной составляющей тока утечки.

Особенностью устройств компенсации емкостного тока утечки, реализованных в УЗО, является нелинейная зависимость их выходного напряжения от емкости изоляции сети относительно земли. Для эффективной компенсации емкостной составляющей тока утечки необходимо, чтобы ток в обмотке управления компенсирующего дросселя изменялся примерно пропорционально изменению емкости сети.

Применяемые в УЗО компенсирующие дроссели насыщения имеют значительную мощность управления, что обуславливает применение в устройствах компенсации мощных выходных усилителей постоянного тока. При этом для достижения требуемой точности настройки устройства компенсации необходимо, чтобы ток в обмотке управления не зависел от изменения сопротивления этой обмотки, напряжения источника питания, температуры окружающей среды и параметров элементов устройства управления [1].

В результате аналитических и экспериментальных исследований получены зависимости фазных напряжений и напряжения смещения нейтрали при изменении емкости изоляции фаз сети для случая прикосновения человека. Было установлено, что несмотря на нелинейный характер

изменения фазных напряжений при различных параметрах изоляции напряжение смещения нейтрали изменяется фактически по линейному закону.

На рис.1 приведены графики изменения фазных напряжений и напряжения смещения нейтрали при изменении емкости изоляции фаз сети для случая прикосновения человека фазе А.

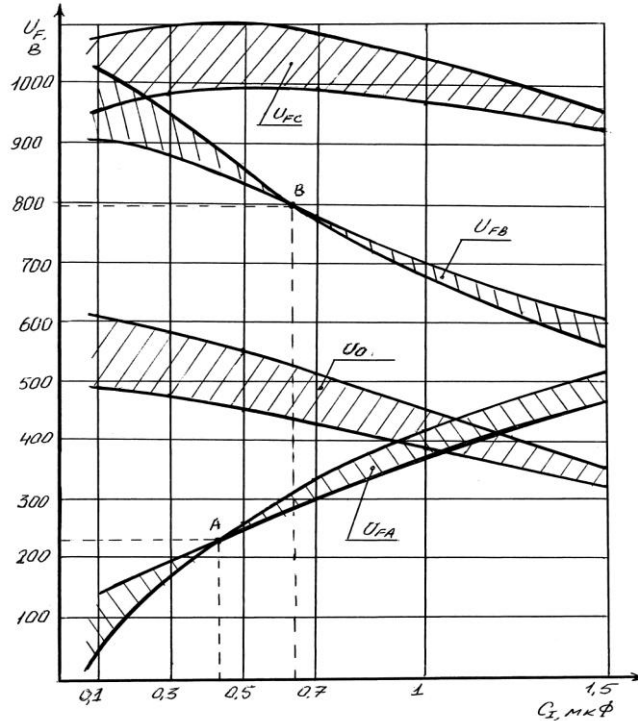


Рис. 1. Зависимости изменения фазных напряжений при однополюсном прикосновении человека к фазе А.

Диапазон изменения фазных напряжений при изменении активного сопротивления изоляции  $R_1=10,5\div 300$  кОм/фазу и емкости изоляции  $C_1=0,1\div 1,5$  мкФ/фазу выделен в виде заштрихованных зон.

В случае прикосновения в фазе А с ростом емкости напряжение  $\dot{U}_{FA}$  увеличивается до фазных значений, а  $\dot{U}_{FB}$  уменьшается от линейных до фазных значений. Напряжение  $\dot{U}_{FC}$  с ростом емкости изменяется гораздо в меньшей степени. При емкости изоляции  $C_1=0,45$  мкФ/фазу напряжение  $\dot{U}_{FA}$  практически не зависит от величины  $R_1$ . Аналогично при  $C_1=0,65$  мкФ/фазу напряжение  $\dot{U}_{FB}$  не зависит от величины  $R_1$ . Напряжение  $\dot{U}_{FC}$  в любом случае зависит от уровня активного сопротивления фазы сети.

Таким образом, в режиме однофазной утечки тока, при указанных емкостях, только в двух соответствующих фазах сети возможно достижение полного резонанса при включении индуктивного сопротивления в нейтраль трансформатора. При этом даже в них резонансные условия различны. Тем не менее, в заданном диапазоне изменения активных и емкостных сопротивлений изоляции фаз сети возможен частичный (неявно выраженный) резонанс тока утечки.

Современные УЗО реализуют только общую компенсацию емкостного тока утечки в электрической сети с изолированной нейтралью трансформатора. Управляющий сигнал с трехфазного выпрямителя через специальный усилитель поступает на обмотку управления магнитного усилителя (МУ) с внешней отрицательной обратной связью. При этом рабочая обмотка МУ включена между нейтральной точкой активно-индуктивного фильтра УЗО и землей через разделительный конденсатор.

В данной схеме достижение резонансного значения индуктивности рабочей обмотки невозможно, так как условия резонанса тока утечки в различных фазах сети не совпадают.

Например, при однофазной утечке ток в поврежденной фазе компенсируется полностью, в отстающей фазе частично, а в опережающей фазе вообще нет компенсации, т.к. для нее условия резонанса отсутствуют.

На рис.2. представлен вариант построения схемы устройства автоматической пофазной компенсации емкостного тока утечки.

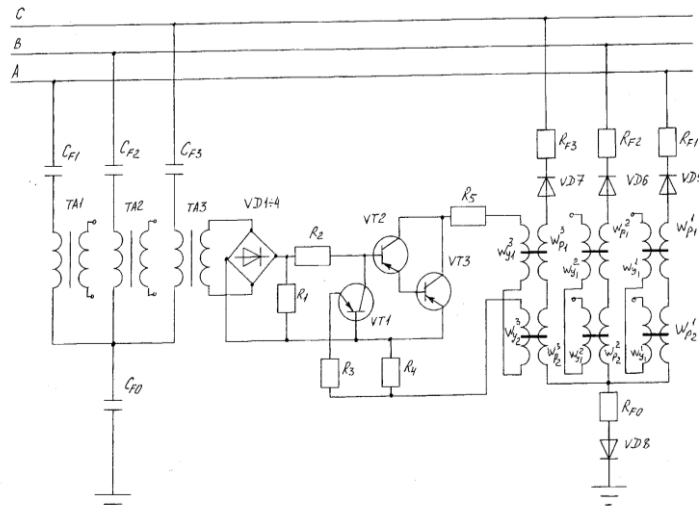


Рис. 2. Устройство автоматической пофазной компенсации емкостного тока утечки.

Устройство состоит из емкостного фильтра, ветви которого состоят из разделительных конденсаторов  $C_{F1} \div C_{F3}$  и индуктивных сопротивлений первичных обмоток измерительных трансформаторов  $TA1 \div TA3$ . Между нейтралью фильтра и землей дополнительно включен разделительный конденсатор  $C_{F0}$ .

Компенсирующий дроссель представляет собой активно-вентильный фильтр  $R_{F1} \div R_{F3}$ ,  $VD5 \div VD7$ , в ветви которого включены рабочие обмотки двухтактных магнитных усилителей. Между нейтралью компенсирующего дросселя и землей включено активное сопротивление  $R_{F0}$  и диод  $VD8$  для реализации функции выпрямителя рабочего тока в фазных обмотках МУ.

На схеме показан один из трех каналов управления МУ, который состоит из выпрямителя  $VD1 \div 4$ , подключенного к вторичной обмотке измерительного трансформатора  $TA3$ , специального усилителя на транзисторах  $VT1 \div 3$  и включенных встречно двух полуобмоток управления  $\omega_{y1}^3$  и  $\omega_{y2}^3$  фазного магнитного усилителя с рабочими полуобмотками  $\omega_{p1}^3$  и  $\omega_{p2}^3$ .

Устройство работает следующим образом. По каждой ветви емкостного фильтра протекает ток, значение которого определяется соответствующей емкостью фазы сети относительно земли. Этот ток через измерительный трансформатор  $TA3$  поступает на диодный выпрямитель  $VD1 \div 4$ . Входной ток усиливается составным транзистором  $VT2, VT3$ . Для стабилизации коэффициента усиления по току параллельно входу составного транзистора включен база-коллекторный переход регулирующего транзистора  $VT1$ . Эмиттер-базовый переход этого транзистора через резистор  $R4$  присоединен параллельно резистору  $R3$ , включенному последовательно с нагрузкой составного транзистора  $VT2, VT3$ . Таким образом в усилителе постоянного тока реализуются требования по мощности выходного сигнала и его независимости от параметров обмотки управления МУ, а также требования, предъявляемые к УЗО [1,2]. Выходной сигнал с усилителя подается на обмотку управления двухтактного МУ, индуктивное сопротивление рабочих обмоток которого изменяется пропорционально соответствующему емкостному току утечки. Таким образом индуктивность рабочей обмотки достигает значения, соответствующего условию резонанса тока в данной фазе.

Ток в других фазах регулируется по аналогичным каналам управления соответствующими рабочими полуобмотками фазных МУ, изменяя их индуктивность пропорционально фазным емкостям изоляции.

Реализация принципа пофазной компенсации позволяет добиться снижения тока утечки в случае прикосновения человека к токоведущим частям, и тем самым более эффективно реализовать защитные функции УЗО.

**Список использованной литературы:**

1. Дзюбан В.С. аппараты защиты от токов утечки в шахтных электрических сетях. – М.: «Недра». – 1982. – 152 с.
2. ГОСТ 12.4.155-85. ССБТ. Устройства защитного отключения.

УДК 621.867.2:621.313

**Технико-экономическое обоснование внедрения частотно-регулируемого электропривода ленточных конвейерных установок**

**Т.С. Камалов., О.З. Тоиров\***

*Институт Энергетики и автоматики Академии наук Республики Узбекистан, г. Ташкент*

**E-mail: [tkamalov@yandex.ru](mailto:tkamalov@yandex.ru); [olimjon.t@mail.ru](mailto:olimjon.t@mail.ru)**

Определение эффективности применения плавного регулирования транспортировки ленточных конвейерных установок на базе частотно-регулируемого асинхронного двигателя производится сопоставлением показателей базового и нового варианта.

Базовый вариант, заложенный в проект - без частотного регулирования и прямой пуск асинхронных электродвигателей от сети.

Основанием для экономического обоснования использования регулирования производительности ленточных конвейерных установок на базе частотно-регулируемого асинхронного двигателя и плавного пуска асинхронного двигателя являются существующие подходы и методики, базирующиеся на рекомендациях и методиках по расчету экономической эффективности внедрения частотно-регулируемых электроприводов для механизмов [1,2,3,4].

Экономическая эффективность использования частотно-регулируемых электроприводов для конвейерных установок достигается зачет следующих составляющих:

$$\mathcal{E}_\Phi = \mathcal{E}_{\Phi_1} + \mathcal{E}_{\Phi_2} + \mathcal{E}_{\Phi_3} \quad (1)$$

где  $\mathcal{E}_{\Phi_1}$  – экономический эффект за счет экономии электроэнергии за один год, сум.

$\mathcal{E}_{\Phi_2}$  – экономический эффект за счет ресурсосбережения оборудования за один год, сум.

$\mathcal{E}_{\Phi_3}$  – за счет снижения потребления реактивной мощности из системы.

Принимаем основное условие работы конвейера при переменном частотно – регулируемом электроприводе ленточного конвейера по сравнению с нерегулируемым электроприводом, при котором достигается транспортировка груза одиночного объема ленточным конвейером. Чтобы один и тот же объем груза  $Q$  доставить при разной загрузки ленты конвейера определим расход электроэнергии для каждого случая.

Для случая, когда лента конвейера вращается с постоянной скоростью, т.е. электропривод не регулируемый -  $\omega = const$ , расход электрической энергии определяется

$$W_1 = P_1(Q) \cdot t_1 \quad (2)$$

где  $P_1(Q)$  мощность электропривода, необходимый для работы конвейера при постоянной скорости;  $t_1$  – период работы.

Для случая, когда лента конвейера вращается с переменной скоростью, т.е. электропривод регулируемый -  $\omega = var$ , расход электрической энергии определяется

$$W_2 = P_2(Q) \cdot t_2 \quad (3)$$

где  $P_2(Q)$  мощность электропривода, необходимый для работы конвейера при переменный скорости;  $t_2$  – период работы.

В первом случае ленточный конвейер работают с неравномерной загрузкой. Во втором случае конвейер работает с заданной постоянной нагрузкой, обеспечивающей регулируемой скоростью электропривода конвейера от преобразователя частоты.

Очевидно, что чем незагруженный ленточный конвейер, который работает при постоянной скорости по сравнению с регулируемой скоростью эффект достигается за счет разности коэффициента загрузки ленточного конвейера, то есть загрузки электропривода.

Коэффициент загрузки формируется из двух составляющих – это запас по мощности выбранного двигателя конвейера и коэффициента заполнения сырьем конвейерной ленты в процессе эксплуатации, т.е.  $k_3 = \varphi(k_{заг}, k_{зан})$ . Где  $k_{заг}$  - коэффициент запаса по мощности в основном определяется из пусковых условий привода конвейера. Варианты пусковых условий могут быть: пуск конвейера вхолостую, т.е. когда отсутствует сырье на ленте; пуск конвейера при полной



нагрузке, т.е. когда сырье на ленте полностью загружено, что происходит, например, при аварийных остановках конвейера.  $k_{зан}$  – коэффициент, определяющий степень заполнения сырьем конвейерной ленты.

Для частотно-регулируемого электропривода, понятие коэффициента загрузки электропривода отличается от обычного представления при работе электропривода без частотного регулирования.

За счет ресурсосбережения оборудования, то есть повышения ресурса электродвигателей и приводных механизмов.

Согласно на основании многолетнего опыта АО научно-исследовательского института Электроэнергетики ВНИИЭ Российского акционерного общества энергетики и электрификации «ЕЭС России» (РАО «ЕЭС России») за счет внедрения частотно-регулируемых электроприводов для электродвигателей приводных механизмов различных технологических систем, а также по результатам натурных испытаний, замеров, длительных наблюдений определены усредненные интегральные величины экономии электроэнергии и энергоресурсов,

За счет повышения при частотном регулировании ресурса электродвигателей и приводных механизмов, увеличение межремонтного пробега и сокращения затрат на обслуживание и ремонты оборудования расчетную величину экономической эффективности за счет частотного регулирования следует увеличивать на 30-60%.

Выводы:

1. Потенциал энерго- и ресурсосбережения для ленточных конвейерных установок горнорудной промышленности при частотном регулировании электропривода с обеспечением постоянства загрузки на погонный метр ленты конвейера лежит в пределах 15 – 20%.
2. Расчет экономической эффективности на примере конвейерной установки с асинхронным электроприводом мощностью 90 кВт определен по двум составляющим, за счет экономии электроэнергии и ресурсосбережения. При этом срок окупаемости составляет 1,47 года.

#### Список используемой литературы:

1. Бабокин Г.И. Энергосбережение в электроприводе конвейера // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – М.:, 2002. – № 1. – С. 122-125.
2. Браславский И.Я., Ишматов З.Ш., Поляков В.Н. Энергосберегающий асинхронный электропривод / Под ред. И.Я.Браславского. – М.: Академия, – 2004. – 203 с.
3. Ильинский Н.Ф., Москаленко В.В. Электропривод. Энерго- и ресурсосбережение. – М.: ИЦ «Академия», – 2008. – 208 с.
4. Камалов Т.С., Тоиров О.З. Энерго- и ресурсосберегающие режимы работы ленточной конвейерной установки с асинхронным электроприводом // Илм-фан тараққийти ва иқтисодийти инновацион ривожлантириш: Тез. докл. Респ. научно-практ. конф. – Ташкент, – 2012. – С. 48 – 50.

#### Место возобновляемой энергетики в современных условиях

*Р.О. Федькин*

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

*E-mail: roman\_fedkin@mail.ru*

Производство энергии, являющееся необходимым средством для существования и развития человечества, оказывает воздействие на природу и окружающую человека среду. Производство энергии предполагает ее получение в виде удобном для использования, а само получение - только преобразование из одного вида в другой. Одной из важных проблем в энергетике, кроме получения энергии, является обеспечение возможностей ее хранения и передачи.

Основой энергетики сегодняшнего дня являются топливные запасы углеводородного сырья (угля, нефти и газа). Из этого материала человечество получает около 90% энергии. Сегодня наиболее перспективным является природный газ, но его широкое использование связано с проблемами экологии. Могут быть и другие материалы и средства для получения энергии.

Назовем их "нетрадиционные" возобновляемые источники энергии (НВИЭ). Отметим главное отличие углеводородного материала от нетрадиционного для человечества материала получения энергии - исчерпаемость. Потому ныне перед всеми учеными мира стоит проблема нахождения и разработки новых альтернативных источников энергии. Малая и альтернативная

(нетрадиционная) энергетика – энергетика будущего. Ее неисчерпаемость, автономность, безопасность, экономичность служат гарантией этого утверждения.

Энергетика была бы небольшой частной составляющей общего развития общества, и уж, конечно, не оказалась бы в центре внимания мировой политики, если бы современное производство электроэнергии, преимущественно основанное на использовании огневых (сжигание) и атомных технологий:

- не было связано с неравномерно распределенными на планете (и ограниченными) ресурсами,
- не сказывалось на состоянии атмосферы и гидросферы,
- не изменяло бы облик целых регионов добычей нефти, газа, угля, урана,
- если бы не было связанных с энергетикой катастроф, затрагивающих жизни миллионов и стоящих обществу сотен миллиардов долларов (как Чернобыльская и Саяно-Шушенская аварии),
- если бы за энергоресурсы не велись войны, и цены на энергоносители не были бы командирами развития мировой экономики.

Однако реальность такова, что именно энергетические проблемы оказываются пружиной принятия большинства решений, меняющих облик нашей планеты и оказывающих влияние на жизнь и здоровье любого человека.

Экономика России базируется на не возобновляемых углеводородных топливно-энергетических ресурсах, причем, в большей степени, чем в большинстве промышленно развитых стран мира.

Применение возобновляемых источников энергии в России при наличии колоссальных возможностей практически отсутствует, в отличие от большинства промышленно развитых государств. Обусловлено это не столь развитой инфраструктурой и низкой плотностью заселения, а также относительно низкими ценами на природный газ.

Основные причины, указывающие на важность скорейшего перехода к АИЭ:

- глобально-экологические: сегодня общеизвестен и доказан факт пагубного влияния на окружающую среду традиционных энергодобывающих технологий (в т.ч. ядерных и термоядерных).
- политические: та страна, которая первой в полной мере освоит альтернативную энергетику, способна претендовать на мировое первенство и фактически диктовать цены на топливные ресурсы;
- экономические: переход на альтернативные технологии в энергетике позволит сохранить топливные ресурсы страны для переработки в химической и других отраслях промышленности. Кроме того, стоимость энергии, производимой многими альтернативными источниками, уже сегодня ниже стоимости энергии из традиционных источников, да и сроки окупаемости строительства альтернативных электростанций существенно короче. Цены на альтернативную энергию снижаются, на традиционную - растут;
- социальные: численность и плотность населения постоянно растут. При этом трудно найти районы строительства АЭС, ГРЭС, где производство энергии было бы рентабельно и безопасно для окружающей среды. Общеизвестны факты роста онкологических и других тяжелых заболеваний в районах расположения АЭС, крупных ГРЭС, предприятий топливно-энергетического комплекса, хорошо известен вред, наносимый гигантскими равнинными ГЭС, - всё это увеличивает социальную напряженность.
- эволюционно-исторические: в связи с ограниченностью топливных ресурсов на Земле, а также экспоненциальным нарастанием катастрофических изменений в атмосфере и биосфере планеты существующая традиционная энергетика представляется тупиковой; для эволюционного развития общества необходимо немедленно начать постепенный переход на альтернативные источники энергии.

Наибольшее применение получил самый изменчивый и непостоянный вид энергии - ветер. Суммарная мировая установленная мощность крупных ВЭУ и ВЭС, по разным оценкам, составляет от 10 до 20 ГВт.

Второе место по объему применения занимает геотермальная энергетика. Суммарная мировая мощность ГеоТЭС составляет не менее 6 ГВт.

Далее следует солнечная энергия. Она используется в основном для производства низкопотенциального тепла для коммунально-бытового горячего водоснабжения и теплоснабжения.

Таблица 1. Соотношение не возобновляемых и возобновляемых источников энергии в топливно-энергетических балансах России и некоторых зарубежных стран (2010 год), %.

Страны	Традиционные углеводородные ресурсы		Ядерное топливо	Возобновляемые источники энергии(*)	
	Всего	Газ		Всего	Гидроэнергия
Германия	83,6	21,2	13,0	3,4	0,6
Дания	88,7	22,9	0,0	11,3	0,0
Канада	76,0	29,4	7,5	16,5	12,1
Норвегия	50,4	13,3	0,0	49,6	44,7
Россия	91,0	51,8	5,6	3,4	2,3
США	85,9	23,7	9,1	5,0	0,9
Финляндия	56,9	10,6	18,2	24,9	3,9
Франция	52,3	13,4	41,1	6,6	2,2
Швеция	35,3	1,5	31,7	33,0	14,4
МИР	79,8	20,8	6,7	13,5	2,2

(\*) – без учета торфа. Торф учитывается в традиционных углеводородных ресурсах.

Таблица 2. Сравнительный анализ стоимости электроэнергии, полученной от различных источников энергии на электростанциях стран ЕС ( в центах за кВт·ч).

Электростанции на органическом и ядерном топливе, цент/кВт·ч	Электростанции на возобновляемых источниках энергии, цент/кВт·ч
Станции на газе – 6,4	Гидроэлектростанции – 4,1
	Геотермальные электростанции – 7,3
Станции на угле – 5,2	Ветроэлектростанции – 6,5
	Геотермальные станции – 6,0
Атомные электростанции – 12	Станции на отходах деревообработки – 6,4
	Солнечные фотоэлектрические станции – 28,0

Не менее интенсивно развивается использование энергии биомассы. Последняя может конвертироваться в технически удобные виды топлива или использоваться для получения энергии путем термохимической (сжигание, пиролиз, газификация) и (или) биологической конверсии. При этом используются древесные и другие растительные, а также органические отходы, в том числе городской мусор, отходы животноводства и птицеводства.

Указанные источники энергии имеют как положительные, так и отрицательные свойства. К положительным относятся повсеместная распространенность большинства их видов, экологическая чистота. Эксплуатационные затраты по использованию нетрадиционных источников не содержат топливной составляющей, так как энергия этих источников как бы бесплатная.

Отрицательные качества - это малая плотность потока (удельная мощность) и изменчивость во времени большинства НВИЭ. Что же касается «бесплатности» большинства видов НВИЭ, то этот фактор нивелируется значительными расходами на приобретение соответствующего оборудования.

#### Список используемой литературы:

1. Безруких П. Возобновляемая энергетика: сегодня – реальность, завтра – необходимость. – М.: Наука в Сибири, – 2007. – № 50 (2536).
2. Ведяпин М., Степанов М. Экономическая география России. – М.: – 2002.
3. Тарнижевский Б. Состояние и перспективы использования НВИЭ в России. – Промышленная энергетика, – 2002, – № 6.

УДК 65.012.011.56

#### Моделирование асинхронного двигателя большой мощности с нагрузкой типа «компрессор»

*Антонова М.А., Ляпунов Д.Ю.*

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

Произведён расчет параметров схемы замещения асинхронного двигателя большой мощности. В среде Matlab Simulink произведено моделирование двигателя с нагрузкой типа «компрессор». Получены кривые

переходных процессов: токов статора, угловой частоты вращения, электромагнитного момента. Подтверждена возможность применения методики расчета параметров схемы замещения асинхронного двигателя для электродвигателей большой мощности.

В настоящее время существует тенденция замены синхронных двигателей на более экономичные и надежные асинхронные двигатели с частотно-регулируемым приводом. Применение частотно-регулируемого асинхронного электропривода позволяет решить ряд технологических задач: снизить или полностью ликвидировать гидравлические удары, обеспечить требуемый уровень напора в системе и одновременно снизить энергопотребление и расход ресурсов.

Основным электрооборудованием компрессорной станции является электроприводной газоперекачивающий агрегат (далее ЭГПА) который осуществляет компримирование природного газа. Разработчиком и изготовителем ЭГПА является ЗАО «РЭПХ».

В процессе эксплуатации были выявлены особенности работы систем электроснабжения, содержащих подобные двигатели, требующие детального изучения. Исследование двигателя в различных режимах в реальности затруднено, поэтому моделирование его работы является актуальной задачей. Для исследования работы компрессора необходима адекватная модель асинхронного двигателя с нагрузкой типа «компрессор». Все компрессорные машины являются быстроходными. Особенность работы турбокомпрессоров состоит в том, что каждой частоте вращения соответствует определённая критическая подача машины, ниже которой работа машины становится неустойчивой [1].

В первую очередь для построения модели необходимо провести расчет параметров схемы замещения, который производится по методике, приведенной в [2].

Для короткозамкнутого асинхронного двигателя типа 1ТА2832-6AU01-Z (производитель Siemens), предназначенного для сжатия и транспортировки природного газа на компрессорных станциях магистральных газопроводов, рассчитаны параметры схемы замещения по каталожным данным.

Основные параметры асинхронного двигателя:

- номинальная мощность двигателя  $P_n = 6600$  кВт ;
- номинальное напряжение  $U_{1n} = 3300$  В ;
- число фаз асинхронного двигателя  $m_1 = 3$  ;
- частота тока при синхронной частоте вращения  $f_{max} = 143,7$  Гц ;
- коэффициент полезного действия в режиме номинальной мощности  $\eta_n = 0,97$  ;
- коэффициент мощности в режиме номинальной мощности  $\cos \phi_n = 0,785$  ;
- кратность пускового тока  $k_i = 6$  ;
- кратность максимального момента  $k_{max} = 2$  .

Параметры схемы замещения приведены в таблице 1.

**Таблица 1.** Параметры схемы замещения

Параметр	$R_1, \text{Ом}$	$X_{1\sigma}, \text{Ом}$	$R_2', \text{Ом}$	$X_{2\sigma n}', \text{Ом}$	$X_{mn}, \text{Ом}$	$L_1, \text{мГн}$	$L_2, \text{мГн}$	$L_m, \text{мГн}$
Значение	0,065	0,131	0,064	0,178	4,724	5,387	5,429	5,232

Для моделирования систем существует среда MatLab Simulink, и специализированная библиотека SimPowerSystems, которая содержит в себе основные блоки электротехнических устройств.

Имитационная модель двигателя типа 1ТА2832-6AU01-Z приведена на рис. 1. Двигатель питается от источника напряжения 3300 В с частотой 143,7 Гц, соответствующей номинальной частоте двигателя.

Для моделирования механизма с реактивным моментом сопротивления использовано математическое описание вентиляторной нагрузки. Момент, создаваемый компрессором, описывается уравнением:

$$M_c = M_0 + k \cdot \omega^2,$$

где  $M_0 = 37 \text{ Н}\cdot\text{м}$  – момент холостого хода, который определен экспериментально,  
 $k = \frac{1}{95,954} = 0,0104$  – коэффициент, который определяется из условия: номинальная частота вращения двигателя достигается при номинальном моменте нагрузки на валу.

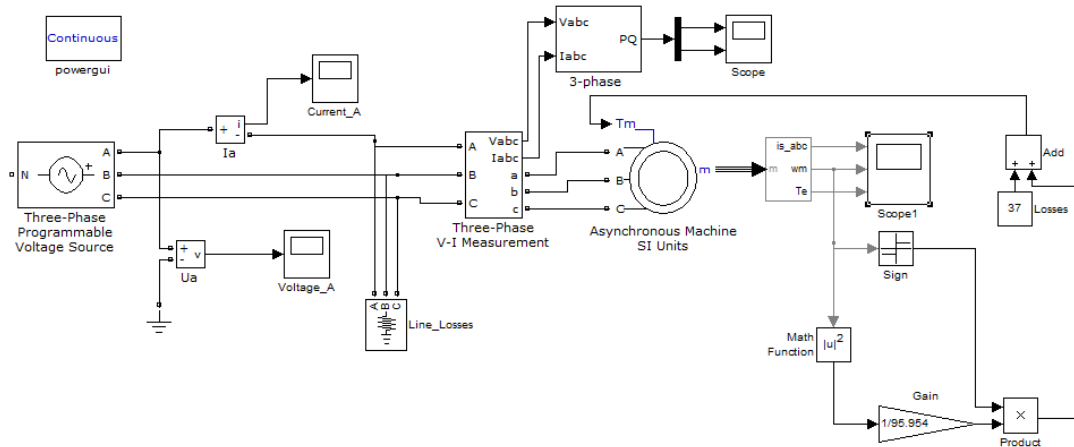


Рис. 1. Имитационная модель асинхронного двигателя с нагрузкой

Результаты моделирования в виде осциллограмм основных координат двигателя приведены на рис. 2.

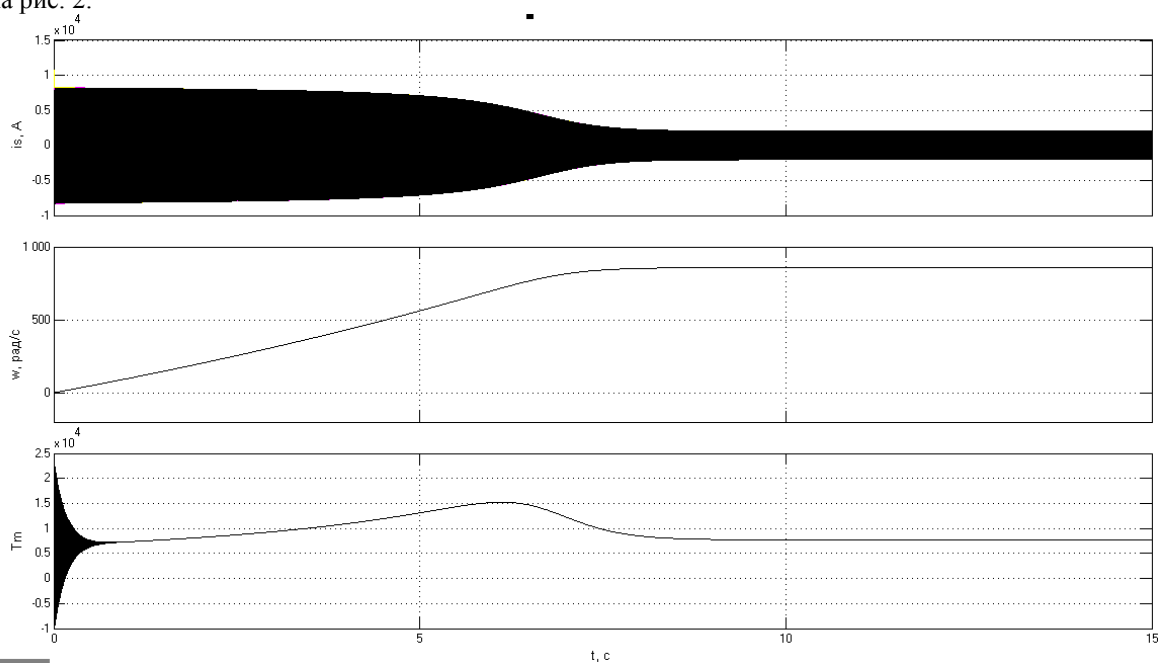


Рис. 2. Осциллограммы: ток статора, угловая частота вращения ротора, электромагнитный момент, соответственно.

Полученные характеристики переходных процессов говорят о том, что изложенная в [2] методика подходит для моделирования асинхронных двигателей большой мощности.

Время переходного процесса двигателя составило 7 с. Кроме того, переходные процессы по токам статора, угловой частоте вращения и моменту имеют типовой вид, который приведен в [3].

#### Список используемой литературы:

1. Справочник по автоматизированному электроприводу [Текст] / под ред. В.А. Елисеева и А.В. Шинянского. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 616 с.

2. Электропривод переменного тока: учебное пособие [Текст] / А.Ю. Чернышев, Ю.Н. Дементьев, И.А. Чернышев; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 213 с.
3. Копылов И.П. Электромеханические преобразователи энергии [Текст]. – М.: Энергия, 1973. – 400 с.

УДК 621.311

**Об ограниченной применимости результатов расчета характеристик оребренных поверхностей на основе безусловной задачи оптимизации**

**Голдаев С. В., Дюкарев И.Е.**

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет,*

*E-mail: SVGoldaev.tpu@.ru*

Известно, что расчет характеристик развитых поверхностей подразумевает определение наиболее рациональной формы и размеров ребра [1– 3]. В зависимости от назначения ребристых поверхностей к ним предъявляется ряд дополнительных требований. В одних случаях желательно, чтобы габариты теплообменника были минимальными [2], в других, чтобы минимальным был вес [1].

Часто характеристики оребрения находятся в рамках безусловной задачи оптимизации [1– 3]. В качестве целевой функции (ЦФ) применяется выражение теплового потока [1,2], или объем ребра [4], зависящие от его толщины  $\delta_p$  и высоты  $h_p$ . Причем для решения задач используется аналитический метод исследования, когда осуществляется решение уравнения, полученного из условия ее экстремума.

Однако стремление снижения объема вычислений порой оборачивается нахождением таких значений геометрических размеров ребра, которые не представляют практической ценности, т. к. изготовление их становится экономически недостаточно оправданным, а эксплуатация – затрудненной.

Например, в монографии [1] представлены решения для определения формы продольных ребер, требующих минимальной затраты материала. Оптимальные высота и толщина ребра находились с помощью энергетического критерия оптимальности, т. е. отвода от поверхности и основания ребра максимального количества теплоты.

При анализе эффективности продольного ребра треугольного профиля путем введения характеристического параметра ребра  $\beta_T$

$$\beta_T = 4A_p (2\alpha/\lambda)^{1/2} \delta_p^{-3/2} \quad (1)$$

двухмерная задача оптимизации сведена к одномерной. Выражение для теплового потока через основание ребра, зависящее от переменной  $\beta_T$ , приняло вид

$$q_0 = [4 \cdot A_p (2\alpha)^2 \cdot \lambda]^{1/3} \Theta_0 \cdot f(\beta_T), \quad f(\beta_T) = \beta_T^{-1/3} \cdot I_1(\beta_T) / I_0(\beta_T), \quad (2)$$

где  $I_0(\beta_T)$ ,  $I_1(\beta_T)$  – модифицированные функции Бесселя первого рода нулевого и первого порядка.

С использованием условия экстремума ЦФ (2), получено трансцендентное уравнение

$$I_0(\beta_T) \cdot I_2(\beta_T) + (2/3)I_0(\beta_T) \cdot I_1(\beta_T) / \beta_T = I_1^2(\beta_T). \quad (3)$$

Численное решение его дало  $\beta_T = 2,6188$ . Оптимальные толщина и высота ребра в основании вычисляются так [1]

$$\delta_p = 1,328 [A_p^2 (2\alpha/\lambda)]^{1/3}, \quad h_p = 2A_p / \delta_p = 1,506 (A_p \lambda / 2\alpha)^{1/3}. \quad (4)$$

Для анализа характера функции  $f(\beta_T)$ , входящей в ЦФ (2) множителем, осуществлено ее табулирование по разработанной программе. Результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1

$\beta_T$	2,10	2,20	2,30	2,40	2,50	2,60	2,70	2,80	2,90
$f(\beta_T)$	0,557	0,560	0,562	0,563	0,564	0,564	0,564	0,563	0,563

Как видно, эта функция очень слабо зависит от  $\beta_T$ . Можно считать, что в диапазоне  $\beta_T = 2,50 \dots 2,75$ , функция  $f(\beta_T)$  имеет максимальное значение, равное 0,564. Поэтому изменятся коэффициенты в выражениях (4) для оптимальных толщин и высот. Будут иными и результаты анализа затрат материала на изготовление ребра.

В работе [1] отмечено, что оптимальным является ребро, ограниченное двумя параболой. Стремясь по возможности приблизиться к такой форме ребра, очень часто ребро изготавливают переменного сечения, с утонением от основания к торцу, придавая им трапецевидное или даже треугольное сечение.

Задача с оптимизацией объема круглого ребра, толщина которого определяется обратноквадратичной зависимостью от радиуса  $\delta/\delta_0 = 1/z^2$ ,  $z = r/r_0$  решена в работе [4].

Для безразмерного объема ребра получено следующее выражение

$$v = \frac{V_1}{V_0} = \frac{\ln(R_2)}{(z_1^2 - 1)} F_x, \quad F_x = x/\text{th}^3(x), \quad (5)$$

где  $x = (z_1 + 1)m/2$  – независимая переменная. Параметр ребра вычислялся так

$$m = \sqrt{2\alpha_k h_p^2 / \lambda \delta_0}.$$

Коэффициент эффективности ребра находился по формуле

$$\eta = \text{th}(x)/x.$$

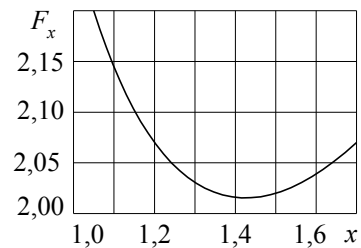
Использование аналитического условия экстремума ЦФ ( $\partial v / \partial x = 0$ ) привело к следующему трансцендентному уравнению [5]

$$\text{th}^2(x) \{ \text{th}(x) - 3x[1 - \text{th}^2(x)] \} = 0, \quad (6)$$

численное решение которого имело вид  $x_{\text{opt}} = 1,4192$ , соответствующее значение коэффициента эффективности ребра равно  $\eta_{\text{opt}} = 0,6267$ .

График функции  $F_x$ , входящей в уравнение ЦФ (5), изображен на рис. 1

Рис. 1



Как видно, минимум растянут и при варьировании  $x$  от 1,3 до 1,5 значения функции близки между собой.

Таким образом, практические задачи следует формулировать в рамках условной оптимизации. Численное решение их получают методами поиска, покоординатного спуска, градиентными методами [3], [5].

#### Список использованной литературы

1. Керн Д., Краус А. Развитие поверхности теплообмена. – М.: Энергия, 1977. – 464 с.
2. Ройзен Л. И., Дулькин И. Н. Тепловой расчет ребренных поверхностей. – М.: Энергия, 1977. – 256 с.
3. Голдаев С. В. Надежность и оптимизация систем теплоэнергоснабжения промпредприятий: учебн. пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 168 с.
4. Микк И. Р. К вопросу об оптимизации конвективных круглых ребер // Инж.-физ. журнал, 1979. – Т.37, №6. – С.1116–1118.
5. Бояринов А.И., Кафаров В.В. Методы оптимизации в химической технологии. /Изд. 2-е. пераб. и доп – М.: Химия, 1975. – 576 с.

#### Нечеткий многокритериальный анализ признаков неисправности трансформаторного оборудования

**В.З. Манусов, Д.И. Коваленко**

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

*E-mail: Kovalenko\_Dmitri@bk.ru*

Показаны возможности анализа нечеткой и неопределенной информации о неисправности трансформаторного оборудования и получение вывода о возможных причинах их возникновения. Условиями такого анализа является текущее состояние электротехнического оборудования и экспертные оценки диагностических признаков.

Транспорт электроэнергии до потребителя включает в себя несколько этапов, а именно: изменение величины напряжения электроэнергии, получаемой с шин электрической станции; передачу электроэнергии по сетям электроэнергетической системы к центрам потребления;

преобразование величины напряжения до уровня номинального напряжения электроприемников. Изменение величины напряжения передаваемой электрической энергии необходимо для снижения потерь и увеличения количества передаваемой энергии по сетям электроэнергетических систем и систем электроснабжения. Кроме того, в ряде случаев требуется применение устройств компенсации реактивной мощности необходимых для регулирования напряжения в сети, повышения статической и динамической устойчивости, а также для ограничения коммутационных перенапряжений. Известно, что силовые трансформаторы могут преобразовать величину напряжения, а шунтирующие реакторы применяются в качестве устройств компенсации реактивной мощности. Задачи силовых трансформаторов и шунтирующих реакторов различны, но конструкция и виды неисправностей, встречающихся как на трансформаторах, так и на реакторах, позволяет нам объединить их под одним термином «трансформаторное оборудование».

Термин «трансформаторное оборудование» подразумевает под собой силовые трансформаторы и масляные шунтирующие реакторы, конструкция которых схожа и в разрезе интересующей нас диагностики эти устройства имеют одинаковые дефекты и признаки неисправностей.

Введем термин «оперативная диагностика» включающая в себя сбор данных с трансформаторного оборудования, находящегося в работе, и анализ их для получения определенного вывода о техническом состоянии оборудования. Такая диагностика может производиться после осмотра электрооборудования и выявления признаков неисправности. Признаков может быть множество, но приведем лишь некоторые из них, на практике встречающихся довольно часто:  $P_1$  - перегрев трансформаторного оборудования;  $P_2$  - повышенная вибрация и шум трансформаторного оборудования;  $P_3$  - высокий ток утечки через изоляцию высоковольтного ввода;  $P_4$  - увлажнение трансформаторного масла.

Основными предпосылками, или причинами указанных неисправностей могут быть:  $G_1$  – высокая температура окружающей среды;  $G_2$  – неисправность системы охлаждения трансформаторного оборудования;  $G_3$  – перегрузка по току;  $G_4$  – пожар стали магнитопровода;  $G_5$  – несимметричность нагрузки по фазам;  $G_6$  – повреждение внутри бака трансформатора или реактора. Стоит заметить, что, как правило, повреждение вызывающее глубокое изменение в работе трансформатора или реактора (короткое замыкание, интенсивное газовыделение), ликвидируется релейной защитой и в данном случае не рассматривается. Но есть развивающиеся дефекты, которые не вызывают каких-либо серьезных отклонений в краткосрочной перспективе, и потому располагают временем для их распознавания и принятия соответствующих мер.

Предположим, что имеются все 4 признака неисправности. Сравним эти признаки по фундаментальной шкале Саати [1], которая имеет девять степеней предпочтения:

1 степень – равная предпочтительность; 2 степень – слабая степень предпочтения; 3 степень – средняя степень предпочтения; 4 степень – предпочтение выше среднего; 5 степень – умеренно сильное предпочтение; 6 степень – сильное предпочтение; 7 степень – очень сильное (очевидное) предпочтение; 8 степень – очень, очень сильное предпочтение; 9 степень – абсолютное предпочтение. Если признак  $A$  имеет умеренно сильное предпочтение над признаком  $B$ , то последний имеет обратную степень предпочтения над  $A$ .

Сравнение признаков производится с учетом наличия одной из шести причин неисправности. Суть метода заключается в том, что для человека привычнее задавать значения переменной не числами, а словами, а также получать и воспроизводить информацию, которая содержит в себе компоненты неточности. Понятие нечеткого множества – это попытка формализации лингвистической информации для построения математических моделей. В основе этого лежит представление о том, что составляющие данное множество элементы, обладающие общим свойством, могут обладать им в различной степени и, следовательно, принадлежать к этому множеству с различной степенью. Лингвистическая переменная – это переменная, значениями которой могут быть слова или словосочетания. Ежедневно мы принимаем решения на основе лингвистической информации типа: «очень высокая температура»; «утомительная поездка» и прочее [2]. Эта информация не несет в себе точных определений, поэтому она является нечеткой.

В следующих матрицах представлены степени предпочтения одних признаков неисправности над другими с учетом наличия одной из шести предпосылок:



$$A(G_1) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 5 & 3 \\ 1 & 1 & 5 & 3 \\ 0,2 & 0,2 & 1 & 0,333 \\ 0,333 & 0,333 & 3 & 1 \end{bmatrix};$$

$$A(G_2) = \begin{bmatrix} 1 & 5 & 9 & 5 \\ 0,2 & 1 & 7 & 5 \\ 0,111 & 0,142 & 1 & 0,142 \\ 0,2 & 0,142 & 7 & 1 \end{bmatrix};$$

$$A(G_3) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 3 & 5 \\ 1 & 1 & 5 & 5 \\ 0,333 & 0,2 & 1 & 1 \\ 0,2 & 0,2 & 1 & 1 \end{bmatrix};$$

$$A(G_4) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 7 & 3 \\ 1 & 1 & 5 & 3 \\ 0,142 & 0,2 & 1 & 0,333 \\ 0,333 & 0,333 & 3 & 1 \end{bmatrix};$$

$$A(G_5) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 7 & 5 \\ 1 & 1 & 5 & 3 \\ 0,142 & 0,2 & 1 & 0,2 \\ 0,2 & 0,333 & 5 & 1 \end{bmatrix};$$

$$A(G_6) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 7 & 5 \\ 1 & 1 & 7 & 7 \\ 0,142 & 0,142 & 1 & 1 \\ 0,2 & 0,142 & 1 & 1 \end{bmatrix}.$$

$$\lambda_{\max G_1} = 4,042; I.C._{G_1} = 0,014.$$

$$\lambda_{\max G_2} = 4,559; I.C._{G_2} = 0,18.$$

$$\lambda_{\max G_3} = 4,029; I.C._{G_3} = 0,009.$$

$$\lambda_{\max G_4} = 4,037; I.C._{G_4} = 0,012.$$

$$\lambda_{\max G_5} = 4,203; I.C._{G_5} = 0,068.$$

$$\lambda_{\max G_6} = 4,005; I.C._{G_6} = 0,001.$$

Расчет коэффициентов относительной важности критериев проведем методом парных сравнений по фундаментальной шкале Саати. Будем считать известными следующие лингвистические парные сравнения важности критериев  $G_1-G_6$

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0,333 & 0,333 & 0,333 & 0,333 & 0,2 \\ 3 & 1 & 3 & 1 & 3 & 0,2 \\ 3 & 0,333 & 1 & 0,333 & 1 & 0,2 \\ 3 & 0,333 & 3 & 1 & 3 & 0,333 \\ 3 & 0,333 & 1 & 0,333 & 1 & 0,2 \\ 5 & 5 & 5 & 3 & 5 & 1 \end{bmatrix}.$$

Находим коэффициенты относительной важности признаков  $G_1, G_2, G_3, G_4, G_5, G_6$ . После необходимых расчетов получаем:  $\alpha_1=0,049$ ;  $\alpha_2=0,17$ ;  $\alpha_3=0,082$ ;  $\alpha_4=0,161$ ;  $\alpha_5=0,082$ ;  $\alpha_6=0,456$ , означающие наиболее важные предпосылки  $G_2$  и  $G_6$ . Максимальное собственное число вектора  $\lambda_{\max}=6,254$ , индекс согласованности суждений  $I.C.=0,05$ .

Произведем расчет нечетких множеств по следующему выражению

$$\mu_D(P_j) = \min(\mu_{G_i}(P_j))^{\alpha_i}. \quad (1)$$

Из (1) получаем нечеткие множества:

$$\begin{aligned} \tilde{G}_1^{\alpha_1} &= \left\{ \frac{0,955}{P_1}, \frac{0,955}{P_2}, \frac{0,877}{P_3}, \frac{0,912}{P_4} \right\}; \tilde{G}_2^{\alpha_2} = \left\{ \frac{0,917}{P_1}, \frac{0,793}{P_2}, \frac{0,563}{P_3}, \frac{0,687}{P_4} \right\}; \\ \tilde{G}_3^{\alpha_3} &= \left\{ \frac{0,924}{P_1}, \frac{0,933}{P_2}, \frac{0,827}{P_3}, \frac{0,818}{P_4} \right\}; \tilde{G}_4^{\alpha_4} = \left\{ \frac{0,867}{P_1}, \frac{0,856}{P_2}, \frac{0,637}{P_3}, \frac{0,734}{P_4} \right\}; \\ \tilde{G}_5^{\alpha_5} &= \left\{ \frac{0,936}{P_1}, \frac{0,919}{P_2}, \frac{0,783}{P_3}, \frac{0,854}{P_4} \right\}; \tilde{G}_6^{\alpha_6} = \left\{ \frac{0,567}{P_1}, \frac{0,695}{P_2}, \frac{0,286}{P_3}, \frac{0,297}{P_4} \right\}. \end{aligned}$$

Пересечение этих нечетких множеств дает такие степени принадлежности нечеткого решения  $\tilde{D}$ :

$$\begin{aligned} \mu_D(P_1) &= \min(0,955; 0,917; 0,924; 0,867; 0,936; 0,67) = 0,67; \\ \mu_D(P_2) &= \min(0,955; 0,793; 0,933; 0,856; 0,919; 0,695) = 0,695; \\ \mu_D(P_3) &= \min(0,877; 0,563; 0,827; 0,637; 0,783; 0,286) = 0,286; \\ \mu_D(P_4) &= \min(0,912; 0,687; 0,818; 0,734; 0,854; 0,297) = 0,297. \end{aligned}$$

В результате получаем нечеткое множество

$$\tilde{D} = \left\{ \frac{0,67}{P_1}, \frac{0,695}{P_2}, \frac{0,286}{P_3}, \frac{0,297}{P_4} \right\},$$

свидетельствующее о преимуществе варианта обусловленного повышенной вибрацией и шумом трансформаторного оборудования над остальными признаками. Таким образом, можно сделать вывод о том, что при наличии признаков неисправности и оценки этих признаков по шкале предпочтений, а также исходя из нечеткой информации о возможных причинах, или предпосылках неисправности трансформаторного оборудования и на основе экспертных оценок, повышенная вибрация и шум могут быть вызваны неисправностью системы охлаждения, либо повреждением внутри бака трансформатора или реактора. Притом наиболее вероятной причиной шума или вибрации с оценкой 0,456 является повреждение внутри бака, а неисправность системы охлаждения может вызвать повышенную вибрацию и шум трансформатора либо реактора с вероятностью 0,17.

#### Список используемой литературы:

1. Т.Л. Саати. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2011. – 360 с.
2. С.Д. Штовба. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с.

УДК 621.311

### Влияние погрешности исходной информации на результаты расчета режима электрических сетей 6-35 кВ

*В.И. Маругин, А.С. Степанов, С.А. Ясинский*

*Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь, Россия*

*E-mail: [stepas1955@mail.ru](mailto:stepas1955@mail.ru)*

Показана возможность оценки погрешности расчета напряжений и потоков мощности в электрических сетях 6-35 кВ на основе положений теории погрешностей. Установлено, что в сетях 35 кВ погрешность расчета напряжения выше, чем в сетях более низких напряжений.

Исходная информация, используемая для расчетов режимов электрических сетей (данные о параметрах сети и ее нагрузок), характеризуется значительной неопределенностью. Так, в [1] приводятся данные о погрешностях активных мощностей нагрузок 1,5 ÷ 40 %, реактивных нагрузок – в пределах 15 ÷ 80 %. Погрешности определения параметров схем замещения элементов сетей также являются существенными и характеризуются значениями, приведенными в таблице.

Таблица. Величины погрешностей определения параметров схем замещения элементов электрических сетей

Элемент сети	R	X	G	B
Воздушная ЛЭП	-20 ÷ +16 %	± 0,25 %	до 1,5 ÷ 3 раз	± 3 ÷ 4 %
Трансформатор	± 10 %	± 15 %	± 30 %	± 30 %

Общеизвестно, что особенно велика неопределенность этой информации для распределительных электрических сетей (РЭС) 6-35 кВ, сравнительно слабо оснащенных приборами электроизмерений, имеющими значительную протяженность, количество элементов, а, следовательно, и более высокую степень неопределенности информации, чем системообразующие сети.

Целью настоящей работы является получение математического аппарата для оценки возможной погрешности результатов расчета режимных параметров РЭС по известной погрешности исходной информации.

Как известно из [2], напряжение в конце ветви схемы замещения участка РЭС может быть найдено по режимным параметрам начала ветви по формуле

$$U_j = U_i - \frac{P_{ij}R_l + Q_{ij}X_l}{U_i}, \quad (1)$$

записанной для некоторой ветви  $l$  с активным и индуктивным сопротивлениями  $R_l$  и  $X_l$ , связывающей узлы  $i$  и  $j$ , при напряжении в узле начала  $i$   $U_i$  и втекающей в ветвь мощности  $P_{ij} + jQ_{ij}$ .

Поток активной мощности в начале ветви может быть определен по данным ее конца по формуле

$$P_{ij} = P_{ji} + \frac{P_{ji}^2 + Q_{ji}^2}{U_j^2} R_l. \quad (2)$$

На основании положений теории погрешностей [3] погрешность функции  $f$  можно оценить по выражению:

$$\Delta f = \sum_{i=1}^k \Delta a_i |f'_{x_i}(a_1, \dots, a_k)|, \quad (3)$$

где  $f'_{x_i}(a_1, \dots, a_k)$  - значение частной производной функции по переменной  $x_i$  при  $x_j = a_j, j = 1, \dots, k$ ;  $\Delta a_i$  - абсолютная погрешность определения переменной  $x_i$ .

Применяя формулу (3) к выражению (1), получим:

$$\Delta U_j = \left(1 + \frac{P_{ij}R_l + Q_{ij}X_l}{U_i^2}\right) \Delta U_i + \frac{R_l}{U_i} \Delta P + \frac{X_l}{U_i} \Delta Q + \frac{P_{ij}}{U_i} \Delta R + \frac{Q_{ij}}{U_i} \Delta X. \quad (4)$$

Если в формуле (4) принять  $U_i \approx U_j = U$  и выразить абсолютные погрешности через относительные, т.е.  $\Delta a_i = \delta a_i \cdot a_i$ , то можно получить выражение для относительной погрешности расчета напряжения по формуле (1):

$$\delta U_j = \left(1 + \frac{P_{ij}R_l + Q_{ij}X_l}{U^2}\right) \delta U + \frac{P_{ij}R_l}{U^2} (\delta P + \delta R) + \frac{Q_{ij}X_l}{U^2} (\delta Q + \delta X). \quad (5)$$

Аналогично, если применить формулу (3) к выражению (2), то получим:

$$\Delta P_{ij} = \left(1 + 2 \frac{P_{ji}}{U_j^2} R_l\right) \Delta P_{ji} + 2 \frac{Q_{ji}R_l}{U_j^2} \Delta Q_{ji} + 2 \frac{P_{ji}^2 + Q_{ji}^2}{U_j^3} R_l \Delta U_j + \frac{P_{ji}^2 + Q_{ji}^2}{U_j^2} \Delta R_l. \quad (6)$$

Если в формуле (6) по аналогии с (4) принять  $P_{ij} \approx P_{ji} = P$  и выразить абсолютные погрешности через относительные, то можно получить выражение для относительной погрешности расчета потока активной мощности в начале ветви по формуле (2):

$$\delta P_{ij} = \left(1 + 2 \frac{P_{ji}R_l}{U_j^2}\right) \delta P + \frac{1}{P_{ji}} \left[ 2 \frac{Q_{ji}^2 R_l}{U_j^2} \delta Q + \frac{P_{ji}^2 + Q_{ji}^2}{U_j^2} R_l (2\delta U + \delta R) \right] \quad (7)$$

Таким образом, получены расчетные выражения (5) и (7), с помощью которых можно оценить относительную погрешность расчета параметров режима ветви схемы замещения РЭС по погрешностям исходных данных.

Из формулы (5) видно, что погрешности активной мощности и активного сопротивления одинаково влияют на погрешность результата. То же самое можно сказать о погрешностях реактивной мощности и индуктивного сопротивления. Согласно формуле (7) погрешность

напряжения вдвое сильнее сказывается на погрешности расчета потока активной мощности в начале ветви, чем погрешность активного сопротивления.

Для примера рассмотрим две линии электропередач: одну напряжением 10 кВ, длиной 1 км, выполненную проводом АС-70, с нагрузкой  $1+j0,5$  МВА, а другую – напряжением 35 кВ, протяженностью 10 км с тем же проводом, но с нагрузкой в 10 раз больше.

Для линии 10 кВ уравнения (5) и (7) примут вид:

$$\delta U_{j(10)} = 1,0059\delta U + 0,0042(\delta P + \delta R) + 0,0017(\delta Q + \delta X),$$

$$\delta P_{ij(10)} = 1,0084\delta P + 0,0021\delta Q + 0,00525(2\delta U + \delta R).$$

Для линии 35 кВ получим:

$$\delta U_{j(35)} = 1,205\delta U + 0,134(\delta P + \delta R) + 0,071(\delta Q + \delta X),$$

$$\delta P_{ij(35)} = 1,069\delta P + 0,017\delta Q + 0,043(2\delta U + \delta R).$$

Если принять следующие значения погрешностей исходной информации:

$$\delta U = 1\%, \quad \delta P = \delta Q = 10\%, \quad \delta R = 10\%, \quad \delta X = 0,2\%,$$

то нетрудно подсчитать, что

$$\delta U_{j(10)} = 1,11\%, \quad \delta U_{j(35)} = 4,61\%,$$

$$\delta P_{ij(10)} = 10,17\%, \quad \delta P_{ij(35)} = 11,38\%.$$

Как следует из полученных результатов, погрешность расчета напряжения для линии 10 кВ незначительно увеличилась по сравнению с погрешностью исходного напряжения (1% и 1,11%). Для линии 35 кВ погрешность результата выросла значительно – в 4,61 раза по сравнению с погрешностью исходного напряжения. Что касается погрешностей результатов расчета потоков мощности, то они незначительно отличаются от погрешности исходного потока.

#### Список используемой литературы

1. Гамм А.З. Вероятностные модели режимов электроэнергетических систем.- Новосибирск: ВО «Наука», 1993.- 133 с.
2. Идельчик В.И. Электрические системы и сети.- М.: Энергоатомиздат, 1989.- 592 с.
3. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов.- М.: Наука, 1981.- 720 с.

УДК 621.315.051

### Предварительный анализ отказов элементов воздушных линий электропередачи напряжением 220 кВ

*В.И. Пантелеев, Д.В. Пантелеев*

*Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия*

*МЭС Сибири – филиал ОАО «ФСК РАО ЕЭС», г. Красноярск, Россия*

**E-mail: [pvi0808@rambler.ru](mailto:pvi0808@rambler.ru)**

Приведена статистика отказов элементов воздушных линий электропередач напряжением 220 кВ. На основании предварительного анализа сделаны выводы о возможности построения моделей отказов для планирования необходимого количества и состава запасного оборудования.

Воздушные линии (ВЛ) электропередачи (ЛЭП) напряжением 220 кВ являются в настоящее время наиболее протяжёнными линиями в составе магистральных электрических сетей России и, в этой связи, они вполне могут претендовать на то, чтобы называться системообразующими ЛЭП Единой энергетической системы (ЕЭС). Отказы оборудования этих ЛЭП могут приводить не только к кратковременным перерывам в электроснабжении регионов и важных объектов, но и служить причинами серьёзных сбоев в производствах важнейших стратегических отраслей страны.

По этой причине ЛЭП-220 являются объектами пристального внимания территориальных предприятий магистральных электрических сетей, по которым на протяжении многих лет эксплуатации сохраняется статистика отказов элементов ВЛ. В процессе эксплуатации ЛЭП-220, кроме безусловного обеспечения их эксплуатационной надёжности, должна решаться задача рационального расходования финансовых средств, планируемых в бюджетах электросетевых предприятий.

Целью настоящего доклада является предварительный анализ статистики отказов элементов ВЛ для дальнейшего построения моделей функциональной надёжности ВЛ и оптимизации планирования необходимого количества и состава запасного оборудования.

Учёт отказов элементов ВЛ ведётся по видам отказов и по их причинам. В частности, выделяются следующие виды отказавших элементов и отказов: изолятор, провод, грозотрос, опора, траверса, линейная арматура, спуск от ВЛ на портал, прочие элементы ВЛ.

В качестве причин выхода из строя выделяются: гроза, перекрытие изоляции, износ, воздействие посторонних лиц, пожар, дефект изготовления, дефект монтажа, падение деревьев, ветер, птицы и животные.

Нами были получены и обработаны данные по всем предприятиям МЭС Сибири за три года: с 2009 по 2011. В результате предварительной обработки данных были построены ранжированные зависимости отказов и выявленных причин отказов, рис.1 и рис.2.

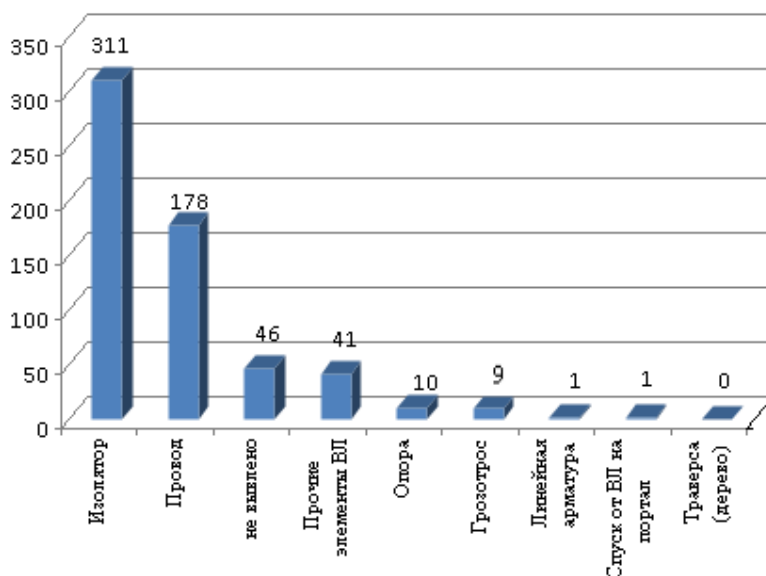


Рис. 1

Из полученных диаграмм наглядно видно, что преобладающим видом повреждаемого оборудования являются изоляторы (более 50% от общего количества), далее следуют провода (более 25%), наименее повреждаемыми являются линейная арматура, спуск от ВЛ на портал и траверса. В этой связи интересно проанализировать причины отказов (рис.2) и даты событий.

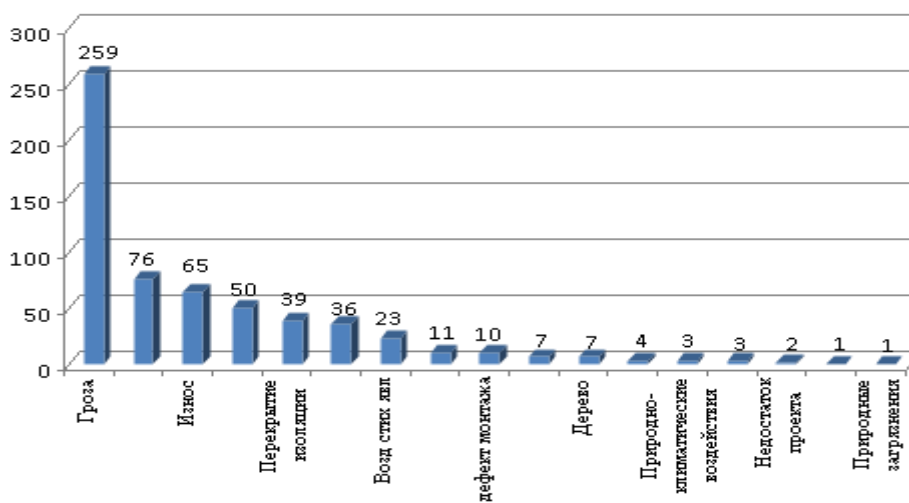


Рис. 2

Ранжированные причины отказов (рис.2) показывают, что наибольшее число отказов вызвано грозами (более 40%), физическим износом объясняется почти 11% отказов, значительная часть отказов отнесена к не выявленным причинам (более 12%) и воздействию посторонних лиц (почти 8,5%), пожары и наводнения являются причиной почти 10% отказов. Весьма

незначительная доля отказов вызвана недостатками проектов (0,3%) и недостатками эксплуатации (0,15%).

Представляет интерес анализ распределения по месяцам общего и видового числа отказов оборудования ВЛ. В частности, помесечное распределение отказов изоляторов, рис. 3, имеет явно выраженный сезонный характер, а его ежегодные максимумы приходятся на грозовые периоды каждого года.

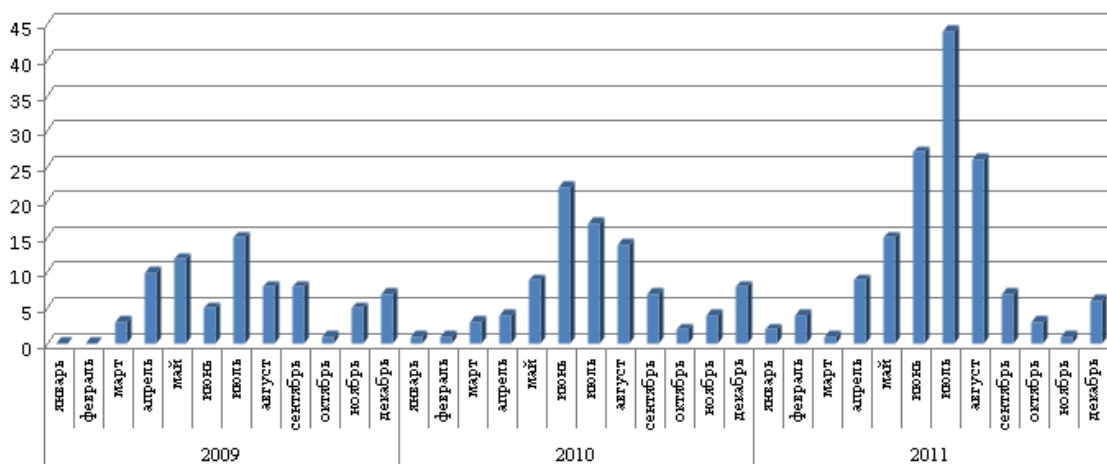


Рис. 3

Приведённая здесь статистика и простейший «визуальный» её анализ позволяют сделать несколько предварительных выводов.

1. Имеющаяся статистика отказов оборудования ВЛ позволяет реализовать периодический прогноз функциональной надёжности ВЛ и получать исходный материал для плановой подготовки к осенне-зимним периодам.

2. Математический анализ статистики в сочетании с применением математических методов прогнозирования позволит построить модели функциональной надёжности ВЛ, оптимизировать планирование необходимого количества и состава запасного оборудования и выявить проблемные, с эксплуатационной точки зрения, участки ВЛ.

УДК 621.31

### Влияние статического компенсатора (СТАТКОМ) на дистанционную защиту

*А.Ю. Покацкий, А.В. Прохоров*

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

*E-mail: Onyx\_Snoopy@mail.ru*

Представлены результаты анализа особенностей работы дистанционной защиты линии электропередачи, оснащенной устройствами FACTS (Flexible AC Transmission System). В качестве рассматриваемого устройства служит статический синхронный компенсатор (СТАТКОМ). Цель изучения вопроса – оценка срабатывания дистанционной защиты (ДЗ) при различных видах повреждений при наличии СТАТКОМ в схеме. Наличие СТАТКОМ существенно влияет на измеряемое защитой сопротивление ввиду быстрого реагирования устройства на возмущения в электроэнергетической системе. Вследствие этого, требуется дополнительная корректировка параметров релейной защиты. Исследование проведено на примере двухмашинной энергосистемы с двухцепной линией электропередачи с нагрузкой в средней точке. Моделирование проводится с использованием программного комплекса PSCAD/EMTDC (Power Systems Computer Aided Design / ElectroMagnetic Transients including DC).

Устройства FACTS представляют собой технологию, которая обеспечивает необходимую корректировку параметров энергосистемы для того, чтобы в полной мере задействовать ее потенциал. Данные устройства вызывают дополнительные сложности для релейной защиты и автоматики энергосистемы, в частности, защиты линий электропередачи.

СТАТКОМ – устройство поперечной компенсации реактивной мощности. Принцип работы – контроль, стабилизация и поддержание уровня напряжения в узле подключения относительно заданной уставки путем потребления или выработки реактивной мощности.

Реактивная мощность, генерируемая или потребляемая компенсатором, может быть изменена путем изменения величины выходного напряжения преобразователя [1].

Дистанционная защита (ДЗ) широко используется для защиты линий электропередачи. Защита рассчитывает полное сопротивление между точкой включения реле и местом аварии. Полное сопротивление линии может быть изменено при нормальных и аварийных режимах вследствие наличия СТАТКОМ в линии.

На рис. 1 приведена исследуемая схема. Линии Л1 и Л3, Л2 и Л4 имеют протяженность 100 км. Напряжение сети – 220 кВ. Полная мощность Системы 1 и Системы 2 составляет 90 МВ·А. Мощность нагрузки – 88 МВ·А,  $\cos \varphi=0,906$ . Номинальная мощность СТАТКОМ – 300 Мвар. Модель указанной на рис.1 схемы изображена на рис. 2.

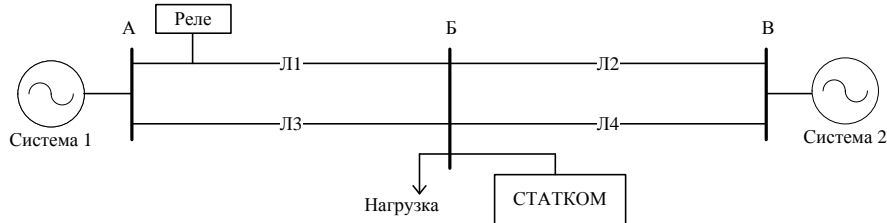


Рис. 1. Исследуемая схема

В [2] показано, что при включении СТАТКОМ в однофазную систему в нормальном режиме активное сопротивление, измеряемое органом ДЗ, увеличивается, а индуктивное – уменьшается. При повреждениях в схеме наблюдается противоположная картина: активное сопротивление уменьшается, а индуктивное – увеличивается.

Одним из факторов, влияющих на сопротивление сети при наличии СТАТКОМ, это режим работы компенсатора. При генерации реактивной энергии в сеть СТАТКОМ увеличивает полное сопротивление, а при потреблении – уменьшает [3].

В схеме, представленной на рис. 1, на шине Б происходит замыкание фазы А на землю. Значение уставки СТАТКОМ по напряжению – 1 о.е. Моделирование осуществляется с продолжительностью 1 с. Характеристики срабатывания реле сопротивления представлены на рис. 3. Значения сопротивления фазы А, измеряемое с помощью реле при отсутствии СТАТКОМ составляет  $Z_A=310,93$  Ом,  $X_A=114,35$  Ом; при включении в сеть СТАТКОМ –  $Z_A=293,24$  Ом,  $X_A=-47,06$  Ом. Характеристики срабатывания реле сопротивления при замыкании фазы А на землю слева от СТАТКОМ в точке 0,71 длины Л1, представлены на рис. 4. Значения сопротивлений фазы А, измеряемое с помощью реле при отсутствии СТАТКОМ составляют  $R_A=310,89$  Ом,  $X_A=114,32$  Ом; при включении в сеть компенсатора –  $R_A=293,26$  Ом,  $X_A=-47,03$  Ом. Таким образом, ДЗ требует дополнительной настройки с учетом указанных изменений.

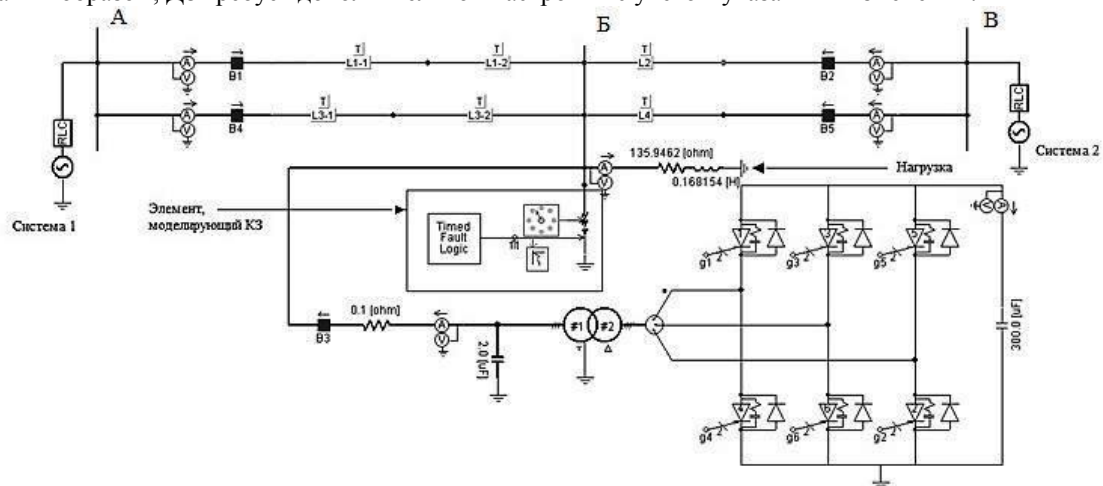


Рис. 2. Исследуемая схема в программе PSCAD/EMTDC при подключении СТАТКОМ к шине Б

В соответствии с различными условиями работы энергосистемы, СТАТКОМ может иметь различные значения уставки по напряжению для достижения требуемого уровня напряжения. Эта величина также будет влиять на работу дистанционной защиты. Для анализа данного вопроса устанавливаются следующие значения  $V_{ref}=0,9; 1; 1,1; 1,3$  и моделируется замыкание фазы А на землю. Результаты приведены на таблице ниже.

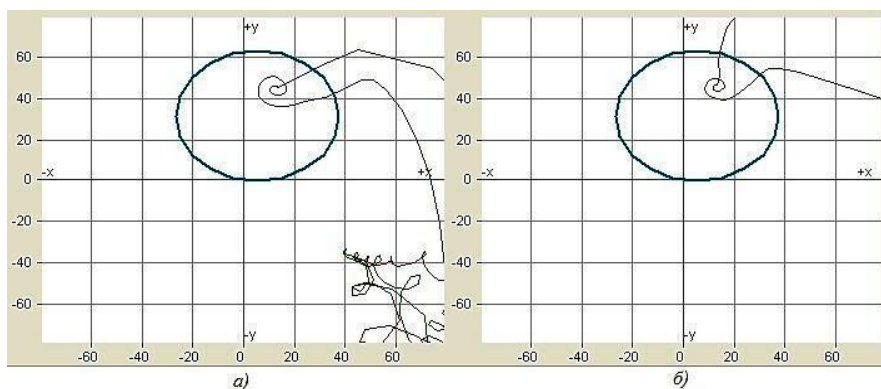


Рис. 3. Замыкание фазы А на землю на шине Б:

- а) характеристика срабатывания дистанционной защиты при наличии СТАТКОМ;  
 б) характеристика срабатывания дистанционной защиты без СТАТКОМ

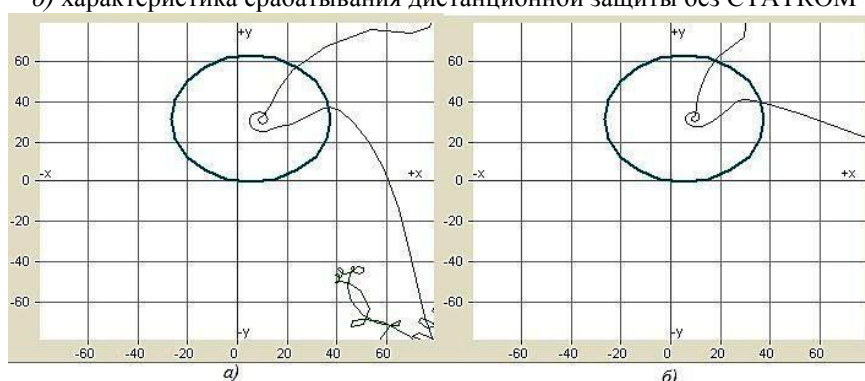


Рис. 4. Замыкание фазы А на землю на линии ЛЛ1:

- а) характеристика срабатывания дистанционной защиты при наличии СТАТКОМ;  
 б) характеристика срабатывания дистанционной защиты без СТАТКОМ

Таблица. Зависимость полного, активного и индуктивного сопротивлений, измеряемых органом ДЗ, от уставки по напряжению СТАТКОМ

Уставка по напряжению, $V_{ref}$	Активное сопротивление, $R_A$ , Ом	Индуктивное сопротивление, $X_A$ , Ом	Полное сопротивление, $Z_A$ , Ом
0,9	327,55	72,64	355,51
1	293,27	-47,03	297,02
1,1	235,74	-93,08	253,45
1,3	138,36	-107,15	174,99

Анализ табличных данных показывает, что с увеличением уставки  $V_{ref}$  полное сопротивление, измеряемое органом дистанционной защиты, уменьшается.

Таким образом, в ходе исследования была получена учебная модель в программе PSCAD/EMTDC для исследования влияния статического компенсатора на дистанционную защиту линии электропередачи. Согласно всему выше изложенному, выявлено, что наличие СТАТКОМ в схеме существенно влияет на контролируемые параметры дистанционной защиты. Таким образом, данный тип релейной защиты требует адаптивности к новым условиям передачи электрической энергии, содержащей устройства FACTS.

#### Список используемой литературы:

1. Narain G. Hingorani, Laszlo Gyugyi. Understanding FACTS. Concepts and Technology of Flexible AC Transmission systems. – John Wiley & Sons Ltd., Publication, 1999. – 428 с.
2. Suresh Maturu, U. Jayachandra Shenoy. Impact of STATCOM and SSSC based compensation on transmission line protection // 16<sup>th</sup> National power systems conference. – 2010. – С. 480-485.
3. X.Y Zhou, H.F Wang, R.K Aggarwal, P. Beaumont. The impact of STATCOM on distance relay// Power Systems Computation Conference. – 2005. – С. 1-7.



УДК 621.31

**Моделирование работы однофазных трансформаторов напряжения в режиме холостого хода****Е.Ю. Сизганова, Н.В. Сизганов, Л.А. Фоминцев***Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия**E-mail: fail.of.god@me.com*

В последнее десятилетие существенно повысилось научное внимание к развитию детального моделирования силовых трансформаторов высших классов напряжения, которое позволяет создать их уточненные компьютерные модели, учитывающие реальную конфигурацию и размеры их магнитной системы. [1] Значимой особенностью электрических сетей, содержащих трансформаторы, являются броски тока намагничивания (inrush current) во время переходного процесса при включении сети, что, как правило, считается штатной ситуацией. С инженерной позиции, важно отличать inrush-эффект от аварийного включения на короткое замыкание (КЗ).

Если броски токов намагничивания имеют большую амплитуду и длительность протекания, то это ведет к потенциальной опасности повреждения обмоток трансформатора из-за чрезмерных динамических усилий или снижение срока его службы. А генерируемый трансформаторами ток насыщенный высшими гармониками может провоцировать ложное срабатывание устройств релейной защиты и автоматики и ухудшить качество электроэнергии в энергосистеме. В случае отключения трансформатора от сети в его магнитной системе “сохраняется” остаточная индукция, что приводит к значительному увеличению бросков токов намагничивания при последующем включении трансформатора в неблагоприятный момент времени.

Исследованию бросков тока намагничивания посвящено большое количество работ. В частности, в работе [1] рассмотрены некоторые принципы моделирования процессов в магнитной системе трансформатора, а также представлены результаты расчета и сравнение с экспериментом группы трансформаторов в режиме холостого хода. Исследована зависимость бросков тока намагничивания от остаточной индукции. В работе [2] рассмотрены зависимости бросков тока намагничивания от величины и продолжительности падения напряжения на источнике в Simulink-моделях трехфазных трансформаторов с тремя и с пятью ножками.

Для разработки методов защиты от ложных срабатываний аварийных выключателей при бросках тока намагничивания в цепях, содержащих нелинейные индуктивные нагрузки, необходимо построение их математических моделей. В настоящей работе представлено моделирование процессов в однофазном трансформаторе напряжения, включенном в режиме холостого хода (рис. 1).

Для описания процессов, протекающих в трансформаторе, использованы уравнения Максвелла в интегральной форме [3]:

$$\begin{cases} \oint_{l_1} (\vec{E}, d\vec{l}) = - \frac{d}{dt} \int_{S_1} (\vec{B}, d\vec{S}) \\ \oint_{l_2} (\vec{H}, d\vec{l}) = \frac{d}{dt} \int_{S_2} (\vec{D}, d\vec{S}) + \int_{S_2} (\vec{j}, d\vec{S}) \end{cases} \quad (1)$$

где  $\vec{E}$  – электрическое поле,  $\vec{B}$  – индукция магнитного поля,  $\vec{H}$  – магнитное поле,  $\vec{D}$  – индукция электрического поля,  $\vec{j}$  – плотность электрического тока,  $l_1$  и  $l_2$  – контуры интегрирования,  $S_1$  и  $S_2$  – поверхности, охватываемые контурами. В левой части уравнения стоит контурный интеграл, в правой части интеграл по поверхности, границей которого является этот контур. Уравнения справедливы для любых контуров.

Для моделирования в первом уравнении системы (1) выбран контур интегрирования вдоль одного витка катушки, а во втором – контур, проходящий вдоль сердечника (рис. 1).

Данную электромагнитную цепь однозначно описывает система уравнений

$$\frac{U(t) - RI(t)}{N} = S \frac{dB}{dt}, \quad (2)$$

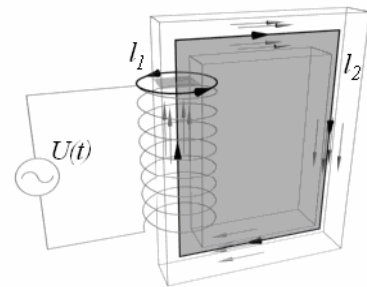


Рис.1. Упрощенная схема и контуры интегрирования

$$I(t) = \frac{a}{N} H(B), \quad (3)$$

где  $U(t)$  – напряжение источника питания,  $RI(t)$  – падение напряжения,  $N$  – количество витков,  $S$  – площадь поперечного сечения сердечника,  $a$  – длина контура  $l_2$ .

Уравнения (2) и (3) необходимо дополнить уравнением, описывающим свойства среды,

$$H(B) = \begin{cases} aB + aB^7, & \text{при } |B| < B_s \\ aB + aB^7 + \text{sign}(B) \frac{(|B| - B_s)^2}{\mu_0(\sigma + |B| - B_s)}, & \text{при } |B| \geq B_s \end{cases}, \quad (4)$$

тем самым задать связь между магнитным полем и индукцией магнитного поля, чтобы замкнуть систему.

Вследствие нелинейной зависимости ВН-кривой (4) в магнитопроводе трансформатора, существует некоторая точка насыщения  $B_s$ , после которой даже незначительное повышение поля  $B$  приводит к большому скачку поля  $H$ , что в свою очередь вызывает резкое увеличение тока намагничивания в трансформаторе. Явление скачка тока при включении трансформатора называют *inrush*-эффектом, который обладает следующими основными свойствами: 1) амплитуда броска тока на несколько порядков превышает значение амплитуды тока линейных элементов при тех же напряжениях источника; 2) наличие в спектре четных гармоник и постоянной составляющей; 3) однополярность. Начальный скачок тока зависит от двух факторов: начальной фазы  $\varphi_0$  напряжения, приложенного к первичной обмотке и величины и направления остаточного потока в магнитопроводе.

Моделирование реализовано в среде MatLab. Дифференциальное уравнение (2) решалось с помощью функции `ode15s`.

```
[T,B] = ode15s(@ (t,B) trans_eq(t, B, U0, N, S, R0, a, w0, phi0),... [t],0,odeset('AbsTol',1e-12));
```

где `trans_eq` – функция, в которой сформулировано дифференциальное уравнение, и уравнение для вычисления тока по известному полю  $B$ ,

```
function dB = trans_eq(t, B, U0, N, S, R0, a, w0, phi0)
```

```
U = U0*sin(w0*t+phi0);
```

```
I = a*BH_curve(B)/N;
```

```
dB = (U-I*R0)/S/N;
```

здесь `BH_curve` – функция для вычисления поля  $H$  согласно ВН-кривой (4)

```
function H = BH_curve(B)
```

```
mu0 = 4*pi*1e-7; Bs = 1.73; a = 70; b = 6; sigma = 10;
```

```
H = a*B+b*(B.^7)+(abs(B)>Bs).* sign(B).*(abs(B)-Bs).^2...
```

```
./(sigma+abs(B)-Bs)./mu0;
```

Функция `ode15s` выполняет численное решение дифференциального уравнения, она вычисляет поле  $B$  в разные моменты времени, используя уравнения в функции `trans_eq`. Аргументами функции `trans_eq` являются поле  $B$  и момент времени  $t$ . Результатом функции является вычисленный  $dB$ .

Выполнено моделирование как для малых значений поля  $B$ , так и для насыщения сердечника, сравнение результатов моделирования приводятся на графиках зависимостей тока от времени при начальных фазах  $\varphi_0 = \pi/2$  и  $\varphi_0 = 0$  (рис. 2).

Выявлено, что результат моделирования (рис.2,а) хорошо согласуется с теоретическим решением для линейного случая (когда  $H$  пропорционально  $B$ ). При  $\varphi_0 = \pi/2$  решением является синусоида, а при  $\varphi_0 = 0$  решение складывается из синусоиды с частотой  $\omega_0$  и постоянной составляющей, которая экспоненциально убывает за счет присутствия активного сопротивления.

В результате моделирования (рис.2,б) показано, что при  $\varphi_0 = \pi/2$  броски тока намагничивания отсутствуют, а при  $\varphi_0 = 0$  наблюдается *inrush*-эффект на первом периоде, после чего ток выходит на установившийся режим за счет наличия активного сопротивления в цепи.

Основной целью моделирования является оценка пиковых значений тока во время *inrush*-эффекта. Для реальных трансформаторов при напряжении источника 50 В для  $\varphi_0 = 0$  получено пиковое значение тока примерно 7.5А, что в 375 раз больше амплитуды тока в установившемся режиме (0.05А). Переходной процесс длился дольше 0.4с (20 периодов).

В результате моделирования наблюдались однополярные броски токов намагничивания при значениях поля  $B$  близких к насыщению. Замечено, что форма сигнала при насыщении и в установившемся режиме отличается на отрезок времени, равный периоду приложенного

напряжения. Поскольку процесс в установившемся режиме становится периодическим, то для изучения изменения с течением времени амплитуд основной и четных гармоник были построены локально-временные спектры токов (рис.3).

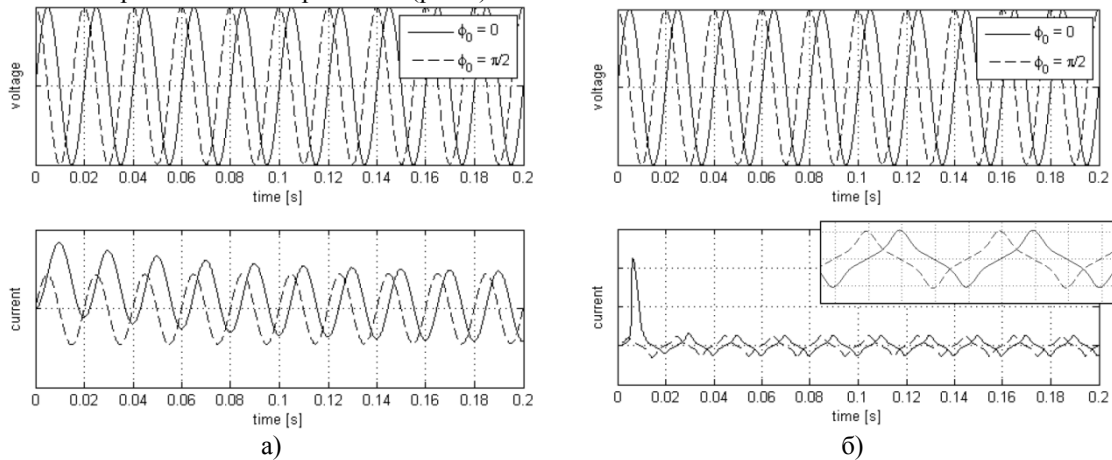


Рис.2. Напряжение и ток в цепи трансформатора: а – линейный участок ВН-кривой, б – inrush-эффект

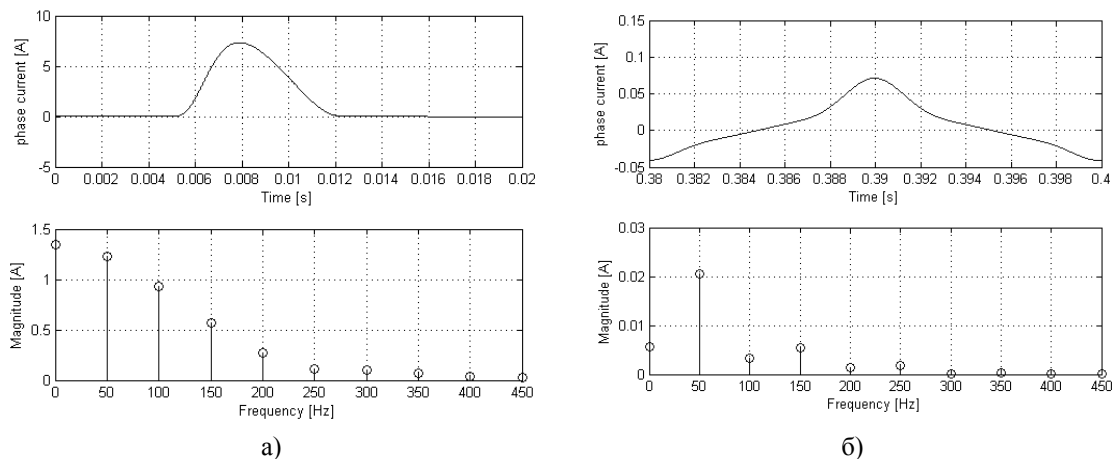


Рис.3. Ток и его спектр на первом (а) и последнем (б) периоде

Анализ графиков (рис.3,а) подтверждает наличие основного свойства броска тока намагничивания, следовательно, его можно классифицировать как inrush-эффект. Максимальная амплитуда тока наблюдается у основной гармоники (50 Гц) (рис.3,б), четные гармоники не затухли окончательно, т.к. ток за рассматриваемый период времени еще не вышел на установившийся режим. В целом переходный процесс длился примерно 1.5 периода. За это время все четные гармоники и постоянная составляющая затухли, а нечетные гармоники вышли на установившийся режим.

Таким образом, созданная математическая модель однофазного трансформатора напряжения адекватно описывает процессы, происходящие при включении трансформатора в режиме холостого хода, и позволяет распознавать однополярные броски тока. В результате проведенных модуляций была получена оценка пиковых значений тока при различных начальных фазах  $\phi_0$ . Исследования доказали присутствие inrush-эффекта во время переходного процесса, причем максимальную амплитуду тока имеет основная гармоника 50 Гц.

#### Список используемой литературы:

1. <http://opnzeu.ru/stat.htm>, “Моделирование переходных процессов в электрической сети, содержащей трансформаторы при учете конфигурации их магнитной системы”, М.В. Дмитриев (ЗАО “Завод энергозащитных устройств”), Г.А. Евдокунин (СПбГПУ)
2. M. R. Dolatian, A. Jalilian, “Voltage Sag Effect on Three Phase Five Leg Transformers”, IJECSE (International Journal of Electrical, Computer, and Systems Engineering), Spring 2007, Vol.1, No.2, pp. 80-85.
3. Л.В. Лейтес “Электромагнитные расчеты трансформаторов и реакторов”. – М.: “Энергия”, 1981. – 392 с.

УДК 621.315

**Вероятностно-статистическая модель воздушной линии электропередачи 500 кВ  
объединенной энергосистемы Средней Волги**

Складчиков А.А.

Филиал ОАО «ФСК ЕЭС» - Самарское ПМЭС, г. Самара, Россия

e-mail: skladchikov-aa@mail.ru

В работе приводятся основные сведения о построении вероятностно-статистической модели воздушной линии электропередачи (ВЛ) 500 кВ, определены законы распределения вероятностей возникновения технологических нарушений на ВЛ 500 кВ с учетом принятых допущений, установлены этапы жизненного цикла ВЛ 500 кВ, сделаны выводы о практической значимости использования таких моделей.

Изучение статистических данных [1] наработки до возникновения технологического нарушения на ВЛ 500 кВ являются основополагающими для принятия решений о готовности линий к дальнейшей эксплуатации (эксплуатационной готовности) и/или о проведении капитальных ремонтов либо другого вида ТОиР [2].

Для анализа использованы статистические данные за 15-летний срок наблюдения по всем ВЛ 500 кВ ОЭС СВ (29 линий). Проводился анализ однородности исходного статистического материала с целью объединения объема информации в одну общую выборку для проведения дальнейших исследований, определение резко выделяющихся наблюдений, доверительных интервалов значения показателя надежности с доверительной вероятностью 0,95 [3,4]. Для выявления существенных черт распределения данных по технологическим нарушениям на ВЛ были определены основные характеристики данных с их графическим представлением. При обработке статистическими методами вычислялись математическое ожидание, дисперсия, среднее квадратичное отклонение, коэффициенты вариации, асимметрии, эксцесса. Для обработки статистического материала применялись статистические пакеты Microsoft Excel, MathCAD.

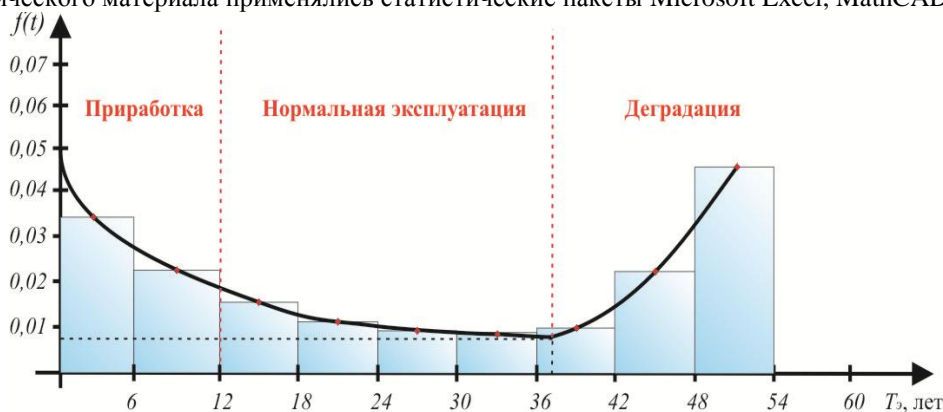


Рис. 1. Гистограмма и плотность вероятности распределения технологических нарушений на ВЛ 500 кВ ОЭС СВ.

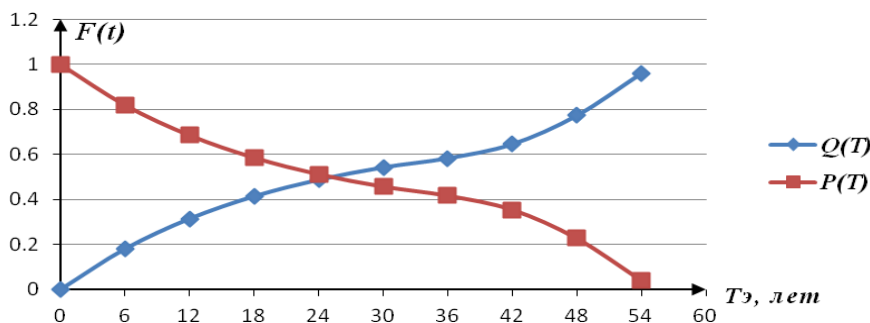


Рис. 2. Вероятностные функции распределения технологических нарушений на ВЛ 500 кВ ОЭС СВ.

Для определения закона распределения вероятностей использовались следующие: двухпараметрическое распределение Вейбулла, распределения Рэля, логнормальное, нормальное

и экспоненциальное. Проверка гипотезы о соответствии эмпирических и теоретических распределений производится по критерию  $\chi^2$  – Пирсона и  $\lambda$  – критерию Колмогорова [5-8].

На рисунках 1 и 2 представлены плотность вероятности и функции распределений технологических нарушений на ВЛ 500 кВ. Результаты расчетов показали, что наработка до возникновения технологического нарушения на ВЛ 500 кВ ОЭС СВ (рис.1) подчиняется экспоненциальному закону распределения (уровень значимости 0,615) на этапах приработки и нормальной эксплуатации; а на этапе деградации закону Вейбулла (уровень значимости 0,662) с функциями плотности:

$$f_{1,2}(t) = K_{1,2} \cdot 0,04976 \cdot e^{-0,04976t}, \quad 0 \leq t < 37, \text{ лет}$$

$$f_3(t) = K_3 \cdot 7,38 \cdot 10^{-20} \cdot t^{10,866} \cdot e^{-6,22 \cdot 10^{-21} \cdot t^{11,866}}, \quad 37 \leq t \leq 54, \text{ лет}$$

При этом уровни значимости других используемых законов составили от 0,21 до 0,37 и были исключены из рассмотрения.

Выводы:

1) вероятностно-статистическая модель не отражает детальные особенности строения и свойства ВЛ 500 кВ, но она достаточно точно указывает на её жизненный цикл (приработка, нормальная эксплуатация, деградация) и отображает эксплуатационное состояние ВЛ 500 кВ в любой момент времени;

2) вероятностно-статистическая модель ВЛ 500 кВ позволяет планировать сроки капитальных ремонтов отдельных элементов линий, снизить количество технологических нарушений и тем самым повысить устойчивость энергосистем;

3) создание и исследование вероятностно-статистических моделей электроустановок является необходимым мероприятием в условиях постоянного старения основных фондов электросетей.

#### Список используемой литературы:

1. Хренников А.Ю., Гольдштейн В.Г., Складчиков А.А. Анализ состояния воздушных линий электропередачи 6 – 500 кВ Самарского региона // Электрические станции. – 2010. – № 5. – С. 42–46.
2. Назарычев А.Н., Таджикибаев А.И. Модели расчета эксплуатационной надежности и управления техническим состоянием электрооборудования. – СПб.: ПЭИПК, 2002.
3. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. М.: Академия, 2003. – 576 с.
4. Жежеленко И.В., Кротков Е.А., Степанов В.П. Методы вероятностного моделирования в расчетах характеристик электрических нагрузок потребителей – 2. изд., перераб. и доп. – Самара: СамГТУ, 2001. - 193с.: ил.
5. Руденко Ю.Н., Ушаков И.А. Надежность систем энергетики. Иркутск: Наука. Сиб. отд-ние, 1989. – 323с.
6. Гук Ю.Б. Анализ надежности электроэнергетических установок. Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отделение, 1988. – 244 с.: ил.
7. Папков Б.В., Куликов А.Л. Основы теории систем для электроэнергетиков. Н.Новгород: ВВАГС, 2011. - 456 с.
8. Острейковский В.А. Теория надежности. – М.: Высшая школа, 2003. – 462 с.

УДК 621.315

#### Вероятностное моделирование эксплуатационной готовности воздушных линий электропередачи 500 кВ на основе Марковских процессов

*Складчиков А.А.*

*филиал ОАО «ФСК ЕЭС» - Самарское ПМЭС, г. Самара, Россия*

*E-mail: skladchikov-aa@mail.ru*

Статья посвящена вопросу применения Марковских случайных процессов для моделирования уровней эксплуатационной готовности воздушных линий электропередачи 500 кВ в целях прогнозирования объема транспорта электроэнергии по ВЛ 500 кВ за год, расчёте годовых потерь электроэнергии на ВЛ 500 кВ и использовании при долгосрочном планировании электрических режимов электроэнергетических систем, как в целом, так и в отдельности по сечениям энергосистем.

Эксплуатационная готовность оценивается как вероятность того, что воздушная линия электропередачи (ВЛ) 500 кВ при определенных условиях будет в полном объеме выполнять свои задачи, в т.ч. работать в полнофазном режиме. Эксплуатационную готовность характеризуют

несколько свойств, составляющих надежность ВЛ: безотказность, долговечность, ремонтпригодность. Эксплуатационную готовность предлагается выражать количественно на основании следующих комплексных показателей оценки надежности [1].

Коэффициент технического использования  $K_{ТИ}$ , характеризует долю времени нахождения ВЛ в работоспособном состоянии относительно рассматриваемой продолжительности эксплуатации и учитывает затраты времени на все виды простоя ВЛ в процессе эксплуатации после технологических нарушений и в результате плановых отключений:

$$K_{ТИ} = \frac{T_0}{T_0 + T_B + T_P} \approx 1 - \omega T_B - \varphi T_P, \quad (1)$$

где  $T_0$  – среднее время нахождения ВЛ в работе (время эксплуатационной готовности);  $T_B$  – среднее время восстановления ВЛ;  $T_P$  – средняя продолжительность преднамеренного отключения ВЛ;  $\omega$  – параметр потока отказов ВЛ;  $\varphi$  – средняя периодичность преднамеренных отключений ВЛ.

Коэффициент технической готовности  $K_{ТГ}$  – это вероятность того, что ВЛ окажется работоспособной в произвольный момент времени, исключая время простоя при преднамеренных отключениях:

$$K_{ТГ} = \frac{T_0}{T_0 + T_B} \approx 1 - \omega T_B. \quad (2)$$

Аналогично определяется коэффициент простоя ВЛ вследствие технологических нарушений:

$$K_{ПТН} = \frac{T_B}{T_0 + T_B} \approx \omega T_B, \quad (3)$$

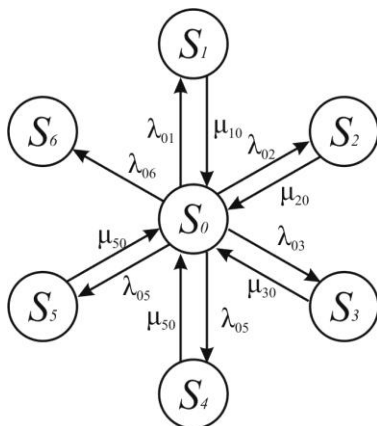
и коэффициент простоя ВЛ при плановых отключениях:

$$K_{ПП} = \frac{T_P}{T_0 + T_P} \approx \varphi T_P. \quad (4)$$

Для моделирования комплексных показателей оценки надежности ВЛ использован аппарат Марковских дискретных случайных процессов с непрерывным временем [2]. ВЛ представлена как некоторая система  $S$  с дискретными состояниями  $S_0, S_1, \dots, S_i, \dots, S_n$ , которая переходит из одного состояния в другое состояние под действием внешних эксплуатационных физических воздействий. Под состоянием понимается электрический режим работы ВЛ, а под переходом – переходный процесс, воздействующий на ВЛ, в т.ч. и при производстве оперативных переключений.

На стадии составления планов технического обслуживания и ремонтов (ТОиР) ВЛ 500 кВ целесообразно рассматривать следующие состояния, в которых ВЛ может находиться в процессе эксплуатации [3]:  $S_0$  – ВЛ исправна, в работе, транзит замкнут;  $S_1$  – ВЛ в преднамеренном ремонте (плановое и неотложное ТОиР);  $S_2$  – автоматическое отключение ВЛ с успешным ОАПВ или ТАПВ (67% от всех технологических нарушений);  $S_3$  – ВЛ в аварийном ремонте после автоматического отключения с неуспешным ОАПВ или ТАПВ и/или РПВ (33% от всех технологических нарушений);  $S_4$  – ВЛ в резерве, к примеру при отключении по режиму одной из двух ВЛ транзита;  $S_5$  – ВЛ в ремонте и находится под наведенным напряжением более 25 В, в сторону ВЛ на энергообъектах не заземлена (на 12-ти ВЛ 500 кВ в Объединенной энергосистеме Средней Волги (ОЭС СВ) имеют место такие режимы);  $S_6$  – ВЛ переведена в консервацию.

Также в расчетах возможно учитывать следующие режимы ВЛ: несимметричный режим (при пофазном ремонте) и разомкнутый транзит (под напряжением с энергообъекта №1 или



энергообъекта №2); но для ОЭС СВ такие режимы либо очень редко встречаются, либо вовсе не характерны, поэтому ими пренебрегаем. Также для ВЛ 6-35 кВ, работающих в сетях с изолированной нейтралью, можно учитывать режимы с однофазными замыканиями на землю.

Рис. 1. Граф состояний и переходов ВЛ.

Для наглядного анализа процесса эксплуатации ВЛ как случайного процесса построен граф состояний и переходов ВЛ (рис. 1).

Рассматриваемые состояния ВЛ  $S_i$  характеризуются средним числом дней  $D_i$  пребывания ВЛ за год в каждом из состояний и, следовательно, определенной вероятностью.

Тогда вероятность нахождения ВЛ  $P_i$  в  $i$ -том состоянии можно определить как отношение  $D_i/D$ , где  $D$  – число дней в году (365 дней).

Для определения вероятностей  $P_0, P_1, \dots, P_i, \dots, P_n$  как функции времени  $t$  в случае непрерывных Марковских цепей составлена система уравнений (дифференциальных уравнений А.Н. Колмогорова):

$$\begin{cases} \frac{dP_0(t)}{dt} = -\sum_{i=1}^n \lambda_{0i} P_0(t) + \sum_{i=1}^{n-1} \mu_{i0} P_i(t); \\ \frac{dP_i(t)}{dt} = \lambda_{0i} P_0(t) - \mu_{i0} P_i(t), \quad i = 1, n-1; \\ \frac{dP_n(t)}{dt} = \lambda_{0n} P_0(t), \end{cases} \quad (5)$$

где  $P_i(t)$  – вероятность нахождения ВЛ в  $i$ -том состоянии;  $\lambda_{0i}$  – интенсивность перехода ВЛ из нулевого в  $i$ -тое состояние;  $\mu_{i0}$  – интенсивность перехода ВЛ из  $i$ -того в нулевое состояние,  $n = 6$ .

Вероятность нахождения ВЛ в состоянии «исправна, в работе, транзит замкнут»  $P_0(t)$  представляет собой коэффициент технического использования  $K_{ТИ}$ , а сумма вероятностей  $P_0(t) + P_4(t)$  – коэффициент технической готовности  $K_{ТГ}$ .

Согласно расчётам, проведённым на основе статистических данных эксплуатации ВЛ, все потоки, переводящие ВЛ из состояния в состояние, являются пуассоновскими и независимыми или сводятся к ним путём рассмотрения процесса эксплуатации на малых интервалах времени и корректировки исходного потока отказов для исключения последействия. Таким образом, процесс, протекающий в системе, является Марковским (процесс без последействия) [4].

По результатам анализа данных эксплуатации ВЛ 500 кВ в ОЭС СВ за 15 лет (1996 – 2011 гг.) определены средние интенсивности перехода (с исчислением времени в сутках):

$\lambda_{01} = 1/182,5 = 0,00548$  (вывод в ремонт ВЛ 2 раза в 365 суток),

$\lambda_{02} = 0,0001383$  (значение определено на основании вычисления параметра экспоненциального закона при отключении ВЛ 500 кВ с успешным ОАПВ или ТАПВ),

$\lambda_{03} = 0,0001326$  (значение определено на основании вычисления параметра экспоненциального закона при отключении ВЛ 500 кВ с неуспешным ОАПВ или ТАПВ),

$\lambda_{04} = 1/91,25 = 0,010959$  (имеется в виду, что в сети имеются 2 транзитные линии – одна из которых выводится в ремонт, а другая в резерв для исключения повреждения изоляции измерительных трансформаторов напряжения, установленных на вводе ВЛ в распределительное устройство и так в течении календарного года каждая выводится 2 раза в ремонт и 2 раза в резерв),

$\lambda_{05} = 1/182,5 = 0,00548$  (вывод ВЛ под наведенным напряжением 2 раза в 365 суток),

$\lambda_{06} = 1/21900 = 0,0000457$  (вывод ВЛ 500 кВ в консервацию по истечению срока службы – 60-ти лет);

$\mu_{10} = 1/7 = 0,14286$  (пребывание ВЛ 500 кВ в состоянии  $S_1$  – 7 суток),

$\mu_{20} = 0$  (допускаем, что включение ВЛ 500 кВ с успешным ОАПВ или ТАПВ происходит мгновенно, пренебрегаем временем срабатывания РЗА и выключателей, в среднем 5 секунд),

$\mu_{30} = 2,82353$  (значение определено на основании анализа среднего времени аварийно-восстановительных работ на ВЛ 500 кВ согласно актов расследования технологических нарушений, которое составляет 8 часов 29 минут),

$\mu_{40} = \mu_{50} = 0,14286$  (пребывание ВЛ 500 кВ в состоянии  $S_4$  и  $S_5$  – 7 суток).

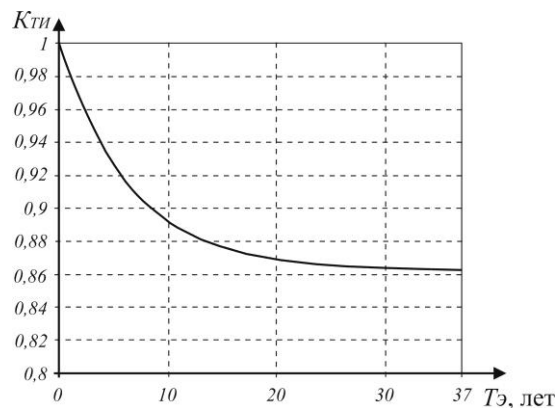


Рис. 2. График временной зависимости коэффициента технического использования  $K_{ТИ}$ .

Решение полученной системы дифференциальных уравнений осуществлено в системе *MathCad* с помощью функции, реализующей метод Рунге-Кутты четвертого порядка с фиксированным шагом интегрирования равным одному году. Таким образом, определены значения коэффициентов  $K_{ТИ}$  и  $K_{ТГ}$  на каждый год. График временной зависимости  $K_{ТИ}$  представлен на рис. 2.

На конец рассматриваемого периода (37 год) получены следующие результаты:  $K_{ТИ} = 0,862$  и  $K_{ТГ} = 0,9767$ . Подставив полученные значения коэффициентов  $K_{ТИ}$  и  $K_{ТГ}$  в выражения (1) и (2) и учитывая, что рассматривался временной промежуток в один год, то есть  $T_0 + T_B + T_P = 365$  дней, определим для ВЛ 500 кВ  $T_0 \approx 315$  дней,  $T_B \approx 7$  дней,  $T_P \approx 43$  дня (при условии вывода ВЛ в ремонт 2 раза в год). Аналогично вычисляются коэффициенты простоя ВЛ вследствие технологических нарушений и при плановых отключениях.

#### Выводы:

1. Описаны режимы работы ВЛ 500 кВ без отпаек, взятые за основу для моделирования с использованием аппарата Марковских дискретных случайных процессов с непрерывным временем.

2. Смоделированы режимы работы ВЛ 500 кВ в ОЭС СВ на основе графа состояний и переходов с использованием Марковских случайных процессов.

3. Определены комплексные показатели оценки надежности ВЛ 500 кВ, позволяющие спрогнозировать объем транспорта электроэнергии по ВЛ за год, произвести расчёт годовых потерь электроэнергии на ВЛ, а также задавать эксплуатационную готовность ВЛ при долгосрочном планировании электрических режимов электроэнергетических систем, как в целом, так и в отдельности по сечениям энергосистем.

#### **Список используемой литературы:**

1. Барг И.Г., Эдельман В.И. Воздушные линии электропередачи: вопросы эксплуатации и надежности. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 248с.: ил.
2. Острейковский В.А. Теория надежности. – М.: Высшая школа, 2003. – 462 с.
3. Складчиков А.А. Моделирование уровней эксплуатационной готовности воздушных линий электропередач с использованием Марковских случайных процессов. Энергетика: эффективность, надежность, безопасность: материалы XVII Всероссийской научно-технической конференции / ТПУ. – Томск: Изд-во “СПБ ГРАФИКС”, 2011. – 420 с.– С. 70 – 72.
4. Кельберт М.Я., Сухов Ю.М. Вероятность и статистика в примерах и задачах. Том 2: Марковские цепи как отправная точка теории случайных процессов и их приложения. М.: МЦНМО, 2009. – 588 с.: ил.

УДК 621.315

### **Система управления рисками технологических нарушений на воздушных линиях электропередачи**

*Складчиков А.А.*

*Филиал ОАО «ФСК ЕЭС» - Самарское ПМЭС, г. Самара, Россия*

*e-mail: skladchikov-aa@mail.ru*

Разработана система управления рисками технологических нарушений на воздушных линиях электропередачи, основанная на уменьшении срока межремонтного периода между капитальными ремонтами на этапе деградации.

Система управления рисками технологических нарушений (рис. 1) на воздушных линиях электропередачи (ВЛ) является базисом для реализации технической политики электросетевых организаций. *Риск технологических нарушений на ВЛ (R)* – это мера ожидаемого ущерба при вероятном возникновении технологических нарушений в нормальной работе действующих ВЛ, спровоцированных негативными факторами:

$$R_{ВЛ} = 1 - P_{атм.} - P_{пост.} - P_{ФФ} - P_{эспл.}, \quad (1)$$

Идентификация рисков технологических нарушений на ВЛ решает важную задачу электрических режимов энергосистем - выявление «узких мест». На основании проведенного анализа технологических нарушений на ВЛ в Объединенной энергосистеме Средней Волги (ОЭС СВ) идентифицированы, проанализированы и сгруппированы следующие факторы негативных воздействий [1]:

1. атмосферные воздействия (грозовые явления, ветер, снегопад, дождь; стихийные явления, характеризующиеся сочетанием вышеуказанных – ураган, буран, наводнения и др.) – индекс риска  $P_{атм.}$ ;



2. воздействия третьих лиц (перекрытие проводов крупногабаритными механизмами и машинами, наезд на опоры, расстрел изоляторов, набросы и т.п.) – индекс риска  $P_{\text{пост}}$ ;

3. воздействия флоры и фауны (перекрытие птицами и животными, перекрытие на ДКР) – индекс риска  $P_{\text{Фф}}$ ;

4. воздействия, связанные с эксплуатацией ВЛ (дефекты проектирования, конструкции и изготовления, монтажа и строительства, ремонтных работ; срок эксплуатации превышает нормативный, износ элементов ВЛ) – индекс риска  $P_{\text{экспл}}$ .



Оценка групп негативных факторов позволяет выработать комплекс технических и организационных мер для снижения рисков технологических нарушений на ВЛ.

Рис. 1. Пирамида системы управления рисками технологических нарушений на ВЛ.

Синтез этих решений сводится к четырем направлениям:

1. Реализация долгосрочных инвестиционных программ по строительству новых ВЛ целиком или отдельных участков ВЛ взамен действующих.

2. Внедрение новых инновационных разработок и технологий на действующих ВЛ (в т.ч. *Smart Grid*) – модернизация действующих ВЛ: установка многогранных опор, изоляторов-разрядников мультикамерных, подвесных ОПН, высокотемпературных конструкций провода, интеллектуальных систем плавки гололеда и т.п.

3. Выполнение плано-предупредительной системы технического обслуживания и ремонта (ТОиР).

4. Комбинированный. Предлагается при выполнении плано-предупредительной системы ТОиР уменьшать срок межремонтных периодов между капитальными ремонтами (КР) на этапе деградации. Межремонтный период ( $T_{MP}$ ) на этапе деградации (от 37 до 60 лет) можно определить по следующему выражению:

$$T_{MP} = T_{KPN\Omega} - \arg \omega(t) = 12 - 6,2 = 5,8 \approx 6 \text{ лет}, \quad \text{при } \omega(t) = \omega_{\min} \quad (2)$$

где  $T_{KR}$  – нормативный срок проведения капитальных ремонтов на ВЛ, составляющий 12 лет [2];  $\arg \omega(t)$  – аргумент функции параметра потока отказов ВЛ;  $\omega_{\min}$  – наименьшее значение параметра потока отказов на 100 км длины ВЛ.

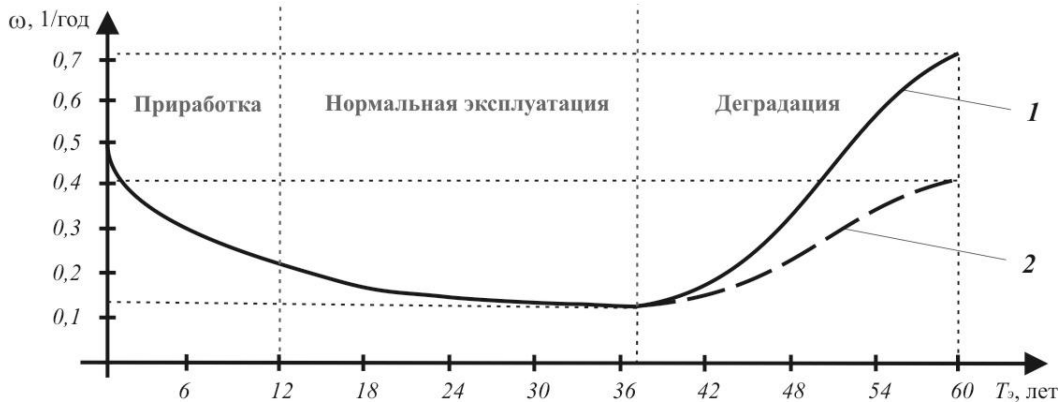


Рис. 2. Функция параметра потока отказов ВЛ 500 кВ ОЭС СВ:

1 - при проведении КР 1 раз в 12 лет; 2 - при проведении КР 1 раз в 6 лет.

Корректировка времени межремонтного периода производится на основе вычисления минимального значения параметра потока отказов на этапе деградации [3]. Установлено, что на ВЛ 500 кВ в ОЭС СВ при сроке службы ВЛ 37 лет функцию параметра потока отказов  $\omega(t)$  стремится к минимальному значению равному 0,13. При этом  $TMP = 6$  годам.

Экономическая эффект от реализации системы управления рисками технологических нарушений на ВЛ на практике выражается отношением:

$$Z_R \leq Y_{TH}, \quad (3)$$

где  $Z_R$  – затраты на реализацию системы управления рисками технологических нарушений на ВЛ,  $Y_{TH}$  – стоимость ущерба технологического нарушения на ВЛ.

На основании смет стоимости капитальных ремонтов и методики расчета ущербов от технологических нарушений, в соответствии с (3) определен экономический эффект данного мероприятия на каждые 100 км. ВЛ 500 кВ за один интервал межремонтного периода 751820 рублей < 1000800 рублей.

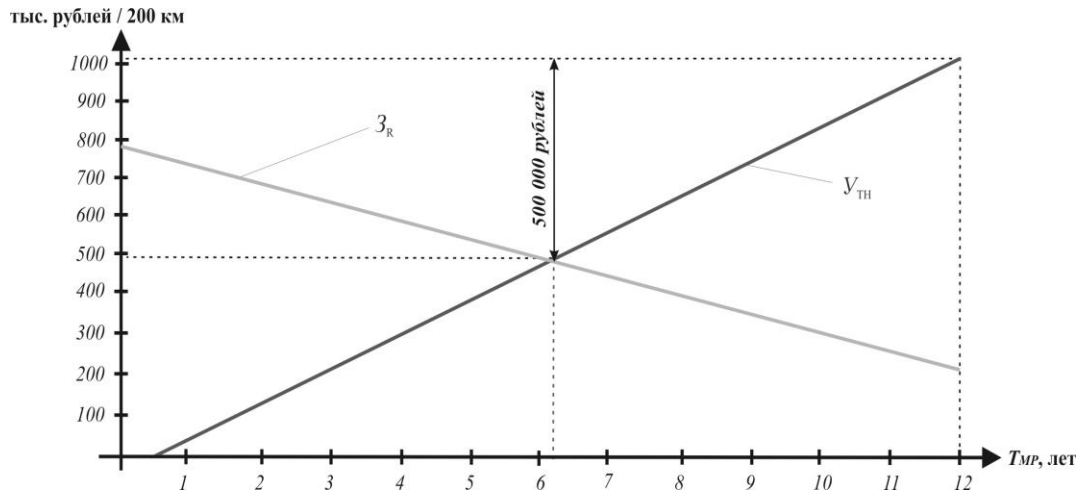


Рис. 3. Характер изменения затрат на реализацию системы управления рисками технологических нарушений на ВЛ и стоимости ущерба от технологического нарушения на ВЛ.

Исходя из результатов на рис. 3. экономический эффект от выполнения капитальных ремонтов 1 раз в 6 лет (вместо 1 раз в 12 лет) на этапе деградации составит до 250 000 рублей на каждые 100 км. ВЛ 500 кВ за один интервал межремонтного периода.

В целях компенсации затрат на реализацию системы управления рисками технологических нарушений на ВЛ предлагается производить страхование рисков технологических нарушений на ВЛ от второй и четвертой группы факторов негативных воздействий.

Реализация выработанных решений, позволяющих повысить надежность ВЛ, является конечной целью системы управления рисками технологических нарушений на ВЛ.

#### Выводы:

1. Определены методологические основы системы управления рисками технологических нарушений на ВЛ: идентификация, анализ, классификация и оценка. Определены индексы для негативных факторов воздействий.

2. Выработаны мероприятия по снижению рисков технологических нарушений на ВЛ путём снижения межремонтного периода между капитальными ремонтами с 12 до 6 лет на этапе деградации и определен экономический эффект данного мероприятия до 250000 рублей на каждые 100 км. ВЛ 500 кВ за один интервал межремонтного периода.

3. Разработанная система управления рисками технологических нарушений на ВЛ позволяет снизить число технологических нарушений на ВЛ, прогнозировать стоимость ущерба от них, определить затраты на реализацию системы управления рисками и минимизировать для предприятий электросетей финансовый ущерб от возникновения технологических нарушений на ВЛ, используя страхование рисков.

#### **Список используемой литературы:**

1. Складчиков А.А. Классификация и анализ технических рисков при эксплуатации воздушных линий электропередач. Энергетика: эффективность, надежность, безопасность: материалы XVII Всероссийской научно-технической конференции / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во “СПБ ГРАФИКС”, 2011. – 420 с.– С. 72 – 73.
2. РД 34.20.504-94. Типовая инструкция по эксплуатации воздушных линий электропередачи напряжением 35 – 800 кВ. – М.: СПО ОРГРЭС, 1996.
3. Новоселов А.А. Математическое моделирование финансовых рисков. – Новосибирск: ИВМ СО РАН, 2001 – 99с.

УДК 621.311

**Технологии и методы реализации математического моделирования энергосистем***А.А. Суворов**Томский политехнический университет, г. Томск, Россия**E-mail: lejkasvr@yandex.ru*

Математическое моделирование энергосистем - это исследование на соответствующих математических моделях процессов, протекающих в электроэнергетической системе. Целью статьи является рассмотрение методов математического моделирования ЭЭС и выбор наиболее перспективного из них.

Моделирование можно разделить на четыре основных метода: физическое, аналоговое, цифровое и гибридное [1].

1. Физическое моделирование характеризуется, прежде всего, тем, что исследования проводятся на установках, обладающих физическим подобием, то есть сохраняющих полностью или хотя бы в основном природу явлений. В частности при физическом моделировании используются модели энергосистемы, изображающие в уменьшенном по мощности и напряжению масштабе реальную энергосистему с её регулирующими, защитными и другими устройствами. Таким образом, если осуществлено полное или неполное физическое моделирование и соответственно подобие, то по характеристикам модели можно получить все характеристики оригинала пересчетом через масштабные коэффициенты. Вследствие этого, главным недостатком физического моделирования является необходимость создания модели подобной оригиналу, что в электроэнергетической области весьма затруднительно из-за сложности происходящих процессов и внушительных габаритов используемого оборудования [2].

Прежде чем перейти к рассмотрению аналогового и цифрового метода моделирования, следует сказать, что они имеют схожие технологии реализации, в частности моделирование основывается на изоморфизме уравнений, то есть их способности описывать различные по своей природе явления и выявлять различные функциональные связи, используя изоморфизм уравнений (способность описывать отдельные стороны поведения систем без полного описания всего поведения) [3].

2. Аналоговое моделирование использует прямую, непосредственную аналогию между величинами, присущими одному явлению, и формально такими же и также входящими в уравнения процессов величинами, присущими другому явлению. Например, изменения электрического тока в цепи, содержащей емкость и индуктивность,— простейший пример аналоговой модели. Итак, при аналоговом моделировании воспроизводится не весь процесс в целом, а отдельные математические операции, которые выполняют элементы модели. Проведение таких операций в определенной последовательности, достигаемой соответствующим соединением отдельных аналоговых элементов структурной схемы, позволяет получить математическую структурную модель, составленную из отдельных вычислительных элементов непрерывного типа.

3. Цифровое моделирование основывается на элементах, производящих математические операции дискретно. Следует сказать, что цифровые модели могут иметь своей базой обычные ПК общего назначения. Отметим, что цифровые модели могут быть специализированными, предназначенными для решения некоторых конкретных задач. Тем не менее, для создания модели больших ЭЭС в реальном времени методом цифрового моделирования необходима многопроцессорная супер-ЭВМ, имеющая высокую стоимость и большое энергопотребление, использование таких ПЭВМ вряд ли может быть целесообразным на производстве.

4. Гибридное моделирование является сочетанием моделей упомянутых выше и выполненных в виде соединения непрерывных элементов: аналоговой модели и специализированных цифровых машин. В такой комбинации используются положительные специфические свойства аналоговых моделей (наглядность, простота набора схемы, быстроедействие) и цифровых машин (точность, хранение в памяти нужных данных, результатов анализа и т. д.). В свою очередь, гибридные модели выполняются и выпускаются фирмами в различных исполнениях. К тому же они широко применяются в различных отраслях науки и техники [4].

Все сказанное позволяет сделать вывод, о том, что для полного, достоверного и оперативного математического моделирования электроэнергетической системы (ЭЭС) необходимо использовать ее всережимную математическую модель, адекватно воспроизводящую

весь действительный непрерывный спектр процессов в оборудовании при всевозможных нормальных и аварийных режимах.

Сообразно с этим, по нашему мнению наиболее перспективным путём решения проблемы моделирования является подход, исходящий из создания, объединения средств, образующих гибридное моделирование. Таким образом, с помощью объединения эффективных аспектов цифрового и аналогового моделирования, возможно создать адекватную и оперативную модель ЭЭС.

**Список используемой литературы:**

1. Веников В.А. Теория подобия и моделирование применительно к задачам электроэнергетики.–М.: Высш. шк., 1966.–487с.
2. Щедрин Н.Н. Упрощение электрических систем при моделировании.–М. –Л.: Энергия, 1966.–156с.
3. Азарьев Д.И. Математическое моделирование электрических систем.–М.–Л.: Госэнергоиздат, 1962.–207с.
4. Веников Г.В., Строев В.А. Применение математических методов и средств вычислительной техники в проектировании и эксплуатации энергетических систем. –М. –Л.: Энергия, 1965.–280с.
5. УДК 621.316.925

**Серия контроллеров Woodward easYgen – решения для контроля и оптимизации генераторных установок**

*А.А. Суворов*

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

*E-mail: lejkasvr@yandex.ru*

Энергетическая система представляет собой сложную многозвенную техническую систему, предназначенную для производства, распределения и потребления электроэнергии. Процессы, происходящие в энергосистеме, отличаются быстротой, взаимосвязанностью, единством процессов производства, распределения и потребления электроэнергии. Управление ими без применения специальных технических средств, называемых средствами автоматического управления, в большинстве случаев оказывается невозможным. Управление энергосистемой при нарушении её нормальных режимов тесно связано с работой релейной защиты [1]. Основным современным направлением развития устройств релейной защиты является релейная защита на базе микропроцессорных устройств. Помимо основной функции — аварийного отключения энергетических систем, терминалы имеют дополнительные функции по сравнению с устройствами релейной защиты других типов, например электромеханическими реле, по регистрации аварийных ситуаций [2].

Одним из лидеров по производству устройств релейной защиты является американская фирма Woodward. Компания Woodward на протяжении многих лет является независимым производителем и поставщиком оборудования для энергетики США и ряда других стран, а также аэрокосмической промышленности США. Устройства защиты, выпускаемые фирмой Woodward, осуществляют контроль в системах защиты для каждого типа производства и распределение электроэнергии, от самых простейших до наиболее сложных систем. Одним из наиболее быстро развивающихся направлений компании являются производство контроллеров серии easYgen. Продукт easYgen – это пакет с набором функций для контроля и защиты генераторных установок, возможности которого позволяют использовать его для решения широкого спектра задач, связанных с генерацией электроэнергии, а именно от автономных аварийных генераторов до синхронного параллельного подключения до 32 генераторных установок. В тоже время контроллеры easYgen способствуют сокращению выбросов CO<sub>2</sub> благодаря объединению выработки тепла и электроэнергии на электростанциях, работающих на природном газе и биотопливе [3].

Прежде всего, устройство easYgen может выполнять полную защиту генератора и двигателя, а также мониторинг основного источника питания. Более подробный перечень защит приведен в таблице 1.

Таблица 1. Перечень защит easYgen

Защита генератора	защита от понижения/повышения напряжения/частоты защита от перегрузок, реверсивной/минимальной нагрузки максимальная токовая защита от замыканий между фазами защита от замыканий на землю защита по коэффициенту мощности обнаружение обратного чередования фаз
Защита двигателя	защита от повышения/понижения оборотов двигателя защита при потере возбуждения
Защита сети	защита от понижения/повышения напряжения/частоты обнаружение обратного чередования фаз

Дополнительно устройства серии easYgen обладают возможностью эксплуатации вместе с системой LS-5. LS-5 это компактное устройство контроля и защиты выключателя с функцией синхронизации и плавной нагрузкой, предназначено для использования с устройствами серии easYgen в сложных применениях с несколькими вводами и системами шин. Схема совместного применения LS-5 и easYgen изображена на рисунке 1.

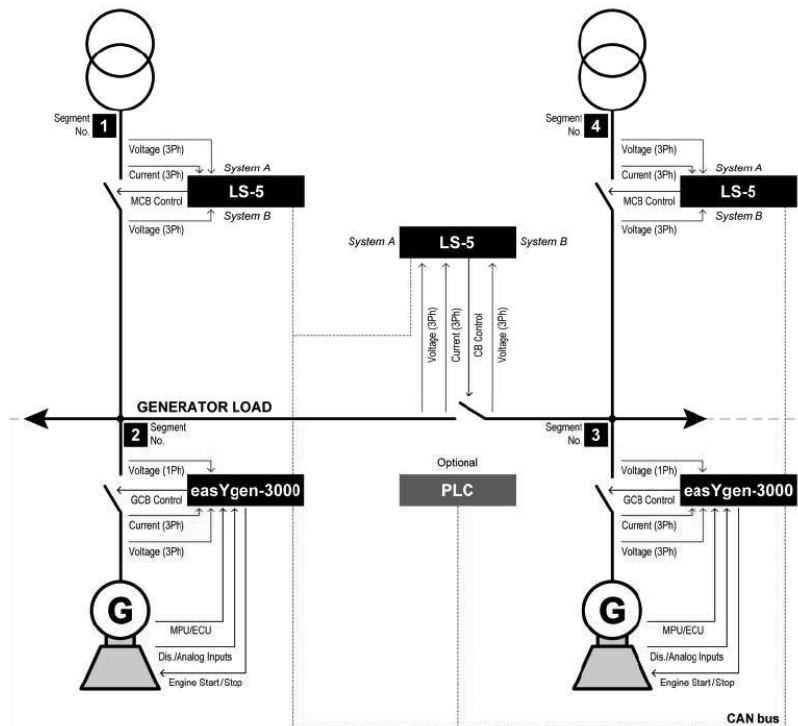


Рис. 1. Схема применения панели LS-5 совместно с easYgen

В заключение отметим, что контроллеры управления генераторными агрегатами серии easYgen отличаются гибкостью и набором функций, которые позволяют использовать их в широком спектре применений – от простых автономных аварийных генераторов до сложных многоагрегатных систем выработки электроэнергии с расширенными требованиями в отношении распределения энергии в зависимости от нагрузки. Кроме того, один блок easYgen совместно с системой защиты выключателей LS-5 может выполнять защиту до 32 генераторных установок различной мощности, что существенно упрощает установку большого количества блоков защиты для каждого агрегата и делает более легкой автоматизацию всего производства.

#### Список использованной литературы

1. Дьяков А.Ф., Овчаренко Н.И. Микропроцессорная релейная защита и автоматика электроэнергетических систем. Издательство МЭИ, 2000г. – 101с.
2. Белоусов И.В., Шварц Г.Р., Великий С.Н. Новые технологии и современное оборудование в электроэнергетике нефтегазовой промышленности. Издательство Недр, 2007г. – 297с.
3. EasYgen панели управления генераторными установками. Руководство – 114с.

УДК 621.316.925

**Анализ оборудования защиты и автоматики эксплуатируемых на объектах фирмы  
«Sakhalin Energy Investment Company Ltd.»***А.А. Суворов**Томский политехнический университет, г. Томск, Россия**E-mail: lejkasvr@yandex.ru*

При проектировании новых объектов возникает вопрос выбора аппаратов релейной защиты и автоматики. В настоящее время существует большой перечень компаний, которые занимаются разработкой и производством релейной защиты и выбор необходимой продукции зачастую оказывается довольно сложным. В данной статье рассмотрены защиты, эксплуатируемые на объектах компании «Sakhalin Energy Investment Company Ltd.». Компания ведёт разработку одного из крупнейших газовых месторождений в России, а именно на острове Сахалин. На объектах компании используется современные микропроцессорные устройства защиты и автоматики типа MiCOM производимые фирмой Alstom.

Объединенный береговой технологический комплекс (ОБТК) один из основных объектов компании. Основное назначение комплекса – первичная обработка газа и конденсата, а затем передача углеводородов на терминал отгрузки нефти и завод по производству СПГ. ОБТК является самообеспечивающимся объектом и включает все требуемые установки для обеспечения и эксплуатации комплекса, а также сопутствующую инфраструктуру. Электроснабжение на ОБТК является автономным (не связано с энергосистемой Сахалинской области). В качестве основных источников выработки электроэнергии 10 кВ применяются 4 газотурбинных генератора мощностью по 25 МВт каждый [1]. Все виды высоковольтных защит на ОБТК выполнены на микропроцессорных блоках релейной защиты MiCOM (P142, P241, P342 и др.), устанавливаемых в ячейках КРУ, с объединением в единую систему АСУ с использованием телемеханики. Благодаря этому управление потребителями осуществляется из центральной операторной, а при необходимости и непосредственно на месте установки выключателей. Устройства MiCOM имеют широкий набор функций защиты и могут быть подключены практически к любой системе АСУ станции или подстанции. Являются полностью цифровыми устройствами, все функции которых, как относящиеся, так и не относящиеся к защитным, реализованы программным способом. Рассмотрим терминалы, которые обеспечивают защиту основного электрооборудования.

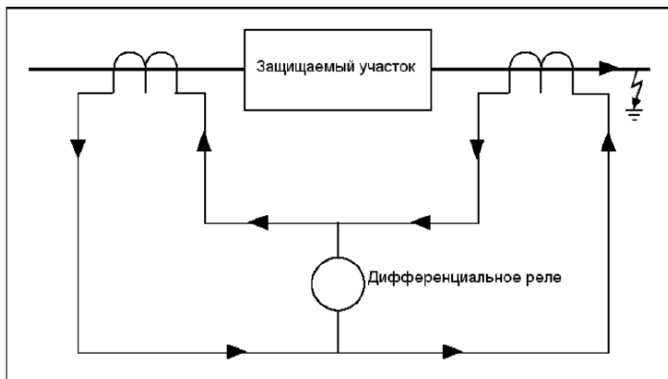
1. Надежная передача и надежное распределение электроэнергии зависят от целостности воздушных и кабельных линий электропередачи, которые соединяют различные участки энергосистемы между собой. В частности, в нефтегазовой отрасли обеспечение непрерывности энергоснабжения является наиболее приоритетной задачей. Терминал защиты и управления присоединением MiCOM P14x обеспечит защиту, управление и наблюдение за воздушными и кабельными линиями распределительных и передающих сетей.

Устройство MiCOM P14x обладает множеством защитных функций, например защита от повышения и понижения напряжения, частоты; защита регистрирующая скорость изменения частоты и напряжения, включена функция четырёхступенчатого АПВ. Таким образом, MiCOM P14x являются универсальными устройствами защиты различных видов фидера [2].

2. MiCOM P24x является комплексным решением по РЗА для синхронных и асинхронных двигателей. Терминал обладает внушительным перечнем защит, перечислим основные из них: защита от междуфазных КЗ и от КЗ на землю, контроль цепей трансформатора тока и напряжения, защита от потери нагрузки и понижения мощности, защита от тепловой перегрузки и дифференциальная защита. Таким образом, расширенные возможности MiCOM P24x обеспечивают полный спектр защит вращающихся машин, а благодаря широкому набору функций измерений и мониторинга способствуют повышению качества диагностики состояния системы и анализа повреждений. А также защитное покрытие устройства защиты MiCOM P24x рассчитано на самые суровые условия окружающей среды. Благодаря этому продлевается срок службы, обеспечивается надежная работа и технические характеристики оборудования. В особенности для промышленных предприятий, в частности в нефтегазовом секторе экономики, то есть там, где электроустановки могут подвергаться воздействию высокой концентрации агрессивных газов, таких как  $H_2S$ ,  $SO_2$  или солевому туману, покрытие обеспечит защиту и продление срока службы устройств при эксплуатации в условиях агрессивной окружающей среды.

Рассмотрим одну из важнейших защит, которая реализована в терминале защиты MiCOM - это дифференциальная защита. Дифференциальная токовая защита основывается на том принципе, что входящий в зону защиты и выходящий из нее токи равны. Любое отличие этих токов

указывает на наличие повреждения в зоне защиты. Если трансформаторы тока подключены как показано на рисунке 1, то видно, что ток, протекающий через зону защиты, вызовет ток во вторичной обмотке. Если ТТ имеют одинаковые коэффициенты трансформации и характеристики намагничивания, то и ток во вторичных обмотках будет одинаковым, и, следовательно, через реле будет протекать нулевой ток. При возникновении КЗ в зоне защиты, ограниченной местом



установки трансформаторов тока, возникает дифференциальный ток. Этот дифференциальный ток, протекающий в реле, вызывает его срабатывание.

Рис. 1. Принцип работы дифференциальной защиты

В тоже время, большое значение тока протекающего при внешнем замыкании может быть причиной насыщения одного

трансформатора тока больше чем другого. Это приведет к возникновению дифференциального тока между вторичными токами трансформаторами тока. В таких условиях важно обеспечить стабильность дифференциальной защиты. Для данной цели в терминалах защиты MiCOM P24x используется метод торможения - уставки реле повышаются при увеличении сквозного тока, то есть ток торможения увеличивает уставку дифференциального органа реле так, что дифференциальный ток будет недостаточным для срабатывания защиты. Характеристика срабатывания реле защиты MiCOM P24x изображена на рисунке 2 [3].

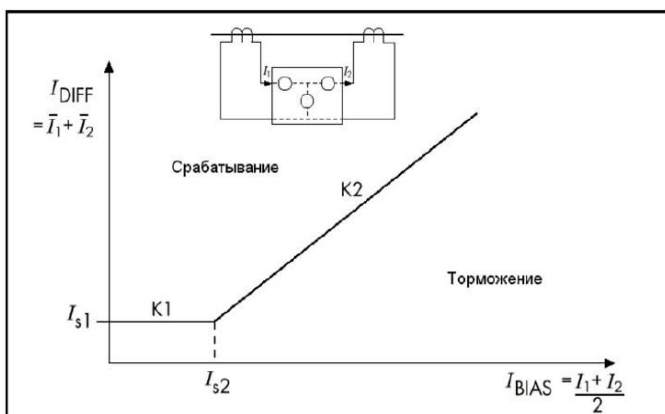


Рис. 2. Тормозная характеристика защиты MiCOM P24x

3. MiCOM P34x применяется для защиты генераторов, которые требуют высококачественную защиту при минимальных затратах. Терминал включает МТЗ, защиту от повышения/понижения напряжения и частоты, защиту по обратной/малой прямой или максимальной мощности, защиту при потере возбуждения,

защиту от разгона турбины, тепловую защиту и защиту от перевозбуждения, защиту от замыкания на землю, а также функцию контроля исправности цепей напряжения и тока. Таким образом, обширные функциональные возможности моделей терминалов защиты позволяют обеспечить полную защиту и управление для широкого диапазона применения, покрывающего большинство электроустановок, от небольших генераторов до сложных систем. Также в устройстве MiCOM P34x предусмотрены специфические виды защит, например защита от непреднамеренного включения в сеть остановленного генератора. Если случайно будет включен генераторный выключатель при неработающем (остановленном) генераторе, то это приведет к возникновению очень большого тока в обмотке статора. Для защиты от подобного включения предусмотрена максимальная токовая защита с контролем по напряжению. Когда напряжение синхронной машины низкое, это означает, что машина не запущена и данная защита работает без выдержки времени. Таймеры функции служат для обеспечения стабильности защиты при провалах напряжения, которые могут быть вызваны замыканиями в сети или при выполнении операций по переключениям электрической машины [4].

После проведенного анализа устройств защиты MiCOM Alstom можно сделать вывод, что терминалы сочетают в себе гибкую и надежную защиту, управление, измерение и мониторинг состояния. Следовательно, аппараты защиты MiCOM являются универсальными устройствами защиты различных видов электроустановок, в терминалах собрано большое количество различных

защит, что позволяет устанавливать только данный вид оборудования, тем самым снижая затраты на установку и эксплуатацию.

#### Список использованной литературы

1. Руководство по эксплуатации ОБТК, том 13 «Выработка электроэнергии, распределение и пуск из обесточенного состояния»- Архивы проекта Сахалин II – 330с.
2. МИСОМ P141, P142, P143, P144, P145 – Техническое руководство – 120с.
3. Руководство по эксплуатации. Терминалы защиты и управления вращающимися машинами – 409с.
4. Руководство по эксплуатации. Защиты генераторов – 924с.

УДК 621.311

### Обзор возможностей технологии "Цифровая подстанция"

*Тенников Р.П*

*Казанский Государственный Энергетический Университет, г. Казань, Россия*

*E-mail: tennikv-rman91@mail.ru*

Цифровая подстанция состоит из интеллектуального первичного и вторичного оборудования, соединенного посредством протокола связи IEC61850.

Увеличение количества интеллектуальных устройств на подстанции, повышение пропускной способности каналов связи, необходимость упрощения и систематизации инжиниринга подстанций привели к разработке стандарта IEC 61850. Приход его на смену классическим стандартам АСУ, выполняющим задачи мониторинга, телесигнализации, телеуправления и сбора данных, повлиял не только на развитие систем АСУ ТП. Стандартом охвачены такие аспекты, как пусконаладка устройств, взаимосвязи устройств, самодиагностика, тестирование как отдельных устройств, так и целых комплексов.

В настоящее время внедрение стандарта зависит в первую очередь от экономической целесообразности его применения, однако даже при наиболее благоприятных условиях ближайшие перспективы использования стандарта не выходят за границы системы АСУ ТП. Это связано в первую очередь с ответственностью, которая лежит на устройствах РЗА, а также с технологическими сложностями, которые повлекло за собой применение стандарта. Потенциал же нового стандарта значительно шире функциональности, необходимой для АСУ

Цифровая подстанция обеспечивает эффективное использование информации о процессах на подстанции, повышение согласованности действия различных видов оборудования. Основной экономической целью создания цифровой подстанции является максимизация прибыли компании от осуществляемых ею бизнес процессов технологического управления и эксплуатационного обслуживания электрических сетей. Основную экономическую цель:

- - повышение качества выполнения основных технологических функций;
- - повышение надежности выполнения основных технологических функций;
- - снижение затрат на выполнение основных технологических функций.

Оборудование на цифровой подстанции подразделяется на: интеллектуальное первичное оборудование, электронные трансформаторы, интеллектуальный выключатель, онлайнный контроллер, сетевое вторичное оборудование, сеть MMS уровня для управления подстанцией, GOOSE, SMV.

Для сбора, передачи и обработки информации на цифровой подстанции используются цифровые сигналы. Цифровое кодирование позволяет: уменьшить количество проводов в сети связи, реализовать функции проверки и исправления ошибок, исключить появление дополнительных погрешностей.

Самым главным органом цифровой подстанции является шина процесса. Она представляет собой локальную вычислительную сеть, соединяющую первичное оборудование с интеллектуальными электронными устройствами (ИЭУ), выполняющими различные функции: релейной защиты, различного рода автоматики, технического (измерительные преобразователи) и коммерческого (счетчики) учета и т.д. При этом цифровой интерфейс может быть реализован либо в самом первичном оборудовании, либо при помощи различных комбинаций объединяющих устройств: измерительных объединяющих устройств; специализированных объединяющих устройств; полевых контроллеров ввода/вывода.

Информация, передаваемая по этой сети, – это выборки токов и напряжений в цифровом виде (*sampled values*, стандарт IEC 61850-9-2), и другая информация, в основном дискретная, в виде GOOSE-сообщений (стандарт IEC 61850-8-1).



Шина процесса и станционная шина могут быть организованы независимо друг от друга или объединяться в единую локальную вычислительную сеть. Современная аппаратная реализация устройств, подключаемых к шине процесса, диктует необходимость в организации выделенных сетей связи.

Основные «упрощения» IEC 61850-9-2LE включают в себя:

- фиксированную частоту выборок для аналоговых величин: 80 выборок на период для задач релейной защиты и учета, 256 выборок на период для задач контроля качества электроэнергии;
- передачу по шине процесса только выборок токов и напряжений, без дискретной информации (данное ограничение также приводит к необходимости организации выделенной сети связи для шины процесса);
- предопределенный набор передаваемых данных: 3 фазных тока и ток нейтрали, а также 3 фазных напряжения и напряжение нейтрали с описателями качества;
- оптический сигнал 1PPS для синхронизации времени.

Исключительно важным фактором при построении шины процесса является синхронизация времени с точностью до нескольких микросекунд. Стандарт, обеспечивающий требуемую точность, уже существует – IEEE 1588 / IEC 61588, и некоторые производители, в первую очередь коммуникационного оборудования, уже имеют в линейке продуктов устройства с поддержкой этого стандарта. В этом случае шина процесса будет использоваться не только для передачи аналоговой и дискретной информации, но и для синхронизации времени.

Однако на текущий момент в соответствии с IEC 61850-9-2LE для точной синхронизации принято использование секундного импульса 1PPS, совместно с которым применяется протокол SNTP. Первый метод обеспечивает точную (несколько микросекунд), а второй грубую (несколько миллисекунд) синхронизацию времени и даты часов устройств.

Использование сигнала 1PPS приводит к необходимости построения выделенной шины синхронизации времени устройств, взаимодействующих по шине процесса, но снижает нагрузку на шину процесса и упрощает требования к ИЭУ и оборудованию локальной вычислительной сети.

Преимуществами цифровой подстанции являются: минимальные инженерные расходы, сравнительно большой срок жизни системы автоматизации подстанций (что составляет примерно 15–20 лет), новая архитектура с дополнительным мониторингом посредством датчиков и автоматизации с использованием распределённой функциональности.

Применение новых технологий измерения, управления и передачи данных в пределах подстанции позволит коренным образом пересмотреть структуры и средства обеспечения надежности защиты силового оборудования, повышения эффективности и сокращения времени технического обслуживания всех вторичных систем, повышения качества.

УДК 621.32

#### Экономические показатели светодиодных источников света

***А.И. Войтенко, В.Д. Никитин\****

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

*\* НИ ТПУ, доцент каф. ЛуСТ, к.т.н., г. Томск, Россия*

***E-mail: derbes@sibmail.com***

На светотехническом рынке присутствует большое разнообразие светильников (СП). Основными характеристиками СП и источников света (ИС) являются КСС, мощность, световой поток, световая отдача, цветовая температура. Стоимость световой энергии (СЭ) [3] представляет объективный показатель экономичности ИС, учитывающий существенные параметры ИС: световую отдачу, тариф на электроэнергию, цену ИС, световой поток и срок службы. Расчет стоимости световой энергии (СЭ)  $G_{12}$  выполняется по формуле:

$$G_{12} = q \cdot \eta_v^{-1} + C_{ис} \cdot (\Phi \cdot \tau)^{-1}, \quad (1)$$

где  $q$  – тариф на электроэнергию [ $RUR/(kW \cdot h)$ ],  $\eta_v$  – световая отдача ИС [ $lm/W$ ],  $C_{ис}$  – стоимость ИС [ $RUR$ ],  $\Phi$  – поток ИС [ $klm$ ],  $\tau$  – срок службы ИС [ $h$ ] [1].

Представляет интерес сравнить  $G_{12}$  с генерируемой за срок службы СЭ, отнесенной к единице мощности:

$$v = 0,9 \cdot \Phi \cdot \tau \cdot P^{-1} [lm \cdot h/W] \text{ или } v = 0,9 \cdot \eta_v \cdot \tau [lm \cdot h/W], \quad (2)$$

где 0,9 – коэффициент, учитывающий спад светового потока во времени,  $\Phi$  – поток ИС [ $klm$ ],  $\tau$  – срок службы ИС [ $h$ ],  $P$  – мощность ИС [ $W$ ],  $\eta_v$  – световая отдача ИС [ $lm/W$ ].

Спорность количественной оценки деградационных процессов значением  $MF=0,9$  авторы признают.

В таблице 1 указаны характеристики светодиодных ИС и СП ООО «Тегас Электрик» (Россия, г.Краснодар) [2], и приведены расчетные данные СЭ и  $\nu$ . Зависимости (1) и (2) от  $\eta$ , сравниваются на рис.1.

Таблица 1. Расчет стоимости световой энергии  $G_{12}$  и показателя  $\nu$  для СД; и тонированы данные для альтернативных традиционных ИС

Фирменное обозначение светодиодов и световых приборов на их основе	Исходные данные : мощность, световой поток					$G_{12}, \text{RUR/USD} \cdot (\text{Mlm} \cdot \text{h})^{-1}$ , при $q$ , равном			Пок-ль $\nu, \text{Mlm} \cdot \text{h} / \text{W}$
	$P, \text{W}$	$\Phi, \text{klm}$	$\eta_{\nu}, \text{lm/W}$	$\tau, \text{th.h}$	$C_{\text{ис}}, \text{RUR}$	$2 \text{RUR} / \text{kW} \cdot \text{h}$	$3 \text{RUR} / \text{kW} \cdot \text{h}$	$\$0,16 / \text{kW} \cdot \text{h}$	
СД груш.Е27;D60;5Вт.	5	0,5	100	35	780	64,6	74,57	3,1	3,15
СД груш.Е27;D60;6,5Вт.	6,5	0,8	123	35	950	50,2	58,3	2,4	3,88
СД прямостор.Е14;D65	5	0,5	100	35	750	62,9	72,86	3	3,15
СД спот.Е14	4	0,3	75	35	530	77,1	90,5	3,8	2,36
СД трубч.Г13;D26;600	6,5	1	154	35	566	29,2	35,7	1,6	4,85
СД трубч.Г13;D26;600	6,5	0,8	123	35	566	36,5	44,6	1,8	3,88
СД трубч.Г13/А;D26.	13	0,6	123	35	1050	35	43,1	1,8	3,88
СД трубч.Г13/А;D26	13	2	154	35	1050	28	34,5	1,5	4,85
СД L-обр. G24/гор.	7	1	143	35	700	34	41	1,8	4,50
СД L-обр. Е40/гор.	50	4,5	90	35	4500	50,8	61,9	2,7	2,84
СП квадрат. 4*600.	26	4	154	35	4250	43,4	49,9	2,1	4,85
СП квадрат. 4*600.	26	4	154	35	5130	49,6	56,1	2,3	4,85
СП квадрат. 4*600.	26	4	154	35	4520	45,3	51,8	2,1	4,85
СП квадрат. 4*600.	26	4	154	35	5330	51,1	57,6	2,4	4,85
СП прямоуг. 2*1200.	26	4	154	35	4840	47,6	54,1	2,2	4,85
СП прямоуг. 2*600.	13	2	154	35	2760	52,4	58,9	2,4	4,85
СП прямоуг. 2*1200.	26	4	154	35	2760	52,4	58,9	2,4	4,85
СП прямоуг. 2*600	13	2	154	35	3120	57,6	64,1	2,6	4,85
СП прямоуг. 1*1200.	13	2	154	35	2400	47,3	53,8	2,2	4,85
СП прямоуг. 2*1200.	26	4	154	35	4500	45,1	51,6	2,1	4,85
СП прямоуг. 1*600.	6,5	1	154	35	1300	50,1	56,6	2,3	4,85
СП прямоуг. 2*600.	13	2	154	35	2300	45,9	52,4	2,1	4,85
СП круг.; D241/115.	7	0,7	100	35	1280	72,2	82,2	3,4	3,15
СП круг.; D241/115.	7	0,7	100	35	1180	68,2	78,2	3,2	3,15
СП L-обр.; 510/240/200.	100	9	90	35	5500	39,7	50,8	2,4	2,84
СП L-обр.; 630/275/112.	120	13	108	35	12000	44,8	54,1	2,4	3,41
СД модуль; 6,5Вт.	6,5	1	154	35	580	29,6	36,1	1,6	4,85
СД модуль; D54; 5Вт.	5	0,5	100	35	550	51,4	61,4	2,6	3,15
СД модуль; 140/95/2.	50	4,5	90	35	1820	33,8	44,9	2,2	2,84
ЛН	60	0,7	12	1	6,6	175,8	259,2	13,6	0,01
TL-D 36W/33-640 ;36W	36	2,5	69	12	51	30,5	44,9	2,4	0,75
ДНаТ-150 Е40	150	15	100	28	454	21,1	31,1	1,6	2,52
Компакт. ЛЛ спир. Е27.	85	5,1	60	15	449	39,2	55,9	2,9	0,81

Для анализа выбраны светодиодные ИС и СП, поскольку они стали широко использоваться в освещении и имеют существенные достоинства по сравнению с традиционными ИС:

экологическую безопасность, отсутствие вредных излучений\компонентов в светодиодах, высокую механическую прочность и виброустойчивость, широкий диапазон рабочих температур (от  $-60^{\circ}\text{C}$  до  $+40^{\circ}\text{C}$ ) [4], срок службы СД 30 000 - 50 000  $h$ .; высокую светоотдачу СД с резонансным источником питания – 140  $lm/W$  и более. Более подробно разные типы ИС по СЭ сравниваются в [5].

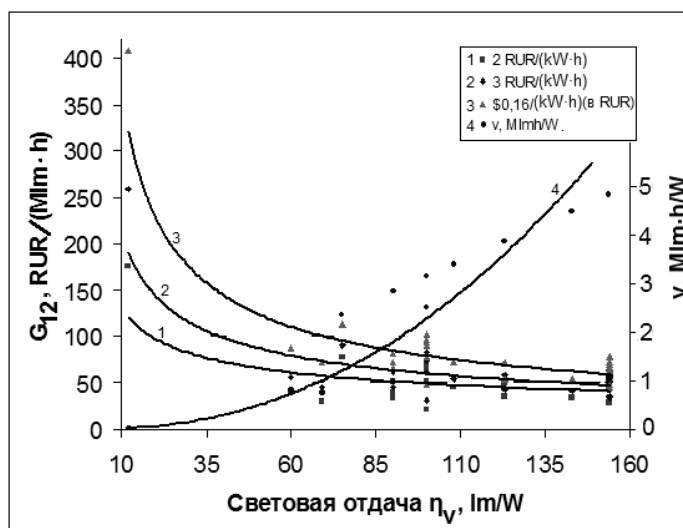


Рис. 1. Зависимость стоимости СЭ и  $v$  от  $\eta_v$  для СД

В таблице 1 приведены данные для ламп: накаливания ООО «ЭлСфера» (Россия, г. Москва) [6], линейной люминесцентной Philips [7], ДНаТ ООО «Рефлекс» (Россия, г. Москва) [8], компактной люминесцентной фирмы ООО «Тегас Электрик». Для сравнения в таблице 2 приведены данные по некоторым светодиодным ИС и СП на их основе других различных производителей.

Таблица 2. Расчет стоимости световой энергии  $G_{12}$  и показателя  $v$  для СД СП и СД ИС (фрагмент).

Фирменное обозначение* светодиодов и световых приборов на их основе	Основные параметры: мощность, световой поток, срок службы и др.					$G_{12}$ , RUR·(Mlm·h) <sup>-1</sup> , при $q$ , равном		Пока- затель
	$P$ , W	$\Phi$ , klm	$\eta_v$ , lm/W	$\tau$ , th.h.	$C_{ис}$ , RUR	2 RUR kW·h	3 RUR kW·h	
LL-Д-220-10 (LeaderLight)	6	0,95	158	8.7	590	83,5	89,8	1,25
EB103102205 (Vartan®)	4	0,4	100	26	490	66,6	76,6	2,37
EB103301203 (Vartan®)	3	0,25	83	26	350	77,3	89,3	1,97
AD103004 (Vartan®)	5	0,45	90	26	610	73,8	84,9	2,13
AD103003 (Vartan®)	9	0,75	83	26	925	70,9	82,9	1,97
AD103002 (Vartan®)	7	0,6	86	26	800	74,1	85,7	2,02
EB106102205 (Vartan®)	5	0,6	120	26	620	55,9	64,3	2,83
EB101001125 (Vartan®)	2,5	0,25	100	26	255	58,8	68,8	2,36
L-street 72XP-G/12636	135	12,6	93	44	23100	63,3	74,0	3,68
L-Street 96XP-G/16848/180	180	16,8	93	44	28900	60,7	71,4	3
L-Street 200XP-G/25272/270	270	25	93	44	40950	59,0	69,8	3,65
УСС-60 МАГИСТРАЛЬ	60	5,4	90	26	15900	134,3	145,4	2,13
УСС-90 МАГИСТРАЛЬ	90	8,1	90	26	18900	111,0	122,1	2,13
Novolight 41/110W	110	9,9	90	26	16500	85,6	96,8	2,13

\* LeaderLight [9]; Vartan® [10]; L-street [11]; МАГИСТРАЛЬ [12]; Novolight [13].

## Выводы

Проанализированы  $G_{12}$  и  $\nu$  для светодиодных ИС при  $q$ , равном 2  $RUR/kWh$ , 3  $RUR/kWh$  и  $\$0,16/kWh$ , даны обобщенные зависимости приведенных величин. Спад  $G_{12}$  с ростом  $\eta_\nu$  (гиперболическая зависимость) и линейный рост  $\nu = \nu(\eta_\nu)$  фактически говорят об одном и том же – прогрессе в светотехнике. Уравнение линии  $\nu$  на графике  $\nu=0,32 \cdot \eta_\nu$  (зависимость имеет место при условии, что время жизни ИС  $\tau=35$  тыс.ч.). Показатель  $\nu = \eta_\nu \cdot \tau$  проще, чем  $G_{12}$ , но не учитывает таких важных факторов, как тариф на ЭЭ и стоимость ИС, и может быть рекомендован для предварительной оценки ИС (отсеивания неконкурентоспособных вариантов).

## Список использованной литературы.

1. Матющенко А.А., Никитин В.Д. Сравнение экономических показателей источников света// Мат. докл. VI междунар. светотехн. конф. Калининград, 2006, с. 84-85.
2. ООО «Тегас Электрик», e-mail: [info@10ekolamp.ru](mailto:info@10ekolamp.ru).
3. Дорофеева Д.Ю. Трубач А.В., Никитин В.Д., Сравнение стоимости единицы световой энергии традиционных и полупроводниковых источников света. Материалы VIII Межрегиональной научно-практической конференции. 2007 г, с.193-196.
4. Кунгс А.Я., Паникаев Р.А., Цугленок Н.В., Светодиодное освещение технологических и жилых помещений агропромышленного комплекса. Красноярск: Издательство Крас. ГАУ - 144 с.
5. Voitenko A.I., Velichkina E.I., Economic aspects of utilization of light emitting diodes (in printed).
6. ООО «ЭлСфера», [www.elsfera.ru](http://www.elsfera.ru).
7. Philips, [www.philips.ru](http://www.philips.ru).
8. ООО «Рефлак», [www.reflux.ru](http://www.reflux.ru).
9. «LeaderLight», [www.leaderlight.sk](http://www.leaderlight.sk)
10. Группа компаний «ВАРТОН», [www.varton.ru](http://www.varton.ru)
11. «L-street», [www.ledel.ru](http://www.ledel.ru)
12. «МАГИСТРАЛЬ», [www.magistral.su](http://www.magistral.su)
13. «Novolight», [novo-light.ru](http://novo-light.ru)

УДК 621.316

## Оценка потерь энергии и сравнение стоимостных показателей медных и алюминиевых проводников

А.И. Войтенко, В.Д. Никитин\*, Д.С. Баранова

Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

\* НИ ТПУ, доцент каф. ЛиСТ, к.т.н., г. Томск, Россия

E-mail: [derbes@sibmail.com](mailto:derbes@sibmail.com)

Выполнено сравнение сечений и других показателей алюминиевых и медных проводников при расчете по длительно допустимому току. Приведена оценка: стоимостных показателей проводников ООО «Компания Энерго-Холдинг»[1], доли затрат в цене готового проводника. Рассчитано время, в течение которого разница в стоимости (джоулевых) потерь энергии в  $Al$ - и  $Cu$ -проводниках компенсирует разницу в цене проводников.

1. Сравнение сечения и веса цветных проводников при расчете по длительно допустимому току  $I_d$ 

Отношение сечений  $\alpha = S_{Al} \cdot S_{Cu}^{-1}$  и отношение веса  $\omega$  отрезков равной длины даны в табл. 1 (фрагментарно); подчеркнуты ситуации  $S_{Al} = S_{Cu}$ ;  $\alpha$ , близкие к теоретическому значению, даны жирным шрифтом, завышенные – в квадратных скобках; тонированы различия между сечениями в 2 степени.

Таблица 1. Отношение сечений  $\alpha = S_{Al} : S_{Cu}$  и веса металлов  $\omega$  при расчете по току нагрева

Интервал $I_d$ , А	23-24	24-30	30-32	32-39	39-41	41-50	50-60	60-75
Отношение $\alpha$	<u>1,0</u>	[1,6]	<u>1,0</u>	[1,5]	2,5	[1,67]	<u>1,0</u>	[1,6]
Отношение $\omega$	0,3	0,48	0,3	0,45	0,75	0,501	0,3	0,48
Интервал $I_d$ , А	75-80	80-100	100-105	105-135	135-140	140-165	165-170	170-210
Отношение $\alpha$	2,5	[1,56]	<u>1,0</u>	1,4	2,0	1,4	2,0	1,4
Отношение $\omega$	0,75	0,47	0,3	0,42	0,6	0,42	0,6	0,42
Для компенсации $\gamma_{Al} < \gamma_{Cu}$ достаточен рост $S_{Al}$ на 38% - без учета (на 46% - с учетом) зависимости $K \sim S^{0,22}$ .								

Несовершенство существующих табличных значений  $I_d$  проявляется в фактической «несовместимости» данных для  $Al$  и  $Cu$ .

По существу это свидетельствует (особенно в случаях  $\alpha=S_{Al}:S_{Cu}=1$  и  $\alpha=2,5$ ) о небрежности (или *errors*) составителей таблиц  $I_d=I_d(S)$ : эти нарушения противоречат факту  $(50:30,5)^{1/2}=1,3$  [2]. С позиции снижения веса металла алюминиевые проводники (при расчете по  $I_d$ ) предпочтительны.

## 2. Сравнение стоимостных показателей:

### биржевых на металлы/готовых кабельных изделий

2.1. Сейчас в России выпускается более 20 тыс. типоразмеров кабеля. Это огромный бизнес в сфере электротехники. Представляет интерес выяснить «справедливость» цен на проводниковую продукцию и обоснованность рекомендаций по выбору материала жил, используя стоимостные, физические и электротехнические данные для  $Cu$  и  $Al$ .

Средневзвешенное (стандартный контракт с поставкой через 3 месяца) значение цен на лондонской бирже металлов (*LME*) на момент подготовки статьи: *copper* ( $Cu$ ) - \$7520/*tn*, *aluminium* - \$2153/*m* [3]; официальная цена наличных металлов с немедленной оплатой и поставкой несколько выше.

Рассмотрим отношение цены медь/алюминий на бирже  $\theta_6$  для  $l=const$ :

$$\theta_6 = \frac{\text{Цена}_{Cu}}{\text{Цена}_{Al}} = \frac{LME_{Cu}}{LME_{Al}} \cdot \omega^{-1},$$

где  $LME_{Cu} \cdot LME_{Al}^{-1}$  - отношение цены LME меди/алюминия (табл. 2);  $\omega^{-1}$  - отношение удельных весов меди/алюминия.

Подставив данные, получим соотношение цен на металлы в изделии:

$$\theta_6 = \frac{\$7520/m}{\$2153/m} \cdot \frac{8,96}{2,7} = 11,6.$$

2.2. В табл. 2 приведены данные для четырех групп проводников из прайс-листа ООО «Компания Энерго-Холдинг». Для возможности сравнения брались строгие (с одинаковыми конструкциями, сечениями и числом жил) пары алюминиевых и медных проводников.

Таблица 2. Расчет отношения цен (в руб. за 1 м (с НДС))  $\theta_k Cu/Al$  [1]

Значение сечения, $n \times \text{мм}^2$	Провод сетевой установочный		Отношение $\theta_k$	Значение сечения, $\text{мм}^2$	Провод установочный		Отношение $\theta_k$
	ППВ	АППВ			ПВ-1	АПВ	
2×2,5	13,65	3,16	4,32	2,5	6,65	1,4	4,75
2×4	20,84	4,36	4,78	4	10,53	1,97	5,35
2×6	30,1	5,77	5,22	6	15,35	2,68	5,73
3×2,5	20,5	5,19	3,95	10	25,97	4,46	5,82
3×4	31,2	6,94	4,5	16	40,36	7,7	5,24
3×6	45,26	9,15	4,95	25	67,3	11,06	6,08
Значение сечения, $n \times \text{мм}^2$	Кабель силовой		Отношение $\theta_k$	Значение сечения, $n \times \text{мм}^2$	Кабель силовой		Отношение $\theta_k$
	ВВГ-п	АВВГ-п			ВВГ-кр	АВВГ-кр	
2×2,5	12,41	5,4	2,30	3×2,5	19,21	6,88	2,79
2×4	20,1	7,29	2,76	3×4	31,02	9,33	3,32
2×6	29,62	9,22	3,21	3×10	75,71	17,69	4,28
2×10	49,36	13,85	3,56	4×2,5	24,65	8,45	2,92
2×16	74,72	19,68	3,80	4×4	40,52	11,56	3,51
3×2,5	19,21	7,56	2,54	4×10	96,29	22,33	4,31
3×4	31,02	10,38	2,99	4×16	162,43	33,57	4,84
3×6	45,28	13,21	3,43	4×35	352,09	63,82	5,52
3×10	75,71	20,09	3,77	5×2,5	30,61	9,96	3,07

При сравнении данных  $\theta_k$  (табл. 2) и  $\theta_6$  по всем позициям получим:

$$\theta_k \text{ (табл. 2)} < LME_{Cu} \cdot (LME)_{Al}^{-1} \cdot \omega^{-1}.$$

Опираясь на отношение цен на  $Cu$  и  $Al$   $\theta_6$  и на данные табл. 2, можно определить, какую долю в цене готового изделия (если она «справедливая») составляют затраты (З) на операции волочения, полиэтилен (или другие изолирующие материалы), транспортные и др. услуги. Составляем уравнение:

$$\frac{\text{Цена}_{Cu} + З}{11,6^{-1} \text{Цена}_{Cu} + З} = \frac{1}{30} \sum_{i=1}^{30} \theta_i = 4,12 \text{ (среднее по табл. 2 отношение } \theta_k),$$

и, решая относительно значения З, получим, что затраты кабельного производства, а также на транспортировку и др., составляют (в среднем по тридцати позициям, представленным в табл. 2)  $З=0,207 C_{Cu}$ ; если в действительности они меньше, чем  $0,207 C_{Cu}$ , то производитель и товаропроводящая сеть, вероятно, имеют целью сверхдоходы от продажи  $Al$ ; если  $З>0,207 C_{Cu}$ , то можно предположить сверхдоходы от продажи медных проводников.

Следует, однако, отметить, что биржевые цены, используемые при сравнении, очень подвижны, и речь идет лишь о тенденции (но именно эта «подвижность» обеспечивает технический и экономический прогресс – в отличие от советской АКС с ее ценовой стабильностью).

### 3. Сравнение потерь энергии в проводниках

Интересно сопоставить стоимостные показатели  $Al$ - и  $Cu$ - проводников на единицу длины и стоимость джоулевых (на нагревание) потерь в сетях, решив уравнение:

$$\Delta C = C_{Cu} - C_{Al} = I^2 \cdot R \cdot t_B \cdot q,$$

где  $R \sim (\gamma \cdot s)^{-1}$ ,  $t_B$  – время выравнивания затрат,  $q$  – тариф на ЭЭ.

При этом необходимо учитывать регламентируемые (существующими нормами по  $I_d$ ) значения сечений (табл. 3). Стоимость проводников бралась по [3]. Поскольку тариф на ЭЭ в разных энергосистемах (и во времени) различен, расчеты выполнялись для  $q=var$ .

В табл. 3 приведены расчеты времени выравнивания  $t_B$  по данным табл. 2 по формуле:

$$t_B = \Delta C \cdot q^{-1} \cdot \{I^2 \cdot [(\gamma \cdot s)_{Al}^{-1} - (\gamma \cdot s)_{Cu}^{-1}]\}^{-1},$$

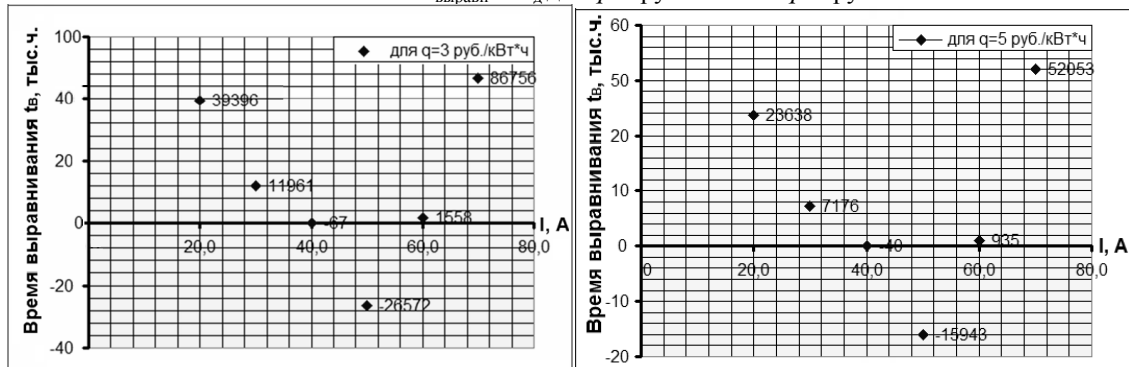
где  $\Delta C$  – разность цен на единицу длины  $Cu$  и  $Al$  [руб./м];  $I^2$  – ток [А];  $q$  – тариф на электроэнергию [руб./кВт·ч];  $s$  – сечение проводника [мм<sup>2</sup>],  $\gamma$  – удельная электропроводность проводника [МСм/м].

Таблица 3. Расчет времени выравнивания  $t_{\text{выравнив}}$  для  $Al$ - и  $Cu$ - проводников и разных значений тарифа на ЭЭ  $q=2\dots 5$  руб./кВт·ч

$I, A$		20		30		40		50		60		70	
$S_{Al}, \text{мм}^2$	$S_{Cu}, \text{мм}^2$	4	2,5	6	4	10	2,5	10	6	10*	10*	16	10
$C_{Al}, \text{руб./м}$	$C_{Cu}, \text{руб./м}$	4,4	13,7	5,8	20,8	17,7	19,2	4,5	15,4	4,5	26	33,6	96,3
Разность $\Delta C, \text{руб./м}$		9,3		15,1		1,5		10,9		21,5		62,7	
Время выравнивания $t_{\text{выравнив}}$ ч, при значении $q$ , руб./кВт·ч, равном	2	59094		17941		-101		-39857		2336		130133	
	3	39396		11961		-67		-26572		1558		86756	
	4	29547		8971		-50		-19929		1168		65067	
	5	23638		7176		-40		-15943		935		52053	

\* Так в действующих нормах

Рис. 1. Зависимость  $t_{\text{выравнив}}$  от  $I_d$  для  $q=3$  руб./кВт·ч и  $q=5$  руб./кВт·ч



Из расчетов времени выравнивания вытекает, что медные проводники выгоднее алюминиевых, если выполняются неравенства  $0 < t_B < t_{\text{экспл.}}$ , т.е. время эксплуатации (обычно 8 лет  $\cdot 4380$  ч/год = 35 тыс.ч.) превышает указанные в табл. 3 положительные значения  $t_B$  (бралось время эксплуатации уличных осветительных установок в год); в противном случае предпочтительны алюминиевые проводники.

Значения  $t_B < 0$  объясняются тем, что Al дешевле, меньше потери на нагрев (снижение электропроводности компенсируется квадратичной зависимостью от диаметра жилы).

#### Список используемой литературы

1. ООО «Компания Энерго-Холдинг», сайт: <http://www.energo-holding.com>.
2. Гречкина Т.В., Никитин В.Д. Расчетный практикум для проектирования осветительных установок: Учеб. пособие. – Томск: Изд-во ТПУ. – 2009. – 153 с.
3. <http://www.fedspending.org>.

УДК 621.311

#### Акронимический подход к электроэкспертизам

*О.А. Жуков*

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

*E-mail: helgyar@mail.ru*

Предложена идея нового акронимического подхода к электротехническим экспертизам, раскрыта его сущность, названы признаки, обстоятельства и критерии экспертной оценки с его использованием на примере электроснабжения объектов (потребителей). Сделан вывод о том, что с использованием акронимического подхода экспертиза обретает характер глубокого и всестороннего исследования применительно к любым объектам электроэнергетики.

##### 1. Введение

Цель исследования – обосновать предположение о том, что имеются необходимые предпосылки для того, чтобы акронимический подход, в силу своей универсальности и простоты применения, занял достойное место в методологии электроэнергетических экспертных исследований.

Для достижения поставленной цели автором предпринята попытка решить следующие задачи:

- расшифровать понятие «акроним<sup>\*</sup>» в контексте разработки акронимического подхода к экспертным/научным исследованиям.

- раскрыть сущность акронимического подхода;

- применить акронимический подход к экспертизе электроснабжения объектов.

Методологическую основу исследования составили диалектические законы научного познания, общенаучные методы системного анализа и синтеза, абстрагирования, обобщения и сравнения. (В качестве примечания заметим, что далее в тексте будет упоминаться термин «экспертные/научные исследования», объединяющий два отличающиеся друг от друга понятия: «экспертные исследования» и «научные исследования» Первые направлены на выявление изменений свойств объекта, вторые – на выявление закономерностей изменения этих свойств. Объединяет их то, что акронимический подход в равной мере применим и в экспертных, и в научных исследованиях).

##### 2. Сущность акронимического подхода.

Многие, наверно, помнят ещё со школьных лет такую фразу о числе «Пи»: «Это я знаю и помню прекрасно – их многие знаки мне лишни напрасно». Если посчитать количество букв в каждом слове, то получаются цифры числа «Пи» (3, 14159265358). Это – типичный пример применения акронима для запоминания информации, когда аббревиатура, в данном случае составленная из слов, произносится одной фразой. Существуют также акронимы, образованные из начальных букв, частей слов или словосочетаний, и произносимые как единое слово, а не по отдельным буквам. Идея данной работы заключается в том, что акроним предлагается к применению для быстрого запоминания и использования в практике всех основных компонентов экспертной/научной деятельности. Автором предлагается акроним в виде фразы «ДАОС-ПУТНИК СПОК». В этой фразе каждое из составляющих её слов образовано из начальных букв слов, раскрывающих суть экспертной/научной деятельности через чёткие конкретные понятия.

Перечислим конкретные понятия, отражённые в акрониме «ДАОС-ПУТНИК СПОК».

Действия во время экспертной/научной деятельности (что делается?) – Автор (кто совершает действия?) – Объект (над чем совершаются действия?) – Субъект (кто совершает действия?) – Причина (почему совершается действие?) – Условие (при каких условиях совершается действие?) – Технология (как совершается действие?) – Намерение (зачем, с какой целью совершается действие?) – Измерение (определение количественных характеристик при совершении действия?) – Координаты (где и когда совершается действие?) – Система – Признаки – Обстоятельства – Критерии.

\*Акроним (греч.) – аббревиатура, образованная из начальных букв, частей слов или словосочетаний, произносимая как единое слово, а не по буквам.

Центральным среди названных четырнадцати понятий является понятие, выраженное термином «Система». Именно с ним связаны остальные понятия. То есть, предложенный акроним представляет собой структуру взаимосвязанных понятий для их применения в действии, а

действующая структура есть система. Применительно к акронимическому подходу, систему следует воспринимать как функционирующую при определённых обстоятельствах структуру, состоящую из совокупности взаимосвязанных объектов, наделённых признаками и оцениваемых с помощью критериев. Отсюда следует, что любые реально существующие системные объекты могут быть описаны в экспертном/научном исследовании фундаментальными категориями – признаками, обстоятельствами, критериями. Категорию «признаки» автор определяет как отличительные, существенные, характерные черты, качества объекта, по которым можно этот объект определить. Категорию «критерии» – как особенности, по которым производится оценка, определение, классификация объекта. Для категории «обстоятельства» автор применяет в процессе экспертирования/научного исследования вопросник «ДАОС-ПУТНИК» применительно к любому времени – прошедшему, настоящему и будущему. В данном случае вопросник дан для настоящего времени.

На примере экспертизы электроснабжения объекта можно получить представление о качестве, глубине, структурности и многогранности экспертного/научного исследования при использовании акронимического подхода.

В силу ограниченного объёма статьи, пример дан в сжатой форме – указана лишь очень малая часть компонентов (раскрытых в самом общем виде), составляющих содержание каждого из понятий, отражённых соответствующими буквами акронима.

**Признаки**, являющиеся частью акронимического слова СПОК, – описание потребителей электрической энергии и категоричности электроприёмников в отношении надёжности электроснабжения.

Десять обстоятельств, являющихся частью акронимического слова СПОК, включают в себя:

**Действия** – составление, утверждение и выдача экспертного заключения экспертом-электриком.

**Автор** – эксперт в области электротехники и электроэнергетики.

**Объекты** – здания, сооружения и площадки электротехнического назначения, электрическая часть электростанций, электрические сети, потребители электрической энергии, основное электротехническое оборудование и устройства.

**Субъект** – разработчик электротехнических решений по электроснабжению объекта.

**Причина** – необходимость приведения в соответствие экспертируемых электротехнических решений действующим в электроэнергетике нормативно-техническим документам.

**Условия** – наличие задания на разработку электроснабжения объекта, сертификатов, необходимой документации (в том числе разрешительной), согласованной со всеми инстанциями в установленном порядке.

**Технология** – оценка полноты охвата исходных данных по представленным на экспертизу электротехническим решениям, оценка полноты содержания самих решений по электроснабжению объекта; подробную информацию в отношении, например, подстанций и линий электропередачи можно найти в [1].

**Намерение** – обоснованное заключение о допустимости или недопустимости предлагаемых решений по электроснабжению объекта.

**Измерения**: количество потребителей электрической энергии, величины мощности и годового расхода электроэнергии.



**Координаты** – место и время проведения электротехнической экспертизы, место нахождения объекта электроснабжения, реквизиты разработчика электротехнических решений и экспертирующей организации, нормативные сроки проведения электроэкспертизы.

**Критерии**, являющиеся частью акронима СПОК.

Содержание этих критериев составляет сердцевину акронимического подхода. Обозначим общие контуры критериев в виде некоторых ключевых слов:

- **Проверка** (правильности, качества, результатов). -

**Соответствие** (заданию, требованиям, целям, задачам, условиям, нормативам).

- **Наличие** (согласований, расчётов, схем, планов, спецификаций, мероприятий, перечней).

- **Соблюдение** (норм, правил, законодательства).

- **Оценка** (характеристик, значимости, возможности, безопасности, огнестойкости, достоверности, обоснованности, эффективности).

- **Определение** (комплектности, полноты, целостности, взаимосвязанности, достаточности).

- **Анализ** (сущности, сценариев, влияний, факторов, рисков, показателей, особенностей, выводов, рекомендаций).

- **Оригинальность** (идеи, средств и способов осуществления). -

**Уровень** (инноваций, новизны технологий, рациональности, аргументированности).

- **Степень** (надёжности, разработанности, функциональности, применимости).

На сегодняшний день существует немного разработок, целиком [2-5] или частично [6] посвящённых электротехнической экспертизе.

### 3. Заключение

Акронимический подход облегчает организацию электротехнической экспертизы электроснабжения объектов в виде полной и структурированной процедуры. Он не претендует на универсальность, однако, используя его, можно провести глубокое, качественное структурированное экспертное и любое другое научное исследование с наибольшим охватом всех аспектов и факторов, касающихся экспертируемых/исследуемых объектов. Акронимический подход при организации экспертизы позволяет выявить меры обеспечения устойчивого и безопасного функционирования действующих объектов, комплексов, систем, зданий, сооружений и инженерных коммуникаций любой отраслевой принадлежности. Применять акронимический подход можно на любой стадии – концептуальной, проектной, строительной и эксплуатационной. По этим причинам акронимический подход располагает всеми необходимыми предпосылками, чтобы занять достойное место среди других научных подходов и повысить качество экспертной деятельности.

### Список используемой литературы

1. Единый регламент принятия технических решений при разработке проектно-сметной документации для нового строительства и технического перевооружения и реконструкции объектов электросетевого хозяйства. – М.: Издательство ОАО «ФСК ЕЭС», 2007. – 19 с.
2. Черкасов В.Н. Пожарно-техническая экспертиза электрической части проекта. – М.: Издательство Стройиздат, 1987. – 104 с.
3. Требования по составу и содержанию экспертного заключения по разделу «Электроснабжение и электрооборудование» ТЭО (проекта) на строительство. – М.: Издательство Главгосэкспертиза России, 1995. – 1 с.
4. Методические рекомендации по проведению государственной экспертизы проектной документации на строительство. Разделы: Электроснабжение, электрооборудование и электроосвещение. – Астана: Издательство РГП «Госэкспертиза», 2010. – 14 с.
5. Щепетова Г.В. Экспертиза электрических сетей //Журнал «Стройкомплекс Среднего Урала». – 2010. - №3 (136). – С. 11-12.
6. Положение о технической политике ОАО «ФСК ЕЭС». - М.: Издательство ОАО «ФСК ЕЭС», 2011. – 112 с.

УДК 621.311

**Потенциал нетрадиционных источников энергии в Таджикистане***Р.С.Расулов, А.К. Киргизов, Л.С. Касобов, У.У. Касымов,**Таджикский Технический университет имени акад. М.С.Осими, г. Душанбе, Таджикистан**E-mail: loiknstu@mail.ru*

Разработка использования новых источников энергии позволит выявить наиболее эффективные из них, на изучение которых в первую очередь следует сосредоточить научные и технические силы для получения скорейшего эффекта. Для постановки и решения вышестоящей задачи необходимо оценить возможные ресурсы солнечной, геотермальной, ветровой и биологической энергии.

Введение рынка возобновляемые источники энергии диктует новые требования к операционной системе. Что касается генерирующих компаний, то они экономически заинтересованы в максимальном использовании солнечной, ветровой, геотермальной и гидро - энергии.

В настоящее время производства электроэнергии на нетрадиционных и возобновляемых источников энергии в мире и в том числе в Республике Таджикистан имеет повышенный интерес населения и государства.

Солнечная энергия. Таджикистан относится к районам с благоприятным радиационным режимом. Однако своеобразие рельефа Таджикистана и сочетание горных массивов с долинами сказывается на распределении солнечной радиации в различных точках республики. Южное положение республики (32-42 сев.ш.) обеспечивает высокое стояние солнца. Среднегодовая продолжительность солнечного сияния колеблется в пределах 2008-3166 часов. В дни зимнего солнцестояния высота солнца достигает  $28^{\circ}$ , а в дни летного - поднимается над горизонтом на  $75^{\circ}$ . В связи с этим на территории республики среднегодовое количество суммарной радиации достигает 151 (на севере) до 176 (на востоке) кал/см<sup>2</sup>, а при ясном небе годовая сумма колеблется в пределах 182,9-223,9 кал/см<sup>2</sup>. Расположение республики на северной части субтропической зоны и наибольшая величина, покрытые неба облачностью определяют высокое значение солнечной радиации и большую продолжительность солнечного сияния. В горных районах Таджикистана число дней без солнца составляет 50-54 [2]. В долинных районах число таких дней сопровождается до 30-40, а на восточном Памире до 20-30. Минимальное число дней без солнца наблюдается в районе ст. Каракул-7.

Продолжительность солнечного сияния зависит не только от астрономических факторов и наличия облачности, но и от экспозиции склонов и степени закрытости горизонта окружающими хребтами.

Наиболее продолжительность солнечного сияния наблюдается на юге и на Восточном Памире. На ст. Пяндж составляет 3030 часов/год на ст. Каракуль -3166 часов. Интенсивность прямой солнечной радиации, падающей на перпендикулярную к лучам поверхность ( $\zeta$ ), в полуденные часы при ясном небе достигает наибольших величин в феврале- марте. В долинах Северного и Центрального Таджикистана среднее значение ( $\zeta$ ), в эти месяцы составляет -1,3-1,35 ккал/см<sup>2</sup>мин, в предгорьях-1,44, а на Восточном Памире -1,65-1,70 ккал/см<sup>2</sup>мин [2]. Летом интенсивность солнечной радиации несколько уменьшается из-за запыленности атмосферы. Среднее величины ( $\zeta$ ), в месяц минимума в долинных районах составляет 1,20-1,22 ккал/см<sup>2</sup>мин, в предгорных 1,30, на Восточном Памире -1,55-1,6022 ккал/см<sup>2</sup>мин. Значения ( $\zeta$ ), практически не меняется в годовом резерве и могут служить гарантией наличия солнечной энергии во всех районах Республики. Интенсивность прямой солнечной радиации падающую на горизонтальную поверхность, имеет тенденцию увеличения от 0,7 ккал/см<sup>2</sup>мин - зимой, до 1,5 ккал/см<sup>2</sup>мин летом. Суточный ход солнечной радиации определяется изменением высоты солнца и имеет максимум в полдень.

Из многообразия использования солнечной энергии можно выделить следующие основные направления: теплотехническое, фотоэлектрическое, биологическое и химическое. Наиболее развитое в настоящее время получило теплотехническое направление, которое включает создание гелиоэнергетических устройств (ГЭУ) теплового действия и проектирование солнечных электростанций (СЭС) на паротурбинном цикле.

Наиболее перспективным направления для Таджикистана, является использование солнечной энергии для тепло-холод снабжения коммунально-бытовых и производственных потребителей, и в первую очередь в высокогорных районах, куда доставка топлива затруднена сложностями автотранспортных перевозок. На сегодняшний день использование солнечной

энергии - задача технически решённая. Основные трудности в практической реализации ГЭУ обусловлено высокой стоимостью коллекторов. В силу сравнительно низкой топливо заменяющей способности внедряемых коллекторов считается целесообразным их первоначальное использование для нужд горячего водоснабжения и сушки сельскохозяйственных продуктов с дальнейшим частичным покрытием отопительной нагрузки в районах с благоприятными условиями.

Наиболее благоприятное условие использования солнечной энергии это Восточный Памир, где как было сказано выше солнечная радиация самая высокая и его применение более выгодно с разных точки зрения.

Во первых земля в этой часты на сельско - хозяйственные нужды не используется из-за низкой температуры.

Во вторых использование малых ГЭС для таких районах с суровым погодным условием включает в себя ряд трудностей. Это эксплуатация гидротехнических оборудования в зимнем периоде, когда температура опускается ниже 40<sup>0</sup>С и почти все водотоки замерзают, и будет трудно эксплуатировать МГЭС [1].

Геотермальная энергия. Этот вид энергии включает два вида энергоресурсов: гидротермальные (термальные воды, пароводяные смеси и пар с температурой от 40<sup>0</sup>С до 250<sup>0</sup>С) и петро геотермальные (ресурсы тепла, аккумулированные горными породами).

Отметим, что большая часть геотермальных ресурсов приходится на термальные воды, отличающейся простотой добычи и значительными запасами заключенного в них тепла. Они имеют широкое распространение и устойчивый режим выхода.

Сфера применения и перспективность использования геотермальных вод определяется следующими факторами: энергетическим потенциалом геотермальных скважин, химическим составом, степенью минерализации и газо насыщенности, общими запасами и дебитом эксплуатационных скважин, удалённости источников от потребителей, избыточным давлением на устье скважины, температурным и гидравлическим режимом действующих скважин, а также глубиной залегания геотермальных ресурсов.

В практическом соотношении наибольшую ценность представляют месторождения в пределах которых температура воды составляет не менее 40<sup>0</sup>С, минерализация воды не превышает 35г/литр, а глубина залегания не более 3000 метров. На территории Таджикистана до настоящего времени поисково - разведочные работы на термальные воды не производилось. Существующие месторождения открыты при проведении разведочных работ на нефть, газ или в результате самоизлива. В табл.1 приведены параметры наиболее крупных месторождение термальных вод Таджикистана.

Следует отметить, что наиболее широкое распространение термальные воды имеют на Памире, где зарегистрировано более 40 источников.

Таблица 1. Параметры наиболее крупных месторождение термальных вод Таджикистана.

Название месторождения	Температура геотермальной воды на устье <sup>0</sup> С	Ожидаемый прирост термальных вод м <sup>3</sup> /сек	Минерализация г/л	Количество скважин	Глубина скважин м	Теплосодержание источника Гкал/час
Токузбулак ГБАО	60-90	2590	0,4	8	250	4,86
Иссыкбулак ГБАО	65-95	1000	0,6	6	200	2,0
Джелоды ГБАО	70-90	2590	0,4	7	150	5,91
Джавшангоз ГБАО	40-50	2000	0,5	10	100	2,0

В основном это минерализованные (до1г/л) или слабоминерализованные (до 4г л) углекислые термальные воды. Данные которые приведены в табл. 1 показывает глубину заложения невелики (до 2000м), а максимальное значение температуры термальной на устье скважины до 95<sup>0</sup>С. Термальные воды с температурой до 100<sup>0</sup>С относятся к низко потенциальным, которые используется в основном для теплофикации коммунально-бытового и промышленного секторов, для обогрева теплиц и животноводческих комплексов, а также для оздоровительных комплексов и нужд населения (плавательные бассейны), душевые, бальнеология). Технология

извлечения и утилизация термальных вод к настоящему времени освоена, поэтому добыча и применение их в принципе допускается использование серийно выпускаемого промышленностью оборудования. Сложностью использования геотермальных ресурсов является повышенная минерализация воды. В этом плане геотермальные ресурсы Таджикистана имеют преимущества, так как почти все источники имеют слабую минерализацию, что позволяет непосредственное использование в системе отопления и горячего водоснабжения.

Эффективность использования термальных вод для отопления во многом зависит от глубины срабатывания теплового потенциала, использования термальных вод с температурой ниже 40<sup>0</sup>С необходимо разрабатывает систему с отопительными насосами. Для широкого применения термальных вод нужно ещё разведывать все месторождения на восточном Памире. На сегодняшний день термальные воды используются для отопления домов и теплиц в поселке Джелонди ГБАО которое очень эффективен.

Ветровая энергия. Средняя годовая скорость ветра в республике изменяется в очень широких пределах – от 0,8 до 6 м/сек [6]. Наиболее сильная скорость наблюдается в высокогорных районах в открытых формах рельефа (ледник Федченко -6м/сек, Анзобский перевал 4.6) и в тех районах, где орографические факторы способствуют сходимости линии тока (Сугд-4.6 м/ сек). В остальных регионах республики значение среднегодовой скорости ветра колеблется в пределах 1,2-2,3 м/сек, что не представляет энергетической ценности. Кроме того энергетическая ценность ветров снижается наличием разнообразия их режима, обусловленного сложностью рельефа и орографических особенностей местности.

#### Список используемой литературы:

1. Авакян А. Б. Энергетические ресурсы СССР. Гидроэнергетические ресурсы /А.Б.Авакян, В.А. Баранов, Л.Б. Барштейн и др. Под ред. А.Н. Вознесенского. М.: Наука,1967.
2. Новые и возобновляемые источники энергии. Импакт №4. М.:1988.
3. Касобов Л.С..К вопросу об использования солнечных панелей в условиях Таджикистана // Касобов Л.С., Инояттов М.Б., Касымов У.У «Социально – экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики»- 8-я Международная конференция по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики / Материалы конференции ТулГУ, Тула, 2012, Т.2.с.486-489
4. Тарнижевский Б.В. Определение показателей работы солнечных установок в зависимости от характеристик радиационного режима //Теплоэнергетика.-1960.- Вып. 2.- С.18-26.
5. Берлянд Т.Г. Распределение солнечной радиации на континентах. Л.: Гидрометиздат, 1961.
6. Рекомендации по определению климатических характеристик ветроэнергетических ресурсов. Л.: Гидрометиздат, 1989.- 80 с.

#### Исследования плоских солнечных коллекторов программным методом

*У.О. Мадумаров, М. Б. Инояттов. Ф.Н. Масуми К.С. Мухиддинов.*

*Таджикский технический университет им. акад. М.С. Осими.*

Установлено влияние различных факторов на величину поступающей солнечной радиации и на эффективность работы системы солнечного теплоснабжения. Представлены результаты компьютерного моделирования системы солнечного горячего водоснабжения. Даны практические рекомендации по выбору параметров системы солнечного теплоснабжения для эффективной ее работы.

Основным направлением использования солнечной энергии является производство низкопотенциальной теплоты для горячего водоснабжения и в меньшей степени для отопления. Наибольшее распространение в системах солнечного теплоснабжения (ССТ) в качестве элементов, воспринимающих солнечную энергию, получили плоские солнечные коллекторы (СК), которые могут улавливать прямую и рассеянную солнечную энергию. Несмотря на относительно высокую стоимость солнечного теплоснабжения, использование СК во многих странах растет высокими темпами.

Для моделирования ССТ используются различные компьютерные программы. Однако многие из них рассматривают солнечную радиацию как единый поток энергии без разделения на прямую и рассеянную, не учитываются сезонные, климатические и метеорологические факторы на поступление суммарной солнечной радиации (ССР) .

Целью данной работы было определение факторов, влияющих на величину поступающей солнечной радиации и эффективность работы ССТ.

Расчет ССР, поступающей на поверхность СК, установленного под произвольным углом, проводили по методу Луи-Джордана [1]. В ходе исследования устанавливалось влияние угла наклона СК на количество поступающей ССР в зависимости от месяца года для климатических условий и географического положения г. Душанбе. При этом использовались метеорологические данные для географической широты и долготы за 2010г.

Определен оптимальный угол установки СК для каждого месяца, т.е. угол, при котором возможно получить максимальное количество поступающей среднемесячной дневной ССР.

На рис.1 показаны значения оптимального угла наклона СК для различных месяцев и сезонов.

На рис.2 представлена зависимость количества ССР, получаемой СК в различные месяцы года для углов  $0^\circ$ ,  $45^\circ$  и оптимального угла (значения угла см. рис.1), при котором возможно получить максимальное количество ССР в течение данного месяца.

Установка СК под оптимальным углом позволяет увеличить количество поступающей солнечной энергии на величину до 21%.

На основании данных рисунков можно сделать такие общие выводы: для летних месяцев целесообразно практически горизонтальное расположение СК (в потоке ССР преобладает прямая составляющая); в зимнее время отдается предпочтение вертикальному расположению СК (в потоке ССР преобладает рассеянная составляющая); в весенне-осенний. Период угол наклона СК близок по значению географической широте местности и в данном случае составляет  $40\text{-}50^\circ$ .

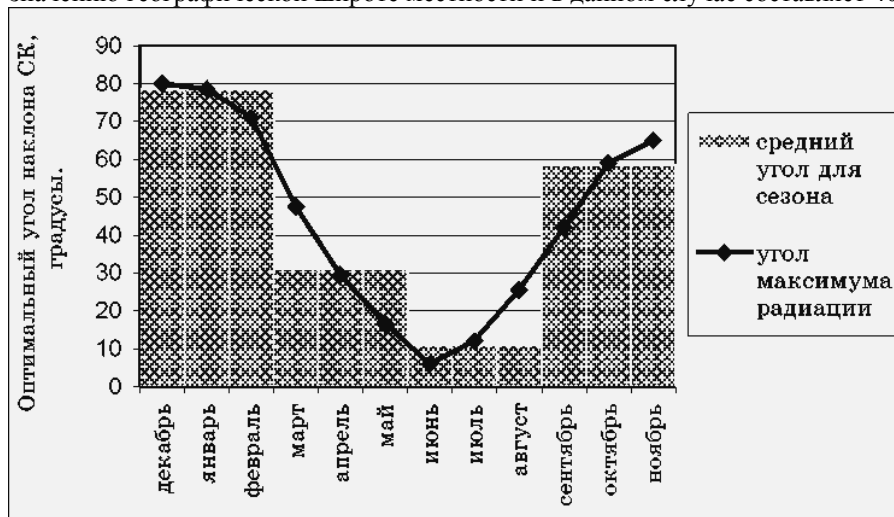


Рис. 1 – Значения оптимального угла наклона СК для месяцев года

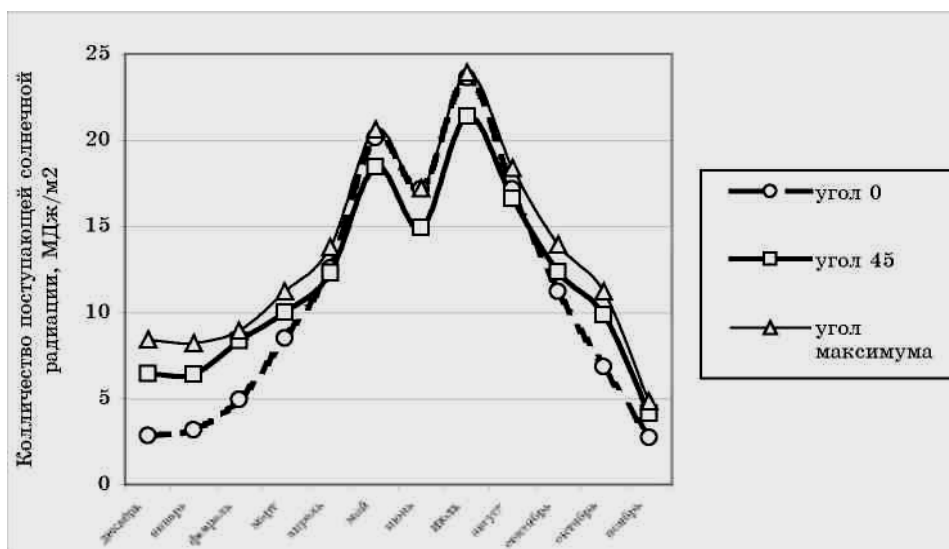


Рис. 2 – Зависимость количества ССР по месяцам от угла наклона СК

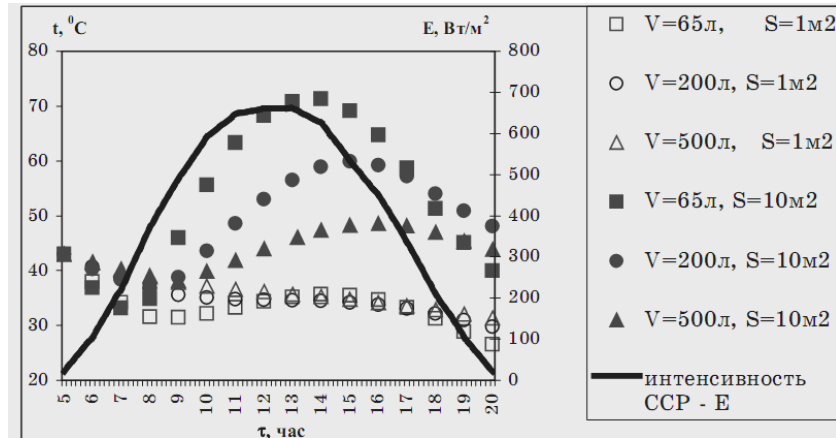


Рис.3 Зависимости температуры воды в БА при различных значениях объема БА и площади СК

Моделирование процесса в одноконтурной ССТ с помощью компьютерной программы SUNMEDIA [2] позволило определить влияние различных факторов на эффективность ее работы.

Установка предназначена для горячего водоснабжения и состоит из плоского СК, бака-аккумулятора (БА), водяного насоса (ВН) и трубопроводов.

Принятые следующие исходные данные при моделировании: месяц года – июль; продолжительность светового дня – 15 часов (5-00 – 20-00); температура наружного воздуха – 20 °C; скорость ветра – 1 м/с; температура воды, поступающей в систему – 15 °C; производительность ВН – 50 л/ч; объем БА – 65 л; площадь СК – 1м<sup>2</sup>; коэффициент тепловых потерь БА – 4 Вт/(м<sup>2</sup>·°C), начальная температура воды в БА – 43 °C; суточное потребление горячей воды с температурой 40-45 °C – 150 л. Под эффективностью работы установки подразумевалось отношение количества энергии, полученной водой, которая циркулирует через СК, к количеству суммарной солнечной энергии, поступающей на поверхность СК [3]. При отключенном ВН эффективность работы установки равна нулю. Программа позволяла получать мгновенные значения температуры воды в БА и эффективности работы СК через каждые 10 минут. На основании этих значений строились графики изменения температуры воды в БА и эффективности работы СК в течение суток. Площадь СК и объем БА существенно влияют на эффективность работы ССТ. На рис.3 представлены зависимости температуры воды в БА при различных значениях объема БА и площади СК.

Из рис.3 видно, что СК площадью 1 м<sup>2</sup> не обеспечивает нагрева воды до заданной температуры, поскольку даже в условиях самого жаркого месяца года – июля температура воды в течение дня не поднимается выше начальной, а ее снижение за световой день составляет около 40%. Увеличение площади СК до 10 м<sup>2</sup> обеспечивает более высокие значения температуры воды у потребителя в течение дня и, что особенно важно – высокое ее значение в конце светового дня. Этот факт создает предпосылки для непрерывного использования установки в летний период без дублирующих источников теплоты. БА оказывает особое влияние на работу системы. Общий характер этого влияния – «сглаживание» графика изменения температуры воды в БА в течение дня. Чем больше объем БА, тем более равномерный график температуры. Это объясняется тем, что БА большого объема обладает большим запасом энергии. Поэтому в утреннее время, когда интенсивность ССР незначительная, БА компенсирует падение температуры. С другой стороны, в таком БА тепловая энергия, преобразованная из солнечной, поглощается большим объемом воды. В связи с этим в часы повышенной интенсивности ССР температура воды в БА имеет меньшее значение, чем при использовании БА малых объемов. Таким образом, увеличение объема БА компенсирует резкие перепады температуры и поддерживает температурный режим в заданном диапазоне в течение длительного времени.

Следующим исследуемым параметром являлся график потребления горячей воды. В работе рассматривались 2 типичных графика потребления – равномерный в течение светового дня; неравномерный с утренним и вечерним пиками и провалом в дневное время. При этом в обоих случаях общее потребление воды за сутки было одинаковым и составляло 150 л.

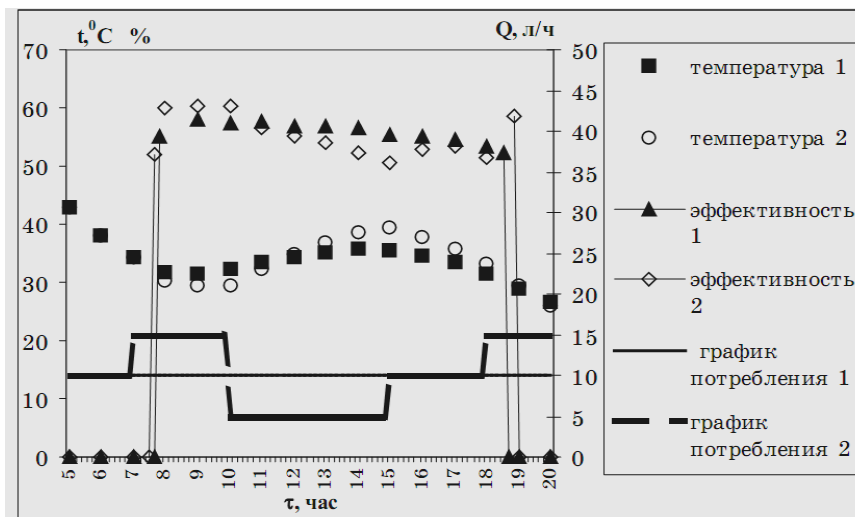


Рис. 4 – Зависимость температуры воды в БА от графика потребления воды

На рис.4 показано, что с увеличением потребления воды в утреннее время температура воды понижается. С другой стороны, снижение потребления воды в дневное время обеспечивает более высокие значения температур во второй половине дня. Происходит своеобразная «компенсация температур». В конце светового дня температура воды в обоих случаях практически одинаковая. Это позволяет сделать вывод о том, что при равном общем потреблении воды график потребления влияет на диапазон изменения температур в течение суток, но не оказывает влияния на общее количество полезно используемой солнечной энергии. Это подтверждает тот факт, что эффективность работы установки в обоих случаях лежит в пределах 50-60%.

Также в исследовании проводился анализ влияния на работу установки температуры наружного воздуха и скорости ветра.

В реальных условиях работы системы температура наружного воздуха изменяется в течение суток. Предполагалось, что это изменение происходит в соответствии с изменением интенсивности ССР и находится в пределах 20-34<sup>0</sup>С. В результате происходит уменьшение тепловых потерь в окружающую среду. В связи с этим наблюдается повышение температуры воды в БА и эффективности работы установки. Поправка на реальное значение температуры наружного воздуха составляет 2-4<sup>0</sup>С, эффективность повышается на 10%.

При повышении скорости ветра повышается интенсивность теплоотдачи в окружающую среду от элементов установки. Исследования показали, что данный параметр в целом не оказывает значительное влияние на работу системы. В среднем при увеличении скорости ветра на 1 м/с происходит снижение температуры воды в системе на 0,1<sup>0</sup>С.

#### Вывод.

Таким образом, в ходе исследования данные показали, что при равном общем потреблении воды график потребления влияет на диапазон изменения температур в течение суток, но не оказывает влияния на общее количество полезно используемой солнечной энергии.

#### Список используемой литературы:

1. Бекман У., Клейн С., Даффи Дж.. Расчет систем солнечного теплоснабжения. – М.: Энергоиздат, 1982. – 80с.
2. Ахаоролос Р., Pitsilis G. and Panagakis P., Int. J. of Solar Energy. – 2002. - Vol.22(2). -pp. 83 – 92.
3. Мхитарян Н.М. Энергетика нетрадиционных и возобновляемых источников. – К.: Наукова думка, 1999. - 315с.
4. Дешко В.И., Дубровская В.В., Иванов П., Кучко М. Результаты экспериментальных исследований систем солнечного горячего теплоснабжения в Украине и в Болгарии //Пром. Теплотехника.– 2003.–Т. 25.–Приложение к журналу '4.–С. 268-270.

### Исследование характеристик тягового электропривода постоянного тока с широтно-импульсным управлением

И.И. Шушанов, М.А. Соловьёв, Н.К., Полуянович  
Южный Федеральный Университет, г. Таганрог, Россия  
kolienko01@mail.ru

**Актуальность темы.** В системах электрической тяги электроподвижного состава (ЭПС) используется значительная доля электропривода постоянного тока, несмотря на его вытеснение из других отраслей промышленности [1], они используют двигатели с последовательным возбуждением и системы управления с широтно – импульсным регулированием тока.

С точки зрения теории регулирования тяговый электропривод (ТЭП) постоянного тока с импульсным управлением представляют собой сложные нелинейные многорежимные системы, в которых могут возникать субгармонические, квазипериодические, хаотические движения, следствием которых являются снижение КПД электромеханического преобразования энергии и нарушение ЭМС на участке контактной сети. Важнейшим требованием к системам управления автоматизированных тяговых электроприводов постоянного тока (АТЭП ПТ) является обеспечение во всех штатных режимах синхронной динамики, при которой частота колебаний в системе равна частоте синхронизации. Если исключить из рассмотрения выбег и останов, при которых импульсный преобразователь не задействован, то можно выделить четыре основных режима: пуск, реостатное, рекуперативное и реостатно-рекуперативное торможение.

На ЭПС постоянного тока плавное экономичное регулирование возможно при помощи импульсных преобразователей (рис. 1 а и б). Обычно используемые для этих целей импульсные преобразователи с параллельной емкостной коммутацией имеют линейную статическую характеристику:

$$u_k = \frac{\tau}{t_{\Pi}} u_{кc} = \tau / u_{кc} = k u_{кc}. \quad (1)$$

Коэффициент заполнения  $k = \tau / t_{\Pi}$  представляет собой отношение длительности  $\tau$  проводящего состояния преобразователя к периоду  $t_{\Pi}$  следования импульсов [2]. Однако для реальных импульсных преобразователей необходимо учесть инерционность, связанную с наличием входного фильтра, обладающего индуктивностью  $L_1$ , активным сопротивлением  $r_1$  и емкостью  $C$ .

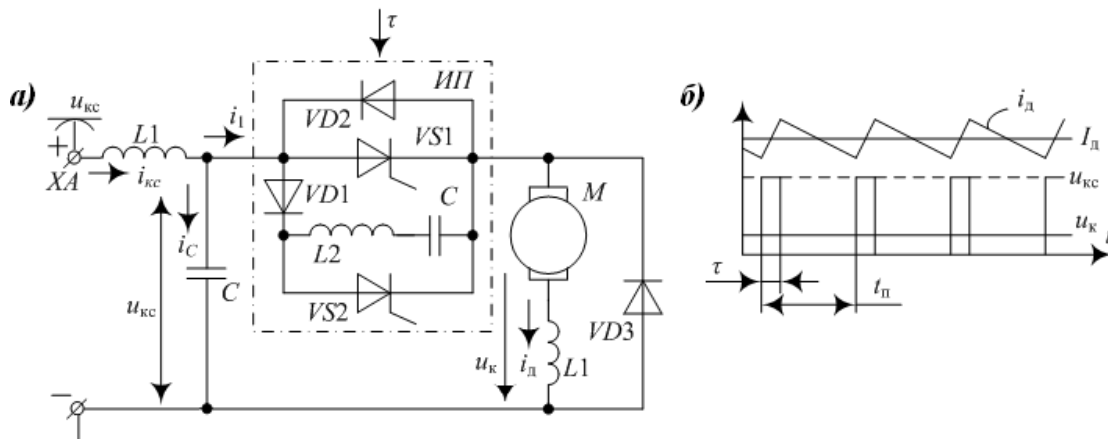


Рис. 1. Импульсный преобразователь тягового электропривода постоянного тока

Таким образом, пренебрегая дискретностью и запаздыванием собственно импульсного преобразователя, работу схемы, для усредненных за период  $t_{\Pi}$  параметров электромагнитного процесса в фильтре можно описать системой дифференциальных уравнений при малых отклонениях всех переменных:



$$\begin{cases} L_1 \frac{d\Delta i_{кк}}{dt} + r_1 \Delta i_{кк} + \Delta u_c = \Delta u_{кк}; \\ C \frac{d\Delta u_{кк}}{dt} + \Delta i_1 = \Delta i_{кк}; \\ \Delta u_k = f_{u_{c0}} \Delta \tau + f_{\Delta \tau} \Delta u_c; \\ L_{дз} \frac{d\Delta i_{д}}{dt} + r_{д} \Delta i_{д} = \Delta u_k - \Delta e_{д}; \\ \Delta i_1 = f_{д0} \Delta \tau + f_{\Delta \tau} \Delta i_{д}. \end{cases} \quad (2)$$

Уравнения для  $\Delta u_k$  и  $\Delta i_1$  получены линеаризацией по формуле полного дифференциала.

Рассмотренное представление тягового электропривода с импульсным преобразователем как линеаризованной системы позволило использовать для его описания передаточные функции и соответственно линейные методы расчета систем автоматического регулирования.

**Математическое моделирование двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением.**

Уравнения, описывающие работу двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением, имеют вид [3]:

$$\begin{cases} u = (L_{я} + L_{в}) \frac{di}{dt} + (r_{я} + r_{в})i + e_{я}, \\ J \frac{d\omega_m}{dt} = M - M_H, \\ \Phi_{в} = k_{\phi} i_{в}, \\ e_{я} = k_E \omega_m \Phi_{в}, \\ M = k_M i_{я} \Phi_{в}. \end{cases} \quad (3)$$

Введением базовых значений переменных:

$$U_{НОМ}, \Phi_{НОМ}, \omega_{0НОМ} = \frac{U_{НОМ}}{k_E \Phi_{НОМ}}, M_{к.НОМ} = k_M \Phi_{НОМ} \frac{U_{НОМ}}{r_{я} + r_{в}} \quad (4)$$

Уравнения (4) приводятся к безразмерному виду:

$$\begin{cases} \bar{u} = T \frac{d\bar{i}}{dt} + \bar{i} + k_i \bar{i} \bar{\omega}_m, \\ T_m \frac{d\bar{\omega}_m}{dt} = k_i \bar{i}^2 - M_H \end{cases} \quad (5)$$

где:  $T = \frac{L_{я} + L_{в}}{r_{я} + r_{в}}$ ,  $k_i = \frac{U_{НОМ}}{(r_{я} + r_{в}) \cdot I_{НОМ}}$  – параметры двигателя.

Представим уравнения (5) в операторном виде:

$$\begin{cases} \bar{u} = (Ts + 1) \cdot \bar{i} + k_i \bar{i} \bar{\omega}_m, \\ T_m s \bar{\omega}_m = k_i \bar{i}^2 - \bar{M}_H. \end{cases} \quad (6)$$

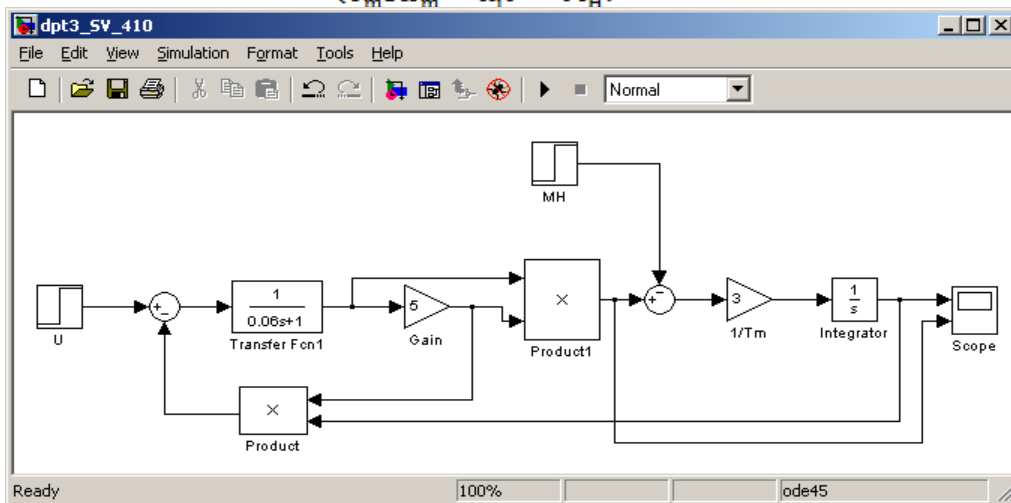


Рис. 2. Модель ДПТ с последовательным возбуждением

Модель двигателя, построенная по системе уравнений (6) представлена на рис. 2 при скачке управления в момент 0,5 с и скачке возмущения в момент 5 с. Переходные процессы, показанные на рис. 3, свидетельствуют о том, что при пуске момент двигателя с последовательным возбуждением значительно превышает момент двигателя с независимым возбуждением и двигателя с параллельным возбуждением [4]. Это достоинство двигателя широко используется в тяговых (транспортных) электроприводах. Однако в двигателе с последовательным возбуждением при приложении нагрузки наблюдается значительный провал скорости.

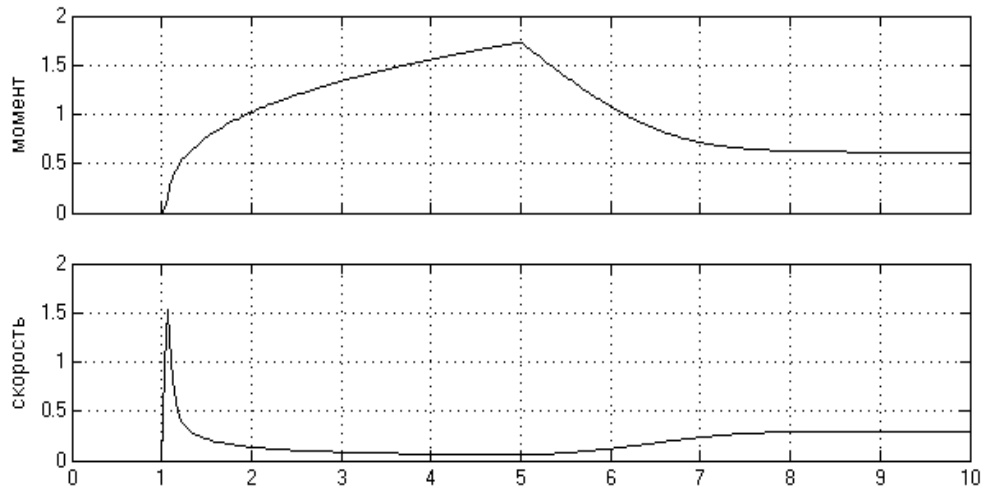


Рис. 3. Моделирование переходных процессов

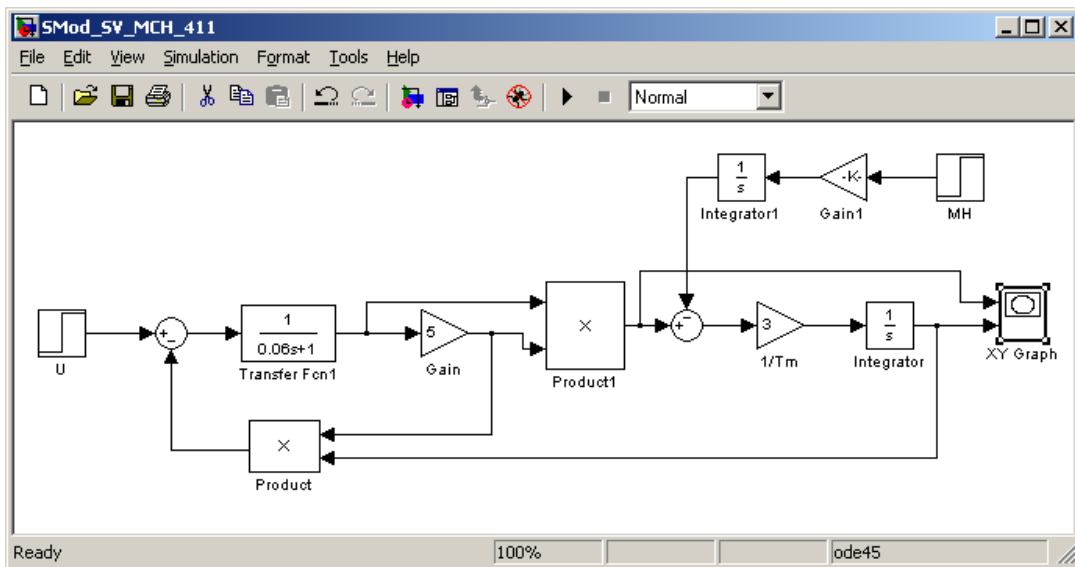
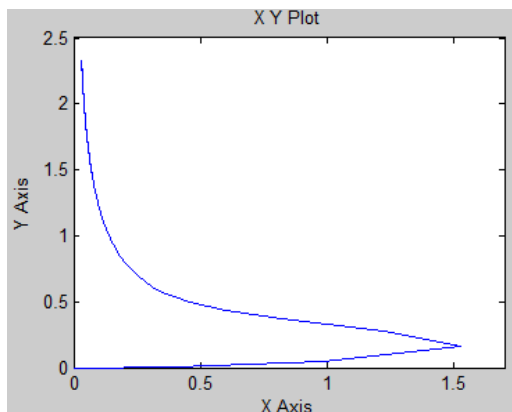


Рис. 4. Модель для получения механических характеристик



Для исследования механической характеристики построена модель (рис. 4) аналогично ранее описанным вариантам ДПТ. Результаты моделирования приведены на рисунке 5. Механическая характеристика двигателя является существенно нелинейной. При малых моментах она является очень «мягкой», а при больших моментах достаточно «жесткой».

Рис. 5. Моделирование механической характеристики

**Результаты моделирования показывают, что:** При пуске момент двигателя с последовательным возбуждением значительно превышает момент двигателя с независимым возбуждением. Это достоинство двигателя широко используется в тяговых ЭП. Однако в двигателе с последовательным возбуждением при приложении нагрузки наблюдается значительный провал скорости. Сравнивая процессы в системах с ШИП с аналогичными процессами для непрерывных систем, можно сделать вывод о достаточно близком совпадении. Однако здесь, ШИП вносит свою специфику. Эта специфика проявляется в пульсации момента и в несколько измененных динамических свойствах системы.

**Список используемой литературы:**

1. Некрасов В.И. Импульсное управление тяговыми двигателями электрического подвижного состава постоянного тока. – Л.: ЛИИЖТ, 1972. – 115 с.
2. Щуров Н.И. Методы и средства повышения эффективности использования энергии в системе городского электрического транспорта: Автореф. дис. доктора техн. наук. 05.09.03. – Новосибирск, 2003. – 34 с.
3. Boston T. Recuperative braking // Public Transport Report, 1997. – P. 149–153. (пер. на русский – <http://www.css-mps.ru/zdm/05-1999/8312.htm>)
4. Колчев Е.В., Метельский В.Л., Стульников В.И. Моделирование тиристорных электроприводов. – К.: Техшка, 1980. – 85 с.

УДК 621.311

**Анализ состояния энергосистемы Омской области и перспективы её развития**

*Е.В. Былкова., Т.П. Матвиенко*

*Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия*

*E-mail: [e.v.bylkova@gmail.com](mailto:e.v.bylkova@gmail.com)*

Единая энергетическая система России – развивающийся в масштабе всей страны высокоавтоматизированный комплекс электростанций, электрических сетей и объектов электросетевого хозяйства, объединенных единым технологическим режимом и централизованным оперативно-диспетчерским управлением.

Всего в пределах Российской Федерации функционирует более 70 энергосистем. Среди показателей, характеризующих состояние и уровень развития электроэнергетики территорий, важнейшими являются следующие:

- величина генерирующих мощностей и их структура по типам электростанций;
- величина производства электроэнергии и дефицитность (избыточность) энергосистемы;
- состояние оборудования на электростанциях и возраст основного генерирующего оборудования (степень его амортизации);
- структура топливного баланса электростанций и устойчивость топливоснабжения;
- размещение электростанций по территории, их тип, мощность и наличие резервов по производству электроэнергии (тепла);
- география линий электропередач и их состояние, размещение трансформаторных подстанций и наличие незагруженных мощностей.

Рассмотрим характеристики этих показателей для Омской области

-Топливо-энергетический комплекс Омской области базируется на внешних сырьевых ресурсах: Экибастузском и Кузнецком угле, сырой нефти и природном газе среднеобских нефтегазовых месторождений. Годовой объем потребления угля составляет около 6 млн т. Омская область входит в число энергодефицитных (и энергозависимых) регионов России.

- В настоящее время АК "Омскэнерго" обеспечивает 100 % потребности Омской области в электрической энергии за счет собственной генерации и покупки электроэнергии на федеральном оптовом рынке (ФОРЭМ). Централизованным теплоснабжением от теплоисточников АК "Омскэнерго" охвачено порядка 70 % жилого фонда города Омска. Установленная совокупная мощность собственной генерации – 1 655 МВт. Тепловая мощность – 6 283,7 Гкал/час. Специфические особенности Омской энергосистемы:

- развитие централизованного теплоснабжения на основе комбинированного производства электрической и тепловой энергии омскими ТЭЦ-3, ТЭЦ-4 и ТЭЦ-5;
- дефицит мощности – 30 % от общего электропотребления области покрывается за счет перетоков из ЭС Казахстана по трем ВЛ-500 кВт и ОЭС Сибири по сетям 110 -220 кВт.

- использование Экибастузского угля, импортного для России, доля которого в структуре топливного баланса энергосистемы доходит до 60 %.

- Для передачи электрической энергии потребителям используется 46,3 тыс. км воздушных и 244 км кабельных линий электропередач. Протяженность магистральных теплотрасс, находящихся на балансе Тепловых сетей АК "Омскэнерго" – 248,3 км.

Омская область является дефицитной, но это не значит, что необходимо увеличивать собственную установленную мощность электростанций. Дело в том, что при использовании в качестве топлива ввозного угля и дорогих нефтепродуктов стоимость электроэнергии в узле возрастает. Это отрицательно сказывается на экономической ситуации в области, продукция, вырабатываемая с помощью дорогой электроэнергии менее конкурентоспособна, чем продукция, выработанная с помощью энергии от ГЭС и АЭС. Для удовлетворения потребности региона в электроэнергии следует развивать линии электропередач высокого напряжения, а также сглаживать график нагрузки с целью снижения максимумов и адекватного планирования энергетического режима области.

Анализ структуры электропотребления за последние пять лет показал, что доля электропотребления одних отраслей экономики имеет растущий характер, за счет снижения доли других отраслей. Отчетливую положительную динамику имеет электропотребление населения и добычи полезных ископаемых.

Доля электропотребления населения в каждый год рассматриваемого периода характеризуется ростом. Так в 2007 г. она составила 13,7%, а в 2011 г. – уже 15,8% от суммарного электропотребления, что обусловлено в основном ростом электропотребления городского населения.

В 2011 году доля потребления электроэнергии на добычу полезных ископаемых составила 0,9%, при 0,0002% в 2007 году. В 2009 г. доля электропотребления прочих видов экономической деятельности выросла на 2% и последующие годы держалась на уровне 14% от суммарного электропотребления Омской области.

Доля потребления электроэнергии для транспортировки нефти и нефтепродуктов в 2010 году увеличилась в 3 раза и составила 0,6%, при доле 0,2% в 2009 году.

Сельское и лесное хозяйства характеризуются отрицательной динамикой электропотребления – снижение с 3,2% в 2007 году до 2,9% в 2011 году.

Самую большую долю в структуре общего электропотребления составляют потребители обрабатывающих производств (порядка 29%). Самую низкую долю – транспортировка газа и продуктов его переработки (порядка 0,0001%).

Производственные и хозяйственные нужды омских электростанций составляют весомую долю в суммарном электропотреблении энергосистемы – порядка 8,9-10,3%. Расход на транспорт электроэнергии в сети с 11,6% от суммарного электропотребления в 2007 г. снизился до 9,3% в 2011 г.

К наиболее крупным потребителям электроэнергии (с потреблением более 1% от суммарного электропотребления Омской области) относятся: ОАО «Газпромнефть–ОНПЗ», Омское отделение Западно-Сибирской железной дороги – филиал ОАО «Российские железные дороги», ОАО «Омский каучук» и ОАО «Омскшина».

Электрогенерирующие мощности Омской области представлены семью электростанциями, три из которых принадлежат Омскому филиалу ОАО «ТГК-11» (Омская ТЭЦ-3, Омская ТЭЦ-4, Омская ТЭЦ-5) и составляют 95,4 % установленной мощности всех электростанций Омской области (1500 МВт). Оставшиеся 4,6 % установленной мощности (72 МВт) электростанций Омской области составляют генерирующие мощности промышленных предприятий нефтехимического комплекса Омской области (блок-станции): ГТЭС ООО «Омск-Полимер» (6 МВт), ТЭС ООО «Омсктехуглерод» (18 МВт), ТЭС ОАО «Омскшина» (12 МВт), ТЭС ОАО «Омский каучук» (36 МВт). Теплоэлектростанция ОАО «Омский каучук» на параллельную работу с Омской энергетической системой не включена.

Анализ развития и функционирования электросетевого комплекса Омской области выявил основные проблемы существующего состояния электрических сетей, которые требуют решения в ближайшей перспективе:

- ограничение величины внешних перетоков мощности в энергосистему Омской области в связи с перегрузкой трансформаторов на ПС 500 кВ Таврическая в послеаварийных и ремонтных режимах из-за дефицитности региона;

- ограничение пропускной способности линий 110 кВ, сосредоточенных в городской зоне, по условию длительно допустимого тока провода ЛЭП и электрооборудования подстанций и электростанций;

- высокая степень загрузки центров питания 110 кВ, превышающая допустимые параметры, что препятствует присоединению новых потребителей к действующим центрам питания;

- высокая степень износа электрических сетей напряжением 110 кВ и 220 кВ. Массовое старение и износ электросетевого оборудования опережает темпы реконструкции и техпервооружения, снижает энергобезопасность региона

Следовательно, в долгосрочных инвестиционных программах необходимо учитывать ежегодную замену электрических сетей, ввод новых трансформаторных мощностей, постройку новых и реконструкцию существующих перегруженных подстанций с учетом потребностей потребителей.

Величина технологических потерь электроэнергии по сетям филиала ОАО «МРСКСибири» – «Омскэнерго» носит непостоянный характер и прямо пропорционально зависит от отпущенной в сеть электроэнергии.

Коммерческие потери увеличиваются вплоть до 2010 г. с 0,05 до 1,89 млн.кВт.ч. В 2011 г. по отношению к 2010 г. потери снизились на 33,1% - с 1,89 до 1,42 млн.кВт.ч. В реальных условиях присутствует ряд факторов, влияющих на объем коммерческих потерь:

- погрешность измерительных приборов;

- расчетные технические потери определяются с определенной долей допущений;

- хищение электроэнергии;

- недостаточная обеспеченность приборами учета;

- наличие удаленных сезонных объектов, бесхозных потребителей и электрических сетей с безучетным потреблением электроэнергии. Одним из основных и достаточно эффективных методов анализа потерь электроэнергии этапов разработки программ по их снижению является энергоаудит электросетевой и энергосбытовой деятельности.

Бороться с коммерческими потерями и помогать сглаживать график нагрузки помогает внедрение системы АИИС КУЭ. В современных условиях функционирования оптового и розничного рынков электрической энергии АИИС КУЭ становится крайне важным инструментом контроля уровня расходов, финансового планирования и построения эффективных взаимоотношений с субъектами электроэнергетики. В этой связи АИИС КУЭ, требует постоянного оперативного контроля работоспособности. Посредством АИИС КУЭ возможно проведение оперативного мониторинга состояния систем учета как собственных, так и у потребителей, проведение диагностики, решение сопутствующих задач по статистически достоверному расчёту потерь ЭЭ путём использования современных методов расчёта, основанных на прямых измерениях в рамках системы АИИС КУЭ.

В последнее время и в России разрабатываются методики Smart Grid «умных сетей» при энергоснабжении городов. Это требует системы точного учета электро и теплоэнергии, также теперь учитывают газификацию регионов.

Роль технических средств Smart Grid в управлении энергосистемой города

- Развитие обратной связи при управлении работой энергосистемы

- Повышение наблюдаемости энергосистемы

- Повышение надежности электроснабжения потребителей мегаполиса

- Повышение качества электроэнергии

- Интеграция распределенной генерации и возобновляемых источников энергии

Важным этапом построения «умных сетей» является внедрение АИСКУЭ у большего числа потребителей.

В качестве выводов можно привести следующее:

- Инвестиционные программы не достаточно эффективны. В результате их применения происходит улучшение элементной базы, которое не приносит ощутимого эффекта, которое так необходимо в сфере энергоэффективности.

Пример 1. нерациональное использование ТЭЦ-4. Ее грузят в целях выработки реактивной мощности для узла ПС 110 кВ Октябрьская.

Пример 2. От энергосистемы ЕЭС мы получаем только 950МВА, в то время как зимой потребление увеличивается до 1900. И мы могли бы принимать дешёвую электроэнергию от ГЭС и АЭС, но наши линии электропередачи просто не развиты и не приспособлены. В результате чего приходится нагружать свои собственные ПГУ и ТЭЦ.

- Малое внимание уделяется новым и новейшим разработкам в области электроэнергетики, достижениям техники.

- Не вкладывается достаточных средств в новые разработки и в электросети

- Проблема достойного обучения персонала. Нет достаточного количества грамотных специалистов. Это отмечается не только в сфере энергетики. Хотя стоит отметить, что в последнее время в этом направлении имеются положительные тенденции. На базе Омского государственного технического университета проходят курсы переподготовки и повышения квалификации.

- В России сплошь и рядом происходят закупки оборудования, не соответствующего современному развитию техники – то, что закупают у нас на подстанции, за рубежом в скором времени уже будут списывать за «проф. непригодность».

- Наблюдается малое введение и внедрение АСКУЭ.

- Нерациональное использование существующих ЛЭП.

Пример: При СССР на севере Омской области построили линии электропередач на 110 кВ. После распада Советского союза наступил кризис, который привел к значительному сокращению потребляемой электроэнергии. В этом случае более рационально было бы ставить дизельные генераторы и альтернативные источники энергии – ветряные станции или солнечные батареи. Но мы получили неиспользуемые линии высокого напряжения.

В целом, наблюдается положительная тенденция модернизации и развития электроэнергетического комплекса Омской области.

### **The modified method of economic intervals for high-voltage overhead lines**

*S.A. Guseva, L.J. Petrichenko*

*Riga Technical university, Riga, Latvia*

*E-mail: guseva@eef.rtu.lv; lubova.petricenko@rtu.lv*

In paper an approach to the choice of optimum cross-sections for high-voltage overhead lines by the modified method of economic intervals is proposed. The updated economic intervals' method has been developed that can use under market conditions. The method allows considering the discrete character of standard cross-sections' scale, concrete technical and technically-economic parameters and technical limitations. For practical application of the modified method universal economic nomograms for overhead lines have been constructed and illustrated in paper for 20-110-330 kV lines with steel-aluminum wires.

#### **Introduction**

One of important directions to improve the efficiency of electric network is its rational designing which is provided by technical and economic justified choice of network parameters.

The transition from the planned state economy to a market economy caused considerable changes at the justification of projects on construction and reconstruction of networks. These changes are mainly connected with uncertainty and lack of the uniform integrated indicators and the reliable information about expenses on the prices of equipment, on building and construction works. Furthermore, the investments in the building of power objects are determined by own capitals of power companies, financial possibilities of investors and free market prices on electrotechnical materials, equipment and building works.

In these conditions the known methods of the optimum cross-sections' choice for power lines as the method of economic current density and method of economic intervals does not work or can lead to incorrect decisions. At the same time, the projects of power objects should be technically suitable, economically justified and effective. The updated economic intervals' method has been developed that can work under market conditions.

#### **Modified method of economic intervals under market conditions**

The method had been offered by V.M. Block in 1945 [1] and also it is added later [2-4]. The method takes into account the discrete character of line cross-section and allows the relevant technical and technically-economic network parameters to be concretized.

In the paper a modified approach is proposed to the realization of economic intervals' method under market conditions, which allows the selection of economically feasible line cross-sections and provides the minimum total costs for the construction (reconstruction) and maintenance of the electrical network.

The modified method of economic intervals also is based on the condition of equality for the total annual costs in the lines with wires of adjacent standard cross-sections:

$$C_i = C_{i+1}.$$

The total annual costs for the lines with adjacent standard cross-sections depending on the maximum current are defined as

$$\begin{aligned} & (i + p_{\Sigma}) \cdot K_{L,i} + 3 \cdot I_{\max}^2 \cdot R_i \cdot (\tau \cdot \beta' + \beta'') \cdot 10^{-3} = \\ & = (i + p_{\Sigma}) \cdot K_{L,(i+1)} + 3 \cdot I_{\max}^2 \cdot R_{(i+1)} \cdot (\tau \cdot \beta' + \beta'') \cdot 10^{-3}, \end{aligned} \quad (1)$$

where  $i$  is the market interest rate, r.u.;

$p_{\Sigma}$  are the total deductions on amortization, running repair and maintenance from the capital investments in the line construction, r.u.;

$K_{L,i}, K_{L,(i+1)}$  are the capital investments in the lines with wires of adjacent standard cross-sections, Ls (1Ls  $\approx$  0.7 EUR  $\approx$  0.5 \$);

$I_{\max}$  is the maximum load current of line, A;

$R_i, R_{(i+1)}$  are the active resistances of the overhead lines with adjacent standard cross-sections,  $\Omega/\text{km}$ ;

$\tau$  is the utilization time of maximum losses per year, where  $\tau = f(T_{\max})$ , h;

$T_{\max}$  is the utilization time of maximum load per year, h;

$\beta'$  is the specific price of electric power losses, Ls/kWh;

$\beta''$  is the specific price of capacity at the maximum time of system load, Ls/kW.

In modified method the capital investment in the lines with adjacent standard cross-sections are represented as the sum of two components: the first one is for electrotechnical material  $K_{\text{met}}$  (wire metal), and the second one is for building and construction works  $K_{\text{build}}$ :

$$\begin{aligned} K_{L,i} &= K_{\text{met},i} + K_{\text{build},i} \\ K_{L,(i+1)} &= K_{\text{met},(i+1)} + K_{\text{build},(i+1)} \end{aligned} \quad (2)$$

where  $K_{\text{met},i}, K_{\text{met},(i+1)}$  are the capital investments on the conductor metal of the lines with wires of adjacent standard cross-sections;

$K_{\text{build},i}, K_{\text{build},(i+1)}$  are the capital investments in the building and construction of lines.

The capital investments on construction and building works for different building companies can make up more than (70-80) % from the total for line construction. These capital investments are so high that their difference for adjacent cross-sections could be ignored, and it does not influence the practical calculations (approx. 5% of the total investments, which is an admissible error for estimations). Due to this fact, it is possible to write the following equality for such investments as related to the adjacent standard cross-sections:

$$K_{\text{build}} \approx K_{\text{build},(i+1)} = \text{const} . \quad (3)$$

In this case, approximately equal components  $K_{\text{build},i}$  and  $K_{\text{build},(i+1)}$  in Eq. (1) taking into account Eq. (3), (4), are mutually compensated and excluded, but the difference in the investments on metal for the lines with adjacent standard cross-sections is analyzed in detail.

The given assumption simplifies the calculations at using the economic intervals method metal and allows excluding uncertain information about total capital investments in the line.

Based on Eq. (3), it is possible to introduce the total investments for an overhead line as:

$$K_{\text{OL}} = n_f \cdot K_{\text{met,OL}} + K_{\text{build,OL}} ,$$

where  $n_f$  is the number of phases in the line;

$K_{\text{met,OL}}$  is the price of wire metal for one phase, Ls;

$K_{\text{build,OL}}$  are the capital investments in building and construction of overhead line, Ls.

We will consider the first component of the capital investments for overhead line, which is connected with the price of wire material as more predictable and stable (mainly determined by the major manufacturers of line wires).

The capital investments on the wire material for overhead line are:

$$K_{\text{met,OL}} = F \cdot 10^{-3} \cdot L \cdot D_{\text{met,OL}} \cdot K_{0,\text{met,OL}} , \quad (4)$$

where  $F$  is the wire cross section,  $\text{mm}^2$ ;

$L$  is the wire length, km;

$D_{\text{met,OL}}$  is the specific weight of metal wire,  $\text{kg/m}^3$ ;

$K_{0,met,OL}$  is the specific price of wire metal, Ls/kg.

After transforming formula (1) and taking into account conditions (3) and (4), the boundary current at which the transition from a smaller cross-section to a bigger one is economically justified is defined in the following way:

$$I_{ek,OL} = \sqrt{\sigma} \cdot \sqrt{\frac{n_f \cdot K_{0,met,OL} \cdot D_{met,OL} \cdot (F_{(i+1)} - F_i)}{3 \cdot (R_{0,OL,i} - R_{0,OL,(i+1)})}},$$

where  $\sigma$  is a factor depending on technical and technically-economic indicators of the network. The above mentioned factor is determined as

$$\sigma = \frac{(i + p_{\Sigma})}{\tau \cdot \beta' + \beta''}.$$

### Economic nomograms for the high-voltage overhead lines

For practical application of modified method the nomograms are constructed for 20-110-330 kV overhead lines with steel-aluminium, aluminium and copper wires of standard cross-sections [7] and are given as example in Fig. 1.

The given nomograms are more universal as compared with previous nomograms [3, 4], as they do not depend on the type of power lines' pylons and are given for different voltage of lines simultaneously. The modified method of economic intervals allows the choice of rational cross-sections to be made for the overhead lines of medium- and high-voltage networks in the conditions of free market prices.

For the choice of wire cross-sections using the curves of economic intervals it is necessary to define the maximum current line  $I_{max}$  and factor  $\sigma$ . The zone in which the point with coordinates  $I_{max}$ ,  $\sigma$  corresponds to the optimum cross-section is in a range of boundary economic currents from  $I_{ec,i/(i+1)}$  to  $I_{ec,(i+1)/(i+2)}$ .

If the intersection point with coordinates  $I_{max}$ ,  $\sigma$  is located directly on the boundary curve of two cross-sections, both could be considered identical as to the economic benefit.

This method also considers the technical requirements: the admissible heating current of wires under the normal operation (reflected by a horizontal part of the curve) and restrictions on the corona in lines (inadmissible sections are excluded from consideration).

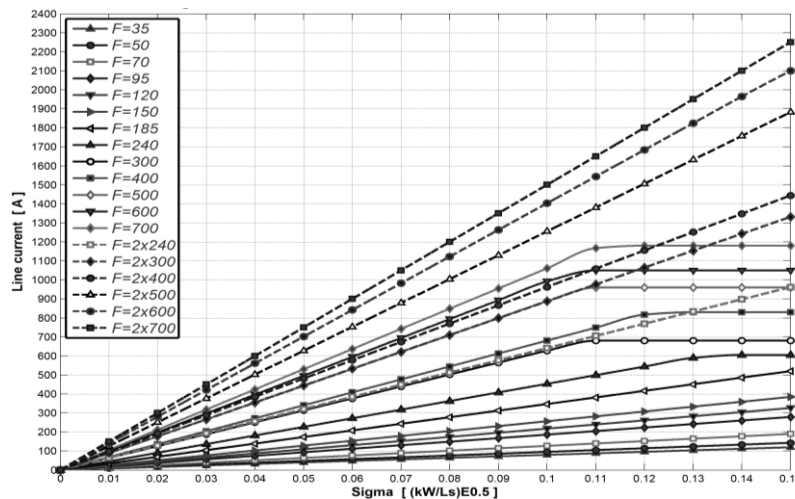


Fig. 1. The nomograms of current economic intervals for 20-110-330 kV overhead lines with steel-aluminum wires

### Conclusions

1. Under the market conditions of today the economic considerations that form the basis of traditional methods for the choice of cross-sections for overhead lines need a critical analysis and certain updating.
2. The presented modified method of economic intervals makes it possible to select the optimum cross-section of overhead lines in the early design stages by the minimum total annual costs.
3. The calculated nomograms of current economic intervals for the overhead lines are universal, fitting any concrete line voltages and the wire materials applied.



## References

1. Блок В.М. Выбор оптимальных сечений кабеля с учётом экономических показателей // Электрические станции. - 1945. - № 9-10. - С. 8-12.
2. Блок В.М., Зеберг Р.Э., Гусева С.А. Выбор оптимальных сечений проводов и кабелей с учётом экономических интервалов // Электричество. - 1964. - № 5. - С. 13-16.
3. Блок В.М., Астахов Ю.Н., Лариньш К.В., Гусева С.А., Бейерс И.В. Метод выбора сечений кабелей по универсальным номограммам // Электричество. - 1976. - № 8. - С. 24-27.
4. Блок В.М. Электрические сети и системы. - М.: Высшая школа, 1986. - 340 с.
5. <http://www.abb.com/cables>
6. <http://www.metalprices.com>
7. Guseva S., Petrichenko L. Economic Intervals' Method for Choice of Line Cross-Section and Its Realization in Matlab Software // Proceedings of the 7th International Conference on Electrical and Control Technologies ECT 2012, Kaunas, Lithuania. - 2012. - P. 221-226.

УДК 621.311.001

## Алгоритм решения задачи идентификации удельных параметров линии электропередачи

Ю.Г. Кононов, А.А. Степанова

Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь, Россия

E-mail: [kyg@stv.runnet.ru](mailto:kyg@stv.runnet.ru)

Показана возможность решения задачи идентификации удельных параметров линии электропередачи на основе уравнений длинной линии. Установлено, что целевая функция задачи является полимодальной. Сделан вывод о том, что для решения задачи могут быть использованы методы многомерной оптимизации.

Идентификация какого-либо объекта электроэнергетики представляет собой определение параметров его математической модели по данным замеров режимных характеристик. Задача идентификации параметров схем замещения линий электропередачи (ЛЭП) является важной составной частью системы мониторинга их нагрузочной способности, гололедообразования и технического состояния. Использование для идентификации параметров линии современных информационно-измерительных систем, особенно информации РМУ-устройств [1], обладающих высокой точностью измерений, предопределяет необходимость разработки точных математических моделей ЛЭП.

В настоящее время наиболее полно описывающими физические процессы в ЛЭП считаются уравнения длинной линии [2]. На основе этих уравнений в работах [3, 4] были получены расчетные выражения для определения потерь мощности и энергии в ЛЭП, отличающиеся повышенной точностью результатов вычислений.

Потери активной и реактивной мощности определяются выражениями:

$$\left. \begin{aligned} \Delta P &= \frac{P_2^2 + Q_2^2}{U_2^2} H_{Ia} + U_2^2 H_{Ua} + P_2 H_{Pa} + Q_2 H_{Qa} \\ \Delta Q &= \frac{P_2^2 + Q_2^2}{U_2^2} H_{Ip} + U_2^2 H_{Up} + P_2 H_{Pp} + Q_2 H_{Qp} \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

а потери энергии определяются как

$$\left. \begin{aligned} \Delta W_a &= \frac{H_{Ia}}{T \cdot \mathbf{M}^2 U_2} \left[ (W_{P2}^2 + W_{Q2}^2) (1 + 3\gamma_{U2}^2) + T^2 (\sigma_{P2}^2 + \sigma_{Q2}^2) - \right. \\ &\quad \left. - 4T\gamma_{U2} (W_{P2}\sigma_{P2}r_{PU2} + W_{Q2}\sigma_{Q2}r_{QU2}) \right] + \\ &\quad + T \cdot \mathbf{M}^2 U_2 (1 + \gamma_{U2}^2) H_{Ua} + W_{P2} H_{Pa} + W_{Q2} H_{Qa} \\ \Delta W_p &= \frac{H_{Ip}}{T \cdot \mathbf{M}^2 U_2} \left[ (W_{P2}^2 + W_{Q2}^2) (1 + 3\gamma_{U2}^2) + T^2 (\sigma_{P2}^2 + \sigma_{Q2}^2) - \right. \\ &\quad \left. - 4T\gamma_{U2} (W_{P2}\sigma_{P2}r_{PU2} + W_{Q2}\sigma_{Q2}r_{QU2}) \right] + \\ &\quad + T \cdot \mathbf{M}^2 U_2 (1 + \gamma_{U2}^2) H_{Up} + W_{P2} H_{Pp} + W_{Q2} H_{Qp} \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

где  $U_2, P_2, Q_2$  - напряжение и потоки мощности в конце ЛЭП,  $W_{P2}, W_{Q2}$  - потоки энергии в конце ЛЭП,  $\sigma_{P2}, \sigma_{Q2}$  и  $\sigma_{U2}$  - средние квадратические отклонения величин активной и реактивной мощности и напряжения,  $\gamma_{U2} = \sigma_{U2} / \mathbf{M}U_2$  - коэффициент вариации напряжения конца электропередачи,  $r_{PU2}$  и  $r_{QU2}$  - коэффициенты корреляции между мощностями и напряжением в конце ЛЭП,  $T$  - период измерения.

Коэффициенты  $H$  определяются по выражениям:

$$\left. \begin{aligned} H_{1a} &= \frac{Z_c}{2} (\operatorname{sh} 2\beta L \cos \xi - \sin 2\alpha L \sin \xi) \\ H_{1va} &= \frac{1}{2Z_c} (\operatorname{sh} 2\beta L \cos \xi + \sin 2\alpha L \sin \xi) \\ H_{1pa} &= \operatorname{ch} 2\beta L \cos^2 \xi + \cos 2\alpha L \sin^2 \xi - 1 \\ H_{1qa} &= \frac{\sin 2\xi}{2} (\operatorname{ch} 2\beta L - \cos 2\alpha L) \end{aligned} \right\}, \quad (3)$$

$$\left. \begin{aligned} H_{1p} &= \frac{Z_c}{2} (\operatorname{sh} 2\beta L \sin \xi + \sin 2\alpha L \cos \xi) \\ H_{1vp} &= \frac{1}{2Z_c} (\operatorname{sh} 2\beta L \sin \xi - \sin 2\alpha L \cos \xi) \\ H_{1pp} &= \frac{\sin 2\xi}{2} (\operatorname{ch} 2\beta L - \cos 2\alpha L) \\ H_{1qp} &= \operatorname{ch} 2\beta L \sin^2 \xi + \cos 2\alpha L \cos^2 \xi - 1 \end{aligned} \right\}. \quad (4)$$

Здесь  $Z_c = Z_c (\cos \xi + j \sin \xi)$  - волновое сопротивление,  $L$  - длина ЛЭП,  $\underline{\gamma} = \beta + j\alpha$  - коэффициент распространения электромагнитной волны.

Из уравнений длинной линии можно также получить выражение для напряжения в начале ЛЭП по данным ее конца в виде:

$$\begin{aligned} \underline{U}_1 &= U_{1a} + jU_{1p} = U_2 (\operatorname{ch} \beta L \cos \alpha L) + \frac{PZ_c}{U_2} (\operatorname{sh} \beta L \cos \alpha L \cos \xi - \operatorname{ch} \beta L \sin \alpha L \sin \xi) + \\ &+ \frac{QZ_c}{U_2} (\operatorname{ch} \beta L \sin \alpha L \cos \xi + \operatorname{sh} \beta L \cos \alpha L \sin \xi) + j \left[ U_2 (\operatorname{sh} \beta L \sin \alpha L) + \right. \\ &\left. + \frac{PZ_c}{U_2} (\operatorname{ch} \beta L \sin \alpha L \cos \xi + \operatorname{sh} \beta L \cos \alpha L \sin \xi) + \frac{QZ_c}{U_2} (\operatorname{ch} \beta L \sin \alpha L \sin \xi - \operatorname{sh} \beta L \cos \alpha L \cos \xi) \right] \end{aligned} \quad (5)$$

При этом модуль напряжения и угол сдвига фаз векторов напряжений определяются выражениями

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= \sqrt{U_{1a}^2 + U_{1p}^2} \\ \delta &= \arctg(U_{1p} / U_{1a}) \end{aligned} \right\}. \quad (6)$$

В приведенных уравнениях (1)-(6) параметры  $Z_c, \xi, \alpha$  и  $\beta$  зависят, в свою очередь, от удельных параметров ЛЭП ( $r_0, x_0, g_0, b_0$ ) следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} Z_c &= \sqrt{z_0/y_0} \\ \xi &= -\arctg \sqrt{\frac{z_0 y_0 - r_0 g_0 - x_0 b_0}{z_0 y_0 + r_0 g_0 + x_0 b_0}} \\ \alpha &= \sqrt{0,5(z_0 y_0 - r_0 g_0 + x_0 b_0)} \\ \beta &= \sqrt{0,5(z_0 y_0 + r_0 g_0 - x_0 b_0)} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

где  $z_0 = \sqrt{r_0^2 + x_0^2}$ ;  $y_0 = \sqrt{g_0^2 + b_0^2}$ .

В случае, когда по концам линии установлены устройства РМУ, измеряющие потоки активной и реактивной мощности  $P_{1uzm}$ ,  $P_{2uzm}$ ,  $Q_{1uzm}$ ,  $Q_{2uzm}$ , модули напряжения  $U_{1uzm}$ ,  $U_{2uzm}$  и угол между векторами напряжений  $\delta_{1uzm}$ , задача идентификации удельных параметров ЛЭП по данным замеров  $P$ ,  $Q$ ,  $U$  и  $\delta$  по обоим концам ЛЭП с помощью устройств РМУ может быть сформулирована следующим образом.

Необходимо минимизировать целевую функцию наименьших квадратов:

$$F = \left( \frac{\Delta P_{uzm} - \frac{P_{2uzm}^2 + Q_{2uzm}^2}{U_{2uzm}^2} H_{ia} - U_{2uzm}^2 H_{Ua} - P_{2uzm} H_{pa} - Q_{2uzm} H_{qa}}{P_{1uzm} - P_{2uzm}} \right)^2 + \left( \frac{U_{1uzm} - \sqrt{U_{1a}^2 + U_{1p}^2}}{U_{1uzm}} \right)^2 +$$

$$+ \left( \frac{\Delta Q_{uzm} - \frac{P_{2uzm}^2 + Q_{2uzm}^2}{U_{2uzm}^2} H_{ip} - U_{2uzm}^2 H_{Up} - P_{2uzm} H_{pp} - Q_{2uzm} H_{qp}}{Q_{1uzm} - Q_{2uzm}} \right)^2 + \left( \frac{\delta_{1uzm} - \arctg \frac{U_{1p}}{U_{1a}}}{\delta_{1uzm}} \right)^2 \quad (8)$$

Поскольку выражения (1)-(8), содержат нелинейные зависимости, решение задачи идентификации параметров ЛЭП возможно численными методами.

Для решения данной задачи предлагается использовать такой метод многомерной оптимизации, как метод покоординатного спуска [5]. Каждая переменная ( $r_0$ ,  $x_0$ ,  $g_0$ ,  $b_0$ ) в данном случае является одной из координат, в системе которых необходимо найти минимум функции  $F$ . Для нахождения минимума по каждой из координат можно использовать метод золотого сечения.

Исследования показали, что целевая функция является полимодальной. Это означает зависимость решения от начального приближения и задаваемой области изменения искомых параметров в алгоритме золотого сечения. Однако, поскольку решение задачи идентификации предполагается выполнять через короткие промежутки времени (практически в режиме on-line), в течение которых удельные параметры ЛЭП не могут существенно измениться, то, принимая в качестве исходных приближений результаты предыдущего решения и сравнительно узкий интервал возможного их изменения (10-15%), можно ожидать получение верного устойчивого решения. В качестве проверки верности решения задачи могут выступать критерии  $F \approx 0$  и нахождение решения не на границе интервала возможного изменения.

В случае использования в качестве замеров значений потоков энергии (по концам ЛЭП установлены счетчики электроэнергии) в уравнении (8) вместо выражений для потерь мощности могут быть использованы выражения для потерь энергии типа (2).

Следует отметить, что, если будет создана система мониторинга удельных параметров ЛЭП, то по характеру изменения этих параметров, в частности, проводимостей  $g_0$  и  $b_0$ , можно будет судить о влиянии погодных условий на работу линии (наличие гололедообразования, коронирование проводов), что является очень важным для эксплуатационных подразделений ОАО «ФСК ЕЭС». По удельным параметрам могут быть также определены параметры любой модели ЛЭП, в том числе и П-образной, используемой в программах расчета режимов и оценивания состояния электроэнергетических систем. Уточнение модели ЛЭП в процессе эксплуатации является актуальным для подразделений Системного оператора (ОАО «СО ЕЭС»).

## Список используемой литературы:

1. IEEE Standard for Synchrophasors for Power System / IEEE Std. C37.118-2005. – New York: IEEE, 2006. – 57 p.
2. Рыжов Ю.П. Дальние электропередачи сверхвысокого напряжения. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 488 с.
3. Степанов А.С., Маругин В.И., Степанова А.А. О составляющих потерь мощности в линиях электропередач // Вестник СевКавГТУ. – 2010.- №3 (24).- С.105-108.
4. Кононов Ю.Г., Степанов А.С., Степанова А.А. Расчет потерь энергии в линиях электропередачи // Материалы XVI Всероссийской научно-технической конференции «Энергетика: экология, надежность, безопасность». – Томск: Изд. ТПУ, 2010. – С. 19-21.
5. Амосов А.А., Дубинский Ю.А., Копченова Н.В. Вычислительные методы для инженеров. – М.: Высшая школа, 1994. – 544с.

УДК 62-529

**Оптимизация движения лифтов в офисных зданиях по критерию минимизации затрат на электричество**

***В.И. Козляева, Б.Э. Забержинский***

*Самарский государственный технический университет, г. Самара, Россия*

***E-mail: zabor@russia.ru***

This is an article about lifts with system of artificial intelligence. Here you can know how work of the lifts must be organized for the savings of electric power in the office buildings.

Современные многоэтажные здания для облегчения и ускорения перемещения людей и грузов оборудуют средствами вертикального транспорта. Их основное преимущество - небольшая площадь. Из всех видов подъемников, наиболее распространены лифты. [1]

Рассмотрим организацию работы лифта в офисном здании. Т.к. в разное время пассажиропоток меняется, то и схемы движения необходимо менять. В статье [2] показан оптимальный алгоритм движения лифта, который будет выбран правильно в том случае, когда основная масса людей едет с первого этажа на последний или с последнего на первый. Однако во время перерывов пассажиропоток меняется, когда, например, люди едут на один какой-нибудь этаж в буфет/столовую или вообще выходят из помещения. Тогда схему движения необходимо изменить, т.к. совсем не рационально «гонять» лифт по всему зданию. При этом важно рассчитать не только количество затраченной электроэнергии, но и время, которое ждет пассажир, пока лифт не приехал.

Пусть имеется девятиэтажное офисное здание, на каждом этаже находится по одному человеку. Обозначим этого человека с помощью цифры и буквы, Например: 1а, где 1 – это этаж, на который необходимо попасть, а «а» - имя человека. 5 этаж – этаж, на который во время перерыва едет большее количество человек.

9 эт.	<b>1a</b>
8 эт.	<b>5b</b>
7 эт.	<b>5c</b>
6 эт.	<b>1d</b>
5 эт.	<b>2e</b>
4 эт.	<b>9f</b>
3 эт.	<b>1g</b>
2 эт.	<b>5h</b>
1 эт.	<b>5i</b>

Рис.1а. «Пассажиры».

9 эт.	<b>1a</b>		
8 эт.	<b>5b</b>		
7 эт.			<b>5c</b>
6 эт.			<b>2d</b>
5 эт.		<b>1e</b>	
4 эт.			<b>9f</b>
3 эт.	<b>1g</b>		
2 эт.		<b>5h</b>	
1 эт.	<b>5i</b>		
Кабина	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>

Рис.1б. «Случайное распределение пассажиров по кабинам».

Подсчитаем количество затраченной электроэнергии и время ожидания каждого пассажира. Пусть лифт начинает свое движение с верхних этажей, на которых находятся пассажиры. После начала движения поступают сигналы от остальных пассажиров, если пассажир находится по пути с движением лифта, то лифт его забирает.

Пусть  $t$  – время, за которое проезжает лифт один этаж.

$0,25t$  – время, которое требуется для посадки/высадки одного пассажира.

Применяя данные обозначения, получим:

Табл.1.«Время ожидания лифта каждого пассажира».

	1a	5b	5c	2d	1e	9f	1g	5h	5i
тож.	0	1,25t	0	1,25t	0	8	6,75t	5,5t	9,5t

Тогда общее время ожидания:

$$T_{\text{общ}}=32,25t$$

Подсчитаем количество затраченной электроэнергии [2]:

$$\text{Кабина 1: } (A+B)+3*(A+2B)+2*(A+B)+2*(A+2B)+4*(A+B)=10A+15B=11,35A$$

$$\text{Кабина 2: } 4*(A+B)+A+3*(A+B)=8A+7B=8,63A$$

$$\text{Кабина 3: } (A+B)+(A+2B)+3*(A+B)+2A+5*(A+B)=12A+11B=12,99A$$

Всего затратили 32,97A электроэнергии.

Выберем оптимальный алгоритм движения лифтов, при котором можно будет уменьшить время ожидания и затраты на электроэнергию.

Т.к. максимальное число вызовов поступает на пятый этаж, то сделаем его приоритетным. Пусть первый лифт едет с пятого по девятый этаж, а второй – с первого по пятый. Причем таким способом, что они будут обслуживать, только тех людей, которые едут либо с пятого этажа, либо на пятый. Третий лифт будет ездить в обычном режиме, но без возможности заезжать на пятый этаж. Схема движения лифта будет выглядеть следующим образом:

9 эт.			1a
8 эт.	5b		
7 эт.	5c		
6 эт.			1d
5 эт.		2e	
4 эт.			9f
3 эт.			1g
2 эт.		5h	
1 эт.		5i	
Кабина	1	2	3

Рис. 1в. «Схема движения лифта с искусственным интеллектом».

Рассчитаем время ожидания:

Табл.2.«Время ожидания каждого пассажира».

	1a	5b	5c	2d	1e	9f	1g	5h	5i
тож.	0	0	1,25t	3,25t	0	12,5t	6,5t	5,75t	4,5t

$$T_{\text{общ}}=33,75t$$

Количество затраченной электроэнергии:

$$\text{Кабина 1: } (A+B)+2*(A+2B)=3A+5B=3,45A$$

$$\text{Кабина 2: } 4*(A+B)+(A+B)+3*(A+2B)=8A+11B=8,99A$$

$$\text{Кабина 3: } 3*(A+B)+3*(A+2B)+(A+3B)+(A+2B)+3A+5A=16A+14B=17,26A$$

Общее количество электроэнергии равно 29,7A. Таким образом, применяя данную схему движения, можно сэкономить примерно 10% электроэнергии. Однако время ожидания немного увеличится. Выберем наиболее оптимальный вариант, видоизменив предыдущую схему.

Пусть первый и второй лифты работают также, но возят не всех людей, чьи вызовы поступают с пятого и на пятый этаж, а только группы людей. Третий лифт едет в обычном режиме, при этом имея возможность заезжать на пятый этаж. Получается следующая схема:

9 эт.			1a
8 эт.	5b		
7 эт.	5c		
6 эт.			1d
5 эт.			2e
4 эт.			9f
3 эт.			1g
2 эт.		5h	
1 эт.		5i	
Кабина	1	2	3

Рис. 1г. «Схема движения лифта с искусственным интеллектом».

Подсчитаем время ожидания:

Табл.4. «Время ожидания каждого пассажира».

	1a	5b	5c	2d	1e	9f	1g	5h	5i
тож.	0	0	1,25t	3,25	4,5t	12t	6,5	1,25t	0

$$T_{\text{общ}}=28,75A$$

Количество электроэнергии:

$$\text{Кабина 1: } (A+B)+2*(A+B)=3A+5B=3,45A$$

$$\text{Кабина 2: } (A+B)+3*(A+2B)=4A+7B=4,63A$$

$$\text{Кабина 3: } 3*(A+B)+(A+2B)+2*(A+3B)+(A+4B)+(A+3B)+3A+5(A+B)=16A+23B=18,07A$$

Общее количество электроэнергии равно 26,15A. Таким образом, данная схема движения в общем случае помогает уменьшить расходы электроэнергии примерно на 21%, а также уменьшить общее время ожидания пассажиров.

Итак, важной задачей лифтов с системой искусственного интеллекта является наиболее рациональное распределение пассажиропотоков между лифтами. Перед выбором того или иного принципа необходимо определить для каких целей будет использоваться лифт (это офисное здание или жилой дом), насколько насыщенный будет пассажиропоток, в какое время наблюдается наибольшая загруженность, рассчитать наиболее подходящую грузоподъемность для каждого лифта, его тип. Для этого сначала нужно запустить систему искусственного интеллекта в тестовом режиме, а через какое-то время, сравнив эти показатели, выбрать наиболее подходящий алгоритм для управления лифтами. Это достаточно трудоемкий процесс, требующий времени, но выгода, полученная при наиболее рациональном использовании существенна, т.к. увеличивается срок службы лифта, снижаются затраты на электроэнергию и обслуживание лифта, значительно снижается время ожидания.

#### Список используемой литературы:

1. <http://www.claw.ru/book-readywork/?p=147&d=5&t=5&w=14607>
2. Карташева Е.В., Забержинский Б.Э. Современные подходы к автоматизации лифтового хозяйства в малоэтажных зданиях // X Всероссийская конференция молодых ученых «Информационные технологии, системный анализ и управление».

#### Снижение энергопотерь при импульсно-дуговой сварке

*М. А. Крампит, А. В. Дмитриева*

*Юргинский технологический институт Томского политехнического университета, г. Юрга, Россия*

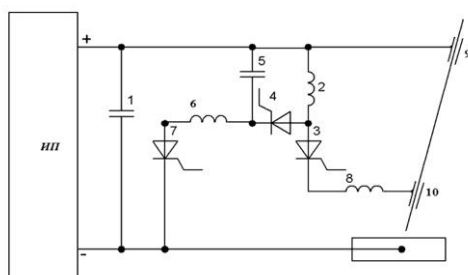
*E-mail: [savage\\_jawa@mail.ru](mailto:savage_jawa@mail.ru)*

В статье показано устройство, использующее подогрев электродной проволоки.

Импульсные методы при сварке в активных газах позволяют решить ряд задач, связанных с управлением процесса переноса электродного металла, управлением формирования геометрии и структуры сварного соединения [1, 2].

Недостатком сварочного процесса без брызг является ограничение производительности расплавления металла, а вместе с ней и рабочей скорости. Так как плавление проволоки осуществляется с перерывами, «капля за каплей», требуемая производительность расплавления металла при традиционной импульсно-дуговой сварке имеет верхний предел - для заданного диаметра сварочной проволоки существует верхняя частота импульсов, начиная с которой времени между импульсами недостаточно для распознавания регулируемого или нерегулируемого отрыва капли по типу дуги со струйным переносом металла вследствие низкого уровня тока. Процесс ослабевает, но не переходит в чисто дуговой со струйным переносом металла. В этом случае сварщики говорят, что «сварочная проволока достигла предела». Поэтому в зависимости от задачи при выполнении традиционной импульсно-дуговой сварки пользователь должен решить, компенсирует ли сварка с минимальным количеством брызг низкую рабочую скорость. Как и прежде, на многих предприятиях отдают предпочтение классическому методу сварки в среде защитного газа, особенно, при сварке углеродистых сталей. [3]

Также, устройства для импульсного питания сварочной дуги, построенные по принципу «импульсно-регулируемого сопротивления» [4], обладают определенным недостатком, а именно, наличием балластного сопротивления для обеспечения формирования тока паузы, которое приводит к потерям мощности, идущей на его нагрев, что снижает эффективность применения импульсных процессов.



В статье для повышения эффективности процесса импульсного питания сварочной дуги предлагается устройство, использующее подогрев вылета электродной проволоки.

Рис. 1. Схема устройства, использующего подогрев электрода в паузе.

Схема данного устройства представлена на рисунке 1. Устройство состоит из источника питания ИП, к выводам которого подключен фильтрующий конденсатор 1, плюс источника питания соединен с верхней обкладкой коммутирующего конденсатора, соединенной нижней обкладкой через зарядный дроссель 6 с анодом зарядного тиристора, который соединен катодом с минусом источника питания ИП. К плюсу источника питания ИП подключен коммутирующий дроссель, соединенный с анодом силового тиристора, катод которого соединен с силовым дросселем 8. Силовой дроссель 8, в свою очередь, соединен через контактный наконечник 10 и сварочную дугу с минусом источника питания. Также имеется коммутирующий тиристор 4, соединенный анодом с анодом силового тиристора 3, а катодом – с нижней обкладкой коммутирующего конденсатора 5 и с зарядным дросселем 6. Плюс источника питания ИП соединен через контактный наконечник 9 с участком электродной проволоки между контактными наконечниками 9 и 10.

Порядок работы устройства: для управления переносом электродного металла используются импульсы, получаемые за счет протекания сварочного тока по цепи: плюс источника питания ИП – коммутирующий дроссель 2 – силовой тиристор 3 – дроссель 8 – второй контактный наконечник 10 – сварочная дуга – минус источника питания ИП. Для обеспечения протекания тока паузы при отпирании вспомогательного тиристора к аноду силового тиристора 3 прилагается обратное напряжение перезаряда коммутирующего конденсатора 5 через коммутирующий дроссель 2, предварительно заряженного с помощью зарядного дросселя 6 и зарядного тиристора 7. В паузе сварочный ток протекает по цепи: плюс источника питания ИП – первый контактный наконечник 9 – участок электрода между контактными наконечниками 9 и 10 – сварочная дуга – минус источника питания ИП. Сварочный ток в паузе ограничивается за счет сопротивления вылета электрода между контактными наконечниками при этом теплота, выделяемая в вылете электрода, пойдет на повышение начальной температуры торца электрода, и во время следующих импульсов потребуются меньшее количество энергии на расплавление капель электродного металла.

Устройство, использующее подогрев электрода в паузе, выполнено и апробировано в экспериментальной лаборатории Юргинского технологического института Томского политехнического университета [5]. Осциллограммы тока и напряжения процесса сварки при импульсном питании с подогревом электрода в паузе представлены на рисунке 2. Горение дуги устойчивое во всем изменяемом диапазоне.

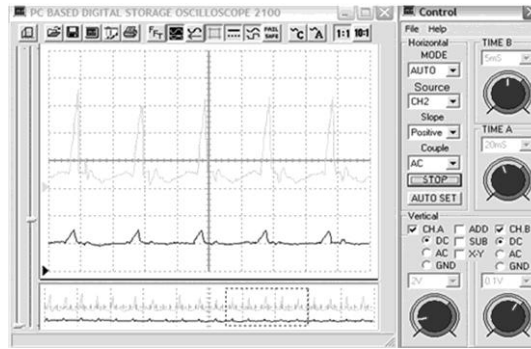


Рис. 2. Осциллограмма процесса сварки при импульсном питании с дополнительным участком между контактными наконечниками.

Для поиска оптимальных режимов сварки с помощью программы Mathcad предложена математическая модель процесса.

Приняты следующие начальные условия:

- температура окружающей среды – 20°C
- удельное сопротивление ( $\rho$ ) –  $0,14 \cdot 10^{-6}$  Ом\*м;
- удельная теплоемкость ( $c$ ) –  $0,14 \cdot 10^{-6}$  Дж/кг\*К;
- диаметр проволоки ( $d$ ) – 1,2 мм;
- температурный коэффициент зависимости сопротивления от температуры ( $\alpha$ ) –  $0,04 \text{K}^{-1}$ .

Граничные условия:

-максимальная температура подогрева 600°C (получена экспериментально с учетом обеспечения устойчивости горения дуги);

-ток паузы 35А;

-частота импульсов – 100 Гц

Методом подбора определены параметры:

-скорость подачи электродной проволоки 430 м/ч.

-вылет проволоки между контактными наконечниками 0,2 м,

-шаг проволоки за 1 цикл равен  $1,153 \cdot 10^{-3}$  м/с.

Выделяемая теплота на каждом участке вылета за один цикл находится по закону Ома

$$Q = I_{\text{паузы}}^2 R t_{\text{паузы}},$$

где:  $Q$  – выделяемая теплота за один цикл, Дж;

$I_{\text{паузы}}$  – сила тока паузы, А;

$R$  – сопротивление вылета электродной проволоки, Ом;

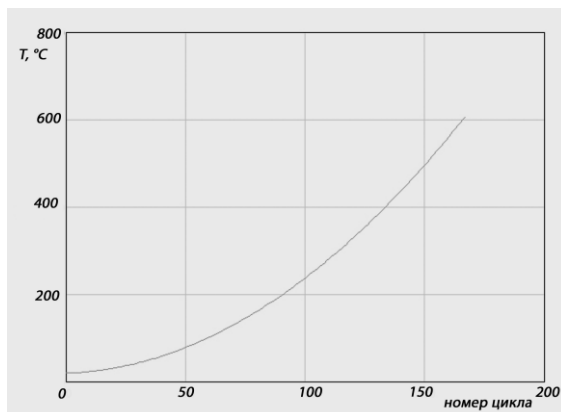
$t_{\text{паузы}}$  – время паузы, с.

а изменение температуры –

$$\Delta T = \frac{Q}{cm}.$$

где:  $c$  – удельная теплоемкость, Дж/кг\*К;

$m$  – масса вылета электродной проволоки, кг.



Изменение сопротивления с повышением температуры определено по формуле –

$$R = \alpha R T.$$

Найдя сопротивление вылета проволоки за 1 цикл и приняв ток паузы 35А, рассчитана выделяемая теплота. Просчитаны изменения за последующие циклы и выведена зависимость температуры участка от номера цикла (рис. 3).

Рис.3. График зависимости температуры участка от номера цикла.

Расчеты показывают, что расход энергии, необходимой для расплавления проволоки и



формирования капли, снижается на 35%, по сравнению с обычным импульсно-дуговым режимом. Этот запас энергии позволяет повысить частоту импульсов при аналогичном управлении процессом «один импульс - одна капля».

Кратковременность действия тока импульса позволяет сваривать тонколистовой металл без прожогов. При наплавке снижается доля основного металла в наплавляемом слое.

Проведенные экспериментальные исследования показывают, что использование теплоты, выделяемой на участке между контактными наконечниками, снижает удельное теплосодержание капель электродного металла, повышает производительность наплавки (до 2-х раз), а также повышает коэффициент полезного действия системы импульсного питания.

Использование данного устройства при сварке с импульсным питанием сварочной дуги обеспечивает качественное формирование облицовочного шва.

Таким образом, проведенные исследования показали, что наиболее рациональная область применения импульсных устройств с подогревом вылета электродной проволоки при сварке в щелевую разделку последних слоев и при наплавке.

Применение устройства позволяет повысить эффективность процесса сварки с импульсным питанием сварочной дуги, а именно:

-расширить диапазоны применения сварки плавящимся электродом с управляемым механизмом переноса электродного металла;

-уменьшить тепловложение в сварное соединение;

-снизить газодинамическое воздействие со стороны сварочной дуги, благодаря чему повышается устойчивость горения дуги и улучшается формирование сварного шва.

#### **Список используемой литературы:**

1. Крампит Н.Ю., Крампит А.Г., Князьков С.А. Особенности импульсного управления процессом сварки в CO<sub>2</sub> длинной дугой // Автоматизация и современные технологии. – 2002 - № 9. - С. 12-15.
2. Крампит Н.Ю., Крампит А.Г. Схема воздействия импульсного питания сварочной дуги на структуру формирующегося сварного соединения // Вопросы материаловедения. – 2003 - №2 (34), – С. 45-51.
3. <http://www.svarka.info.ru/rus/lib/blog/blod16062010.php>
4. Князьков А.Ф., Крампит Н.Ю., Крампит А.Г. Усовершенствование процесса сварки в среде углекислого газа при модернизации оборудования // Ремонт, восстановление, модернизация – 2008, – № 9. – С. 27-31.
5. Крампит Н.Ю., Крампит А.Г., Крампит М.А. Устройство, использующее подогрев электродной проволоки // Ремонт, восстановление и модернизация. – 2011. – № 7. – С. 9-11.

## Секция 2

## Эффективность теплоэнергетических установок и систем

УДК 621.039. 621.311

**Метод расчета показателей надежности теплофикационных парогазовых установок в системах теплоэнергоснабжения***М.С. Анкудинова, Е.А. Ларин, Л.А. Сандалова**Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,**г. Саратов, Россия**E-mail:larin@sstu.ru*

Разработан комплекс математических моделей расчета показателей надежности структурно сложных многофункциональных комбинированных установок в системах теплоэнергоснабжения. Комплекс позволяет решать ряд практических задач по обеспечению надежности систем теплоэнергоснабжения

Общие положения. Одним из обязательных условий создания и функционирования теплоэнергоснабжающих систем является обеспечение заданной (оптимальной) надежности энергоснабжения потребителей. Под надежностью систем теплоэнергоснабжения понимается управляемое их свойство обеспечивать потребителей тепловой и электрической энергией необходимого качества в требуемом в данный момент времени в соответствии с графиками энергопотребления количестве в течение определенного периода времени и недопущение ситуаций, опасных для людей и окружающей среды. Теплофикационные парогазовые установки (ПГУ) и системы теплоэнергоснабжения (СТЭ) на их основе относятся к классу структурно сложных многофункциональных восстанавливаемых систем. Многофункциональность обусловлена не только комбинированным характером производства различных видов энергии и энергоносителей (электроэнергия, технологический пар, горячая вода), но и энергообеспечением различных потребителей, каждый из которых предъявляет специфические требования по надежности. Ключевым вопросом надежности СТЭ и теплофикационных ПГУ является понятие отказа. Отказы СТЭ, ПГУ в целом и их элементов следует делить на отказы работоспособности и функционирования. Первая категория отказов связана с переходом элемента, установки или системы в момент времени  $t$  из работоспособного состояния в неработоспособное (или частично неработоспособное). Отказы функционирования связаны с тем, что система в данный момент времени  $t$  не обеспечивает (или частично не обеспечивает) заданный потребителем уровень энергоснабжения (электрической или тепловой мощности). Очевидно, что отказ работоспособности элемента, установки не означает отказа функционирования и наоборот.

Выбор показателей надежности ПГУ. Указанные положения определяют выбор показателей надежности (ПН) теплофикационных ПГУ и СТЭ. Известны [1,2] единичные ПН - интенсивность отказов -  $\lambda(t)$ , интенсивность восстановлений -  $\mu(t)$ , вероятность безотказной работы в течение периода времени  $t$  -  $P(t)$ , вероятность восстановления за период времени  $t$  -  $F(t)$ , а также комплексные ПН - динамический коэффициент готовности или его стационарное значение  $k_r = \mu / (\mu + \lambda) = \text{const}$  при  $\lambda(t) = \lambda = \text{const}$  и  $\mu(t) = \mu = \text{const}$ . Интегральным показателем надежности СТЭ является коэффициент обеспеченности  $\pi = 1 - M\{\Delta W\} / W_{пл}$ , где  $M\{\Delta W\}$  - математическое ожидание недоотпуска потребителю энергии за плановый период работы  $T_{пл}$ ;  $W_{пл}$  - плановый отпуск потребителю энергии за этот же период времени.

Приведенные комплексные и интегральные показатели надежности зачастую не позволяют корректно решать задачи обеспечения надежности энергоснабжения потребителей. Так, например, заданное (оптимальное) значение коэффициента обеспеченности  $\pi$ , определяемое через недоотпуск потребителям энергии, может быть достигнуто различным уровнем дефицита мощности и продолжительности. Однако ущерб потребителя определяется не только недоотпуском, например, электроэнергии, но и глубиной отключения мощности. Для учета этого положения предложен динамический вероятностный показатель надежности СТЭ, учитывающий как полные и частичные отказы работоспособности ПГУ и СТЭ, так и отказы функционирования - коэффициент эффективности функционирования системы  $k_3(t)$ , рассчитываемый по формуле

$$k_{\gamma}(t) = P(t, \Phi \geq \Phi_{\gamma}) P(t, \Phi_{\gamma} \geq \Phi_{tr}),$$

где первый множитель есть вероятность того, что в момент времени  $t$  значение выходного эффекта системы (уровень мощности)  $\Phi$  будет не ниже некоторого заданного значения  $\Phi_{\gamma}$  и определяется структурой СТЭ, ПН отдельных ее элементов, принятыми способами резервирования и т.д.; второй - вероятность того, что в момент времени  $t$  величина выходного эффекта  $\Phi_{\gamma}$  будет не ниже требуемого графиком нагрузок потребителя  $\Phi_{tr}$ , т.е. определяется графиками потребления электрической и тепловой энергии.

Применение указанного показателя обуславливает возможность и целесообразность применения методов декомпозиции при расчете надежности структурно сложных СТЭ, позволяет анализировать СТЭ как с позиции ее структуры, так и с точки зрения обеспечения графиков энергопотребления.

Решение задачи оптимального способа обеспечения заданных (оптимальных) значений ПН систем энергоснабжения требует разработки иерархически построенной системы моделей расчета ПН энергоустановок и СТЭ.

Метод расчета ПН теплофикационных ПГУ. Для комбинированных теплофикационных парогазовых ТЭЦ, предназначенных в общем случае для выработки электроэнергии, технологического пара и горячей воды, характерна взаимосвязь вырабатываемых видов энергии. Это приводит к необходимости расчета взаимозависимых ПН по отпуску каждого из видов вырабатываемой энергии.

Эволюция состояний установки представляется последовательностью случайных величин периодов работоспособности  $t_p$  и восстановлений  $t_b$ , т.е.  $t_{p1}, t_{b1}, t_{p2}, t_{b2}, \dots, t_{pn}, t_{bn}$ . Если состояние  $i$ -го элемента ПГУ в момент времени  $t$   $X_i(t)$ , то состояние установки описывается графом вида

$$X(t) = \{X_1(t), X_2(t), \dots, X_i(t), \dots, X_n(t)\}.$$

Установка полностью работоспособна если  $X(t) = \{1, 1, \dots, 1, \dots, 1\}$ . Для расчета ПН ПГУ необходимо определить вероятности и время нахождения установки во всех возможных состояниях. Настоящая методика базируется на использовании марковской модели эволюции состояний системы, в основе которой лежит описание ее функционирования с помощью марковского процесса с дискретным множеством состояний и непрерывным временем. Основой предпосылки использования марковской модели является принятие экспоненциальных законов распределения времени работы и восстановления. В случае, когда реальные законы распределения величин  $t_p$  и  $t_b$  отличны от экспоненциального, необходимо эти распределения можно представить кусочно-постоянными функциями с постоянными значениями  $\lambda$  и  $\mu$ .

Если ПГУ состоит из  $n$  элементов, то в матричном виде система дифференциальных уравнений расчета вероятностей всех возможных состояний примет вид

$$\frac{\partial P}{\partial t} = \Lambda(t)P(t), \quad (1)$$

где  $\Lambda(t)$  - матрица интенсивностей переходов;  $P(t)$  - вектор-столбец вероятностей состояний.

Для решения системы (1) разработан и реализован комплекс расчетных программ, использующий метод Рунге-Кутты.

Для расчета ПН ПГУ ее структурная схема представляется в виде  $n$  ( $i=1, n$ ) последовательно соединенных агрегированных блоков, каждый из которых содержит  $L_i = M_i + P_i$  элементов, где  $M_i$  и  $P_i$  - соответственно, число рабочих и резервных элементов  $i$ -го блока. Матрица возможных состояний установки представляется в виде совокупности вершин и дуг. Вершины состояний характеризуются  $(n+k)$ -мерным графом вида

$$\{X_1^z, X_2^z, \dots, X_n^z, X_p^z, \dots, Q_p^z, N_p^z, B_r^z\} = \{X_n^z, N_n^z, Q_n^z, B_r^z\}, \quad (2)$$

$$z = 1, Z; i = 1, n; r = 1, R$$

где  $Z$  - число возможных состояний установки;  $n$  - число выделенных агрегированных блоков;  $R$  - число видов теплоносителя, отпускаемых установкой;  $X_i^z$  - число отказавших элементов  $i$ -го блока в  $z$ -м состоянии;  $Q_p^z, N_p^z$  - соответственно, располагаемая производительность по отпуску  $r$ -го вида теплоносителя в  $z$ -м состоянии и электрическая мощность;  $B_r^z$  - расход топлива в ПГУ на выработку электрической и тепловой энергии.

Процедуры формирования совокупности состояний энергоустановки, матрицы интенсивностей переходов и решения системы дифференциальных (алгебраических) уравнений

изменения вероятностей состояний формализованы и представлены в виде комплекса расчетных программ. Каждому возможному состоянию установки с определенными в результате решения системы уравнений (1) вероятностями соответствуют определенные уровни выходного эффекта энергоустановки по отпуску электрической  $N_p^z$  и тепловой  $Q_p^z$  энергии. Представляя требуемые условия функционирования ПГУ в виде детерминированной кусочно-постоянной функции  $N_{sj}(j=1,G)$  и  $Q_{sj}(j=1,G)$ , все множество состояний ПГУ можно разделить на подмножества. Одно из них ( $z \in S^+$ ) характеризуется уровнями работоспособности  $N_p^z \geq N_s$  и  $Q_p^z \geq Q_p$ , а другое ( $z \in S^-$ ) состояниями отказа работоспособности или отказа функционирования, т.е.  $N_p^z < N_s$  и  $Q_p^z < Q_p$ .

Если вероятности состояний ПГУ определены, то вероятность нахождения установки в совокупном состоянии  $S^+$ , т.е. коэффициент готовности по отпуску электрической мощности и тепловой производительности по отношению к фиксированному уровню работоспособности за период времени  $t$  определится по формулам

$$P_H(t) = K_r^z(N_s, t) = \sum_{z \in S^+} P_z(N_p^z > N_s, t) = 1 - \sum_{z \in S^-} P_z(N_p^z < N_s, t), \quad (3)$$

$$P_H(t) = K_r^z(Q_s, t) = \sum_{z \in S^+} P_z(Q_p^z > Q_s, t) = 1 - \sum_{z \in S^-} P_z(Q_p^z < Q_s, t). \quad (4)$$

Среднеинтегральные значения коэффициентов готовности за период  $T$  составят

$$K_r^z(N_s) = \frac{1}{T} \int_0^T K_r^z(N_s, t) dt, \quad K_r^z(Q_s) = \frac{1}{T} \int_0^T K_r^z(Q_s, t) dt. \quad (5)$$

Среднее значение параметра потока отказов ПГУ определится как сумма произведений вероятностей отказов работоспособности на интенсивность переходов системы из области соответствующих работоспособных состояний  $S^+$  в неработоспособное состояние  $S^-$ , т.е.

$$\omega^z(t) = \sum_{z \in S^+} \left[ P_z(t) \sum_{z \in S^-} \lambda_{ij} \right], \quad \omega^z(t) = \sum_{z \in S^+} \left[ P_z(t) \sum_{z \in S_0} \lambda_{ij} \right]. \quad (6)$$

Подмножество состояний  $S^+$  содержит состояния с различной располагаемой мощностью ( $N_s, N_p, N_u$ ) и производительностью ( $Q_s, Q_p, Q_u$ ). Для учета частичных отказов энергоустановки можно рассчитать коэффициент готовности по формулам

$$K_r^z(t) = \sum_{z \in S^+} P_z(t) \bar{N}^z; K_r^z(t) = \sum_{z \in S^+} P_z(t) \bar{Q}^z, \quad (7)$$

где  $\bar{N}^z, \bar{Q}^z$  - уровень относительной электрической и тепловой мощности установки в  $z$ -м состоянии.

Теоретический анализ выражений (1-7) показывает, что ПН теплофикационных ПГУ по отпуску различных видов энергии являются взаимозависимыми. Расчетно-теоретическими исследованиями установлено, что величины динамических значений  $K_r^z(t)$  и  $K_r^z(t)$  достигают стационарных значений через относительно небольшой период времени, который зависит от значений интенсивностей отказов и восстановлений элементов установки. Это обстоятельство означает, что в практических расчетах можно пользоваться стационарными значениями указанных ПН.

Таким образом, разработанная вероятностная модель расчета показателей надежности комбинированных многоцелевых теплоэнергетических установок в системах теплоэнергоснабжения может быть использована для решения большого круга конкретных задач оптимизации схем и параметров комбинированных теплоэнергетических установок и систем, а также определения эффективности различных способов резервирования для обеспечения заданных показателей надежности энергообеспечения.

#### Список используемой литературы:

1. Надежность теплоэнергетического оборудования ТЭС и АЭС: Учеб. пособие для теплоэнергетических и энергомашиностроительных вузов / Г.П. Гладышев, Р.З. Аминов, В.З. Гуревич и др. // Под ред. А.И. Андрущенко. – М.: Высш. шк. – 1991. – 303 с.
2. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности. – М.: Наука, – 1985. – 524 с.

3. Ларин Е.А. Вероятностная модель расчета показателей надежности теплофикационных парогазовых установок в системах теплоэнергоснабжения // Известия ВУЗов. Проблемы энергетики. – 2010. – № 9 - 10. – С. 8 – 10.

УДК 621.1

**Оценка состояния системы теплоснабжения на примере пгт. Ясногорск,  
Забайкальского края**

*М.С. Басс, А.В. Варавка, А.А. Мирошникова*

*Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия*

*E-mail: bms77@mail.ru*

В статье произведена оценка состояния системы теплоснабжения на примере пгт. Ясногорск Забайкальского края. Приведен анализ применения современных теплоизоляционных материалов в системах теплоснабжения.

Теплоснабжение – одна из наиболее затратных областей коммунального хозяйства. Состояние тепловой изоляции является важным параметром для оценки эффективности системы транспорта тепла.

Для определения оптимального теплоизоляционного материала был разработан программный комплекс по расчету экономической толщины изоляции и тепловых потерь теплосетей. В нем были использованы нормативные методы разработанные Шубиным Е.П. [1] с учетом методики определения затрат при замене теплоизоляции тепловых сетей для условий Забайкальского края представленной выше.

В качестве примера применения данной методики рассмотрим систему теплоснабжения пгт. Ясногорск. Источником теплоснабжения является Харанорская ГРЭС ОАО «ОГК-3». На выходе с Харанорской ГРЭС на границе балансового раздела, теплоэнергия покупается ОАО «Коммунальник» и используется для нужд отопления и горячего водоснабжения населения поселка, прочих потребителей и собственного производства предприятия.

Система теплоснабжения условно делится на 10 лучей и насчитывает около 120 основных потребителей. Из них 38 многоэтажные жилые здания, на которые приходится основная доля тепловой нагрузки. Общая протяженность участков тепловой сети 16369 м. Материальная характеристика тепловых сетей представлена в таблице 1.

Таблица 1. Основные характеристики участков тепловых сетей пгт. Ясногорск.

Наименование участка теплосети	Наружный диаметр трубопровода ( $d_n$ , м)	Длина трубопровода (L, м)
<b>Воздушная прокладка</b>		
ХГРЭС - ПНС	0,530	1702
Врезка - УТ 33б	0,273	489
ГСМ - УТ 2а	0,159	169,5
Врезка КНС-2 - КОС	0,108	2243
<b>Подземная прокладка</b>		
ПНС - ТК 6	0,426	565
ТК 6 - ТК 12	0,325	522
УТ 31 - ТК 26	0,273	1359,5
ТК 26 - ТК 43	0,219	1506
ТК 1 - УТ 88	0,159	2880,5
ТК 34 - УТ 93	0,133	516,5
УТ 3 - Диспетчерская	0,108	1441
ТК 37 - Общежитие 7	0,89	609
УТ 110 - ИМНС	0,76	862
УТ 91 – Весенняя, 16	0,57	1005
ТК 30 – Багульная, 22	0,42	499
<b>Итого по надземной прокладке:</b>		<b>4 603,5</b>
<b>Итого по подземной прокладке:</b>		<b>11 766</b>
<b>Всего по участкам:</b>		<b>16 369</b>

Расчетный температурный график системы теплоснабжения 110/80 °С. Центральное регулирование тепловой нагрузки производится на ГРЭС. Расчетное давление на выходе с Харанорской ГРЭС: прямая – 1,05±0,05 МПа, обратная – 0,65±0,05 МПа. Расход сетевой воды на поселок 1100 т/ч. Отопление выполнено по зависимой схеме в основном с элеваторным смешением. Расчетная температура сетевой воды после элеватора 95/70 °С. Необходимая автоматика на системах отопления отсутствует.

Система ГВС – закрытая, подогреватели в основном включены по двухступенчатым схемам (последовательная и смешанная схема). Расчетная температура горячей воды у потребителя 55 °С. Температура нагреваемой воды на входе в подогреватель: 5 °С – зимой, 15 °С – летом. В качестве подогревателей используются кожухотрубные теплообменники. Автоматика на системах ГВС отсутствует.

В ходе расчетов были посчитаны затраты, на приобретение экономически оптимального количества теплоизолятора и покрывного слоя при воздушной и подземной прокладке для различных типов изоляции (рисунок 1). На нём: ППБ - пенополимербетон, ППУ - пенополиуретан, АПБ - армопенобетон, МВ - минеральная вата, ВП - вспененный полиэтилен, ФП - фенольный поропласт.

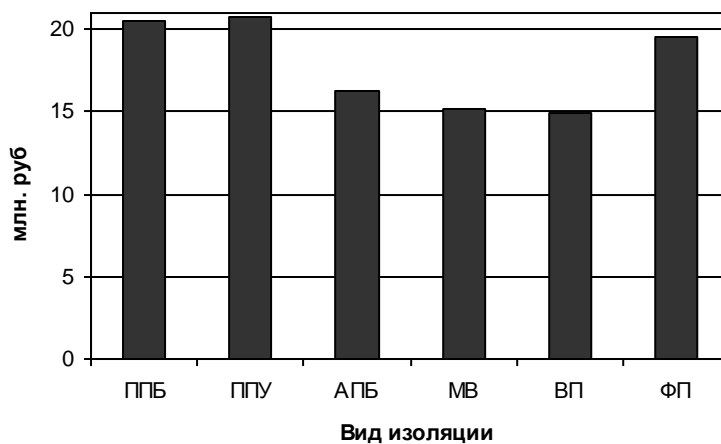


Рис. 1. Денежные затраты, необходимые для приобретения расчетного количества теплоизолятора и покрывного слоя.

Также были оценены тепловые потери в тепловых сетях в денежном эквиваленте, соответствующие существующим нормам и при использовании различных теплоизолирующих материалов (рисунок 2).

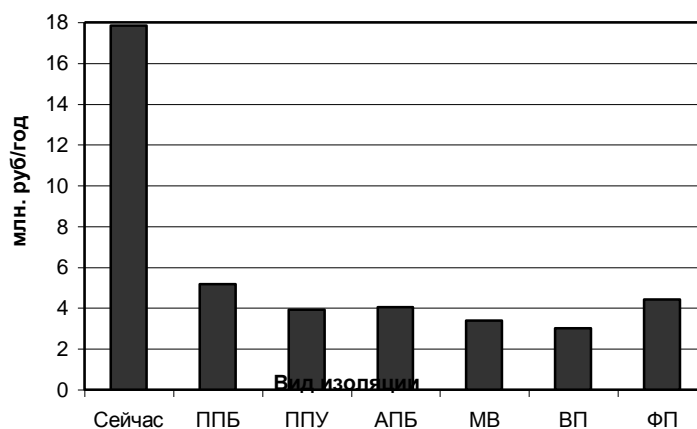


Рис. 2. Суммарные годовые финансовые потери.

В таблице 2 представлены конечные технико-экономические результаты определения оптимального изоляционного материала с оценкой срока окупаемости.

Таблица 2. Экономические показатели при замене теплоизолирующих материалов.

Материал	Полные финансовые затраты, млн.руб.	Ежегодная экономия, млн.руб./год	Срок окупаемости, год
<b>ППБ</b>	69,67	12,65	5,5
<b>ППУ</b>	70,05	13,93	5,0
<b>АПБ</b>	61,145	13,78	4,4
<b>МВ</b>	58,918	14,47	4,1
<b>ВП</b>	58,55	14,81	4,0
<b>ФП</b>	67,69	13,42	5,0

На основе расчетов, произведенных на разработанном программном комплексе [2, 3, 4], можно сделать вывод о том, что наиболее эффективным и экономичным из выбранных теплоизоляционных материалов является вспененный полиэтилен. Это подтверждают выводы по значениям тепловых потерь, а также по прибыли и сроку окупаемости. Ему незначительно уступает минераловатная изоляция. Самым нецелесообразным является теплоизолирующий материал из полимерпенобетона, так как у него самые высокие тепловые потери.

Однако, при конечном выборе теплоизоляционного материала, следует исходить не только из вышеприведенных факторов, а также следует учитывать следующие требования, предъявляемые к теплоизоляционным материалам и конструкциям:

1. Эксплуатационная надежность и долговечность.
2. Пожарная и экологическая безопасность.
3. Простота нанесения на трубопроводы.

Вспененный полиэтилен отвечает почти всем этим требованиям. К его недостаткам можно отнести тот факт, что он является наиболее эффективным при применении уже готовых труб в изоляции, а при замене старой изоляции труб - вспененный полиэтилен наиболее трудоемкий и требует определенной подготовки персонала.

Минераловатная изоляция лишена этих недостатков, и хотя её главным недостатком является высокое влагопоглощение, но с применением качественного покрывного слоя и с соблюдением всех норм монтажа, этот недостаток исчезает.

#### Список используемой литературы:

1. Шубин Е.П. Материалы, методы устройства и расчет тепловой изоляции трубопроводов. – М.: – Госэнергоиздат, – 1948.
2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2010611085 «Программа определения технико-экономической толщины изоляции». Авторы: Басс М.С., Батухтин А.Г., Варавка А.В.
3. Басс М.С. Методика определения затрат при замене теплоизоляции тепловых сетей: (на примере Забайкальского края) // Научно-технические ведомости СПбГТУ. – 2009.– № 3. – С. 42 –48.
4. Басс М.С., Варавка А.В. Выбор оптимального теплоизоляционного материала для тепловых сетей. Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока № 1. – 2012. – С. 269 – 273.

#### Перспективы развития угольной генерации электроэнергии в России и способы их реализации

**Н.Н. Галашов, С.А. Цибульский**

Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

**E-mail: [gal@tpu.ru](mailto:gal@tpu.ru)**

Проведен анализ развития генерации электроэнергии на угольных электростанциях мира и России. Рассмотрены задачи, которые стоят перед угольной электроэнергетикой России, и прогноз развития

генерации электроэнергии на период до 2030 года, а также основные перспективные направления развития угольной электроэнергетики России.

В мире энергетика на угле уже давно и активно развивается, особенно в таких странах как Китай, США и Индия. Россия, занимающая второе место в мире по запасам угля и пятое место по добыче, в то же время доля угля в производстве электроэнергии составляет всего 25%, и в этом плане существенно отстала от передовых стран мира (рис. 1) [1].

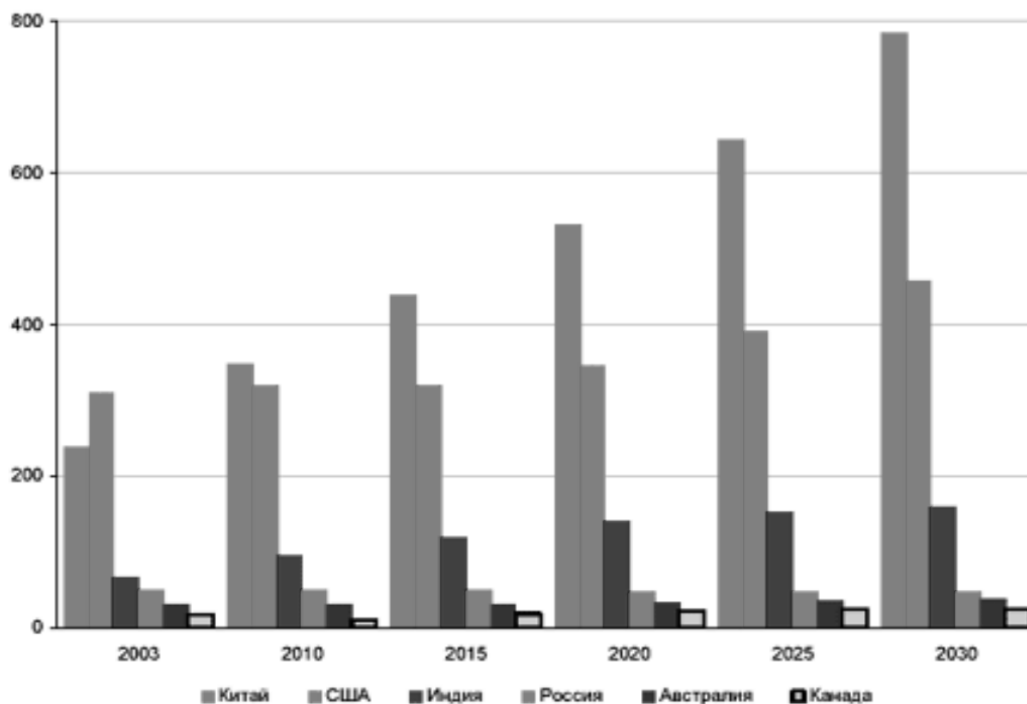


Рис. 1. Динамика установленной мощности угольной генерации ряда стран, млн. кВт.

В настоящее время на угольных электростанциях США и Германии вырабатывается около половины электроэнергии, а в Индии и Китае - более 70 %. При этом производство электроэнергии на угольных электростанциях США в два раза дешевле, чем на ТЭС, сжигающих природный газ.

Одним из главных векторов перспективного развития отраслей топливно-энергетического комплекса, предусмотренным Энергетической стратегией России на период до 2030 года, является переход на путь инновационного и энергоэффективного развития.

Для масштабного развития новой угольной генерации в России необходимо решить ряд специфических для нее задач [1]. Первая группа задач связана с добычей, обогащением и транспортировкой угля. Вторая - с технологиями, оборудованием, решением экологических вопросов, проектными и строительными работами. Третья группа - правильное ценовое соотношение на уголь, газ и электроэнергию.

В свое время Россия занимала одно из первых мест в мире по добыче, обогащению и транспортировке угля. С появлением дешевого газа добыча угля существенно сократилась, а развитие технологий по обогащению и транспортировке угля практически прекратилось. В настоящее время угольная промышленность России в плане добычи угля хорошо оснащена, и добыча сдерживается лишь возможностями реализации угля на внутреннем рынке. Экспортные возможности в связи с большими расстояниями и затратами при транспортировке ограничены, поэтому основное увеличение добычи угля возможно только за счет увеличения доли внутреннего потребления, прежде всего, в электроэнергетике.

По второй группе задач Россия также в свое время стояла на передовых позициях в мире. Но в настоящее время из-за многолетнего отсутствия заказов со стороны энергетиков промышленный выпуск необходимого для новых угольных ТЭС оборудования налажен слабо. Мы существенно отстали по технологии ЦКС, позволяющей сжигать низкосортное твердое топливо, и при этом за счет низкотемпературного сжигания обеспечивает снижение вредных выбросов и не требует установки дорогостоящих громоздких систем очистки. Россия была одной из первых



стран, внедривших суперкритические параметры, но отсутствие заказов остановило этот путь развития. Состояние отечественного машиностроения заставляет задуматься о необходимости импорта оборудования либо закупке за рубежом технологий его производства, т.к. предложения наших заводов по ценам сопоставимы с зарубежными. При этом появляется серьезная угроза, что из-за роста угольной генерации в мире начинает проявляться тенденция нехватки производственных мощностей по изготовлению оборудования за рубежом, и реальна ситуация, что, при необходимости, современное оборудование для угольных станций негде будет заказать. Отсутствие масштабных вводов мощностей ведет к удорожанию стоимости строительно-монтажных работ в электроэнергетике. У нас стоимость строительства в два раза выше, чем в Европе, и в 4-5 раз выше, чем в Китае.

В настоящее время основным тормозом развития угольной генерации России является ценовая неконкурентоспособность угля из-за заниженных регулируемых цен на газ, в то время как цены на уголь формируются исходя из рыночных условий. В странах Западной Европы, где учитываются затраты и потребительские свойства топлива, соотношение цен на газ/уголь/мазут находится на уровне 2/1/2,8. В России это соотношение в 2005 г. составляло 0,8/1/1,7. В настоящее время это соотношение постепенно меняется в сторону повышения цены на газ, но еще существенно отстает от зарубежного. Рыночные механизмы ценообразования должны устранить серьезное искажение внутренних цен на газ и постепенно выводить соотношение цен на энергоносители на уровень, сформировавшийся в передовых странах мира. Один из возможных путей решения цены на уголь – это заключение долгосрочных договоров между угольщиками и РЖД. Альтернативный путь – транспортировать не уголь, а электроэнергию.

В период до 2020 г. в зависимости от вариантов развития экономики страны предполагается ввести 25...60 млн. кВт энергоблоков класса мощностей 660...900 МВт [2]. Необходимость ввода новых высокоэффективных экономичных пылеугольных блоков и модернизации малоэффективных обосновывается существенным ростом электропотребления по стране (рис.2).

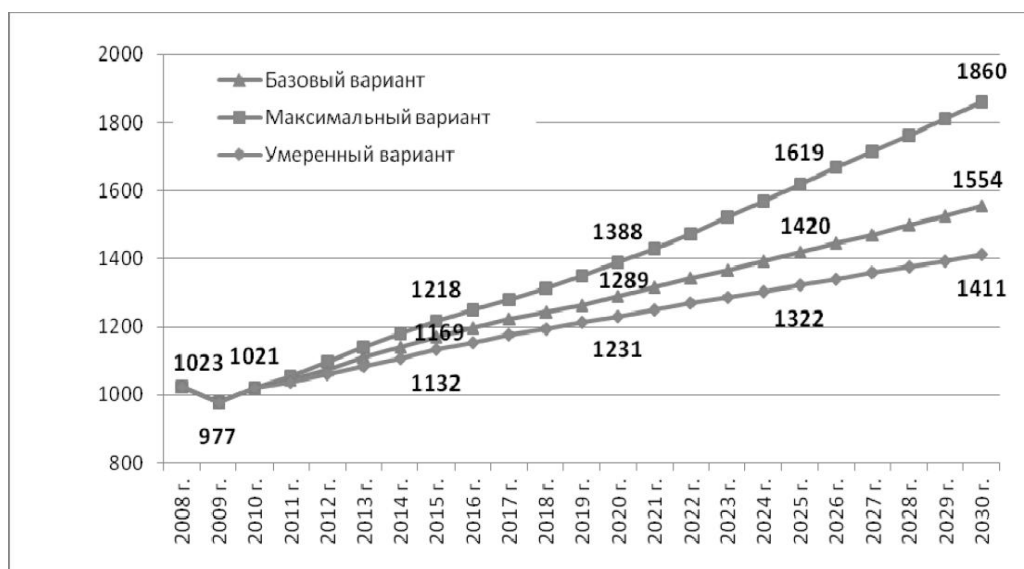


Рис. 2. Прогноз электропотребления Российской Федерации в трех вариантах, млрд. кВт·ч.

Рассмотрим, какие инновационные способы предлагаются для реализации подъема угольной генерации электроэнергии в России [2]:

- Создание и освоение угольных энергоблоков на суперсверхкритические параметры пара (ССКП) (30 МПа, 600/600 °С) единичной мощностью 330-660-800 МВт с КПД 44-46 %, а, в перспективе, технологии на ультрасверхкритические параметры пара (35МПа, 700/720 °С), обеспечивающие КПД 51-53 % и угольные ТЭЦ нового поколения единичной мощностью 100-200-300 МВт с использованием различных технологий сжигания топлива.

- Производство электроэнергии и тепла с использованием ПГУ с внутрицикловой газификацией твердого топлива и использованием синтез-газа единичной мощностью 200-400 МВт с КПД до 50% и перспективные технологии с использованием топливных элементов, обеспечивающие КПД до 60%.

- Технологии экологически чистого использования твердого топлива и газоочистки, обеспечивающие близкие к нулевым выбросы SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, золы и др. ингредиентов, включая улавливание из цикла, компримирование и последующее захоронение CO<sub>2</sub>.

- Мощные мегаваттного класса батареи топливных элементов на природном и синтез-газе для крупноблочной и децентрализованной энергетики с коэффициентом использования теплоты топлива до 90%.

Для достижения данных целей ОАО «ЭнергоМашиностроительный Альянс» совместно с ОАО «Силовые машины» создаются котлы с ЦКС на ССКП для энергоблока 660 МВт 30 МПа, 600/620 °С, котлы с ЦКС на СКП для энергоблока 330 МВт 25 МПа, 565/565 °С, турбина ЛМЗ К-660-26,5 на ССКП, ОПУ ГТУ на твердом топливе 25 МВт [3, 4].

В связи с отсутствием российского оборудования и технологий первые два энергоблока на суперсверхкритические параметры должны быть установлены на Троицкой ГРЭС за период 2010-2015 гг. на основе китайских блоков мощностью 660 МВт. Первый энергоблок должен быть введен в 2014 г.

В результате пуска этого блока предполагается достигнуть следующих основных результатов:

- создание пилотного угольного энергоблока с удельным расходом топлива на выработку электроэнергии на 20 % ниже установленных в настоящее время;

- повышение эффективности электростанции с пилотным блоком, за счет снижения себестоимости электроэнергии производимой этим энергоблоком на 15 % по сравнению с показателями эксплуатируемых в настоящее время угольных энергоблоков;

- повышение экологических показателей электростанции, за счет сокращения воздействия на экосреду пилотным энергоблоком на 20-30 % по сравнению с показателями эксплуатируемых угольных энергоблоков;

Также, рассматривая инновационные способы реализации подъема угольной генерации электроэнергии в России, видим, что для их реализации необходимо использовать газификацию угля, поэтому требуется продолжать и усилить работы в этом направлении.

#### Список используемой литературы:

1. Вагнер А.А., Рубан А.Д., Росляков П.В., Зорябянц Р.В., Петреня Ю.К. Вторая угольная волна / <http://www.raexpert.ru/researches/energy/teploenergetic/4/>.
2. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года./ [http://www.ranipool.ru/images/data/gallery/1\\_8337\\_\\_usloviya\\_elektoenergetiki\\_na\\_period\\_do\\_2030\\_goda.pdf](http://www.ranipool.ru/images/data/gallery/1_8337__usloviya_elektoenergetiki_na_period_do_2030_goda.pdf).
3. Вопросы повышения эффективности генерации энергии: котельные установки и их совершенствование./ [http://vayenshtefan.ru/bioenergie\\_prezent/20\\_%D4%E8%F0%F1%EE%E2\\_%F0%F3%F1.pdf](http://vayenshtefan.ru/bioenergie_prezent/20_%D4%E8%F0%F1%EE%E2_%F0%F3%F1.pdf).
4. Демонстрационные проекты новых технологий в теплоэнергетике/ <http://minenergo.gov.ru/upload/iblock/202/20245f10413efdc00df2b4c1ab118916.pdf>.

#### Расчет экономической эффективности замены парового турбопривода питательного насоса энергоблока К-300-23.5 газотурбинным приводом с учётом ЧДД

*Н.Н. Галашов, Т.К. Бикбов*

*Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, Россия*

*E-mail: [gal@tpu.ru](mailto:gal@tpu.ru)*

Приведен технико-экономический расчет замены парового турбопривода питательного насоса энергоблока К-300-23.5 газотурбинным приводом на основе интегральных критериев эффективности. Показано, что срок окупаемости с учетом дисконтирования составляет 5,8 лет, а чистый суммарный дисконтированный доход за 12 лет составит 204,7 млн. руб.

Технические вопросы модернизации схемы блока К-300-23,5 путем замены парового турбопривода питательных насосов газотурбинным двигателем рассмотрены в [1].

В данной работе проведен технико-экономический анализ с учетом дисконтирования [2].

Эффективность энергосберегающих мероприятий определяется системой критериев, отражающих соотношение затрат на проведение мероприятий и результатов получаемых на ТЭС.

В зависимости от масштабности и значимости мероприятий (реконструкция, техническое перевооружение, модернизация, организационно-технические мероприятия) используются простые (без учета фактора времени) или интегральные (дисконтированные) критерии их экономической эффективности.

Простые критерии целесообразно применять при оценке эффективности малозатратных мероприятий, характеризующихся следующим:

- единовременные затраты на проведение мероприятия осуществляются в сроки менее 1 года;

- достигнутые вследствие проведения мероприятия технико-экономические результаты и дополнительные годовые эксплуатационные издержки, вызванные внедрением мероприятия, остаются неизменными в течение последующих лет эксплуатации.

В качестве простых критериев используются:

- годовой прирост чистой прибыли (Для ТЭС входящих в АО – энерго, этот показатель носит условный характер: под ним следует понимать экономию издержек производства. Это сделано с целью удобства и адекватности изложения.);

- срок окупаемости инвестиций.

Первый показатель характеризует абсолютное значение прибыли, остающейся в распоряжении ТЭС а второй – скорость возврата вложенных в мероприятие капитальных вложений.

При разработке крупномасштабных мероприятий следует применять интегральные критерии, рассчитываемые с применением дисконтирования. Дисконтирование – это учет неоднозначности стоимостей в течение расчетного периода. Дисконтирование затрат и результатов осуществляется путем приведения будущих затрат и результатов к нынешнему периоду. Современная стоимость будущей суммы определяется с помощью дисконтирующего множителя.

В качестве интегральных критериев используются:

- чистый дисконтированный доход (ЧДД);
- дисконтированный срок окупаемости инвестиций.

Перечисленные выше критерии – это главные (определяющие) критерии, которые необходимы и, как правило, достаточны для определения эффективности мероприятия. Вместе с тем на практике встречаются случаи, когда требуется учитывать дополнительные факторы, которые могут быть вызваны условиями финансирования, конкуренцией, конъюнктурой и др.

Чистый дисконтированный доход (ЧДД) определяется как разность за расчетный период между стоимостной оценкой технико-экономических результатов и затратами (единовременными и текущими) с учетом налогов и других платежей:

$$\times \ddot{A}\ddot{A} = \sum_{0}^{T_p} (\Delta D_{\delta} - \Delta E_{\gamma\delta} - \hat{E}_{1\delta} - \Delta I_{\delta} + \ddot{E}_{\delta})(1 + \hat{a})^{1-\delta}, \quad (1)$$

где  $T_p$  – расчетный период, рекомендуемый в расчетах эффективности энергосберегающих мероприятий, в пределах 10–15 лет, принимаем 12 лет;  $\Delta P_T$  – стоимостная оценка технико-экономических результатов в году  $T$ , руб/год;  $\Delta I_{ЭТ}$  – дополнительные годовые эксплуатационные издержки в году  $T$ , вызванные проведением мероприятия, без амортизационных отчислений на реновацию, руб/год;  $K_{MT}$  – капитальные вложения в году  $T$  на проведение мероприятия, руб/год;  $\Delta H_T$  – увеличение налогов и платежей в году  $T$ , руб/год;  $L_T$  – ликвидационная стоимость основных фондов в году  $T$ , руб/год;  $(1 + e)^{1-T}$  – коэффициент дисконтирования;  $e = 0,0825$  – норма дисконта, принимаемая с учетом банковских процентов на вклады, инфляции и риска. Критерием эффективности мероприятия является условие: ЧДД > 0.

Для энергоблока К-300-23,5 были проведены расчеты существующей тепловой схемы с паротурбинным приводом питательного насоса и модернизированной с газотурбинным приводом. При этом было принято, что блок работает с числом часов использования установленной

мощности  $h_{\text{год}} = 6500$ ; тариф на отпускаемую электроэнергию  $\text{Ц}_{\text{Э}} = 0,71$  руб/(кВт·ч); в котле и газотурбинном двигателе сжигается газ, цена которого при пересчете на условное топливо  $\text{Ц}_{\text{T}} = 1,5$  руб/кг. В результате расчетов схем были получены следующие показатели. Увеличение вырабатываемой электрической мощности  $\Delta N_{\text{э}} = 12,4$  МВт. Увеличение расхода сжигаемого условного топлива  $\Delta B = 0,16$  кг/с (0,58 т/ч). С учетом расхода электроэнергии на собственные нужды 3,7 % годовой отпуск дополнительной электроэнергии составил  $\Delta W_{\text{отп}} = 77,6$  млн. кВт·ч.

Затраты на осуществление энергосберегающих мероприятий состоят из капитальных вложений (единовременных затрат) и годовых эксплуатационных издержек, вызванных внедрением мероприятия.

I. Капитальные вложения на осуществление мероприятия  $K_{\text{М}}$  складываются из двух составляющих:

$$K_{\text{М}} = K_{\text{М1}} + K_{\text{М2}},$$

где  $K_{\text{М1}}$  – затраты на проведение научно-исследовательских, проектных и конструкторских работ, 9 млн. руб;  $K_{\text{М2}}$  – стоимость строительно-монтажных и наладочных работ, оборудования, материалов, запасных частей и т.п., а также затраты на эксплуатацию в период проведения мероприятия, 209 млн. руб,  $K_{\text{М}} = 9 + 209 = 218$  млн. руб.

II. Суммарные годовые эксплуатационные издержки, вызванные внедрением мероприятия, входят амортизационные отчисления (в случае увеличения стоимости основных фондов) и дополнительные затраты на эксплуатацию (без учета затрат в период внедрения мероприятия):

$$\Delta \text{И}_{\Sigma} = \Delta \text{И}_{\text{АМ}} + \Delta \text{И}_{\text{Э}},$$

где  $\Delta \text{И}_{\text{АМ}}$  – амортизационные отчисления:

$$\Delta \text{И}_{\text{АМ}} = \frac{\alpha_{\text{АМ}}}{100} \cdot K_{\text{М}} = \frac{8,3}{100} \cdot 218 = 18,1 \text{ млн. руб.},$$

где  $\alpha_{\text{АМ}}$  – норма амортизационных отчислений, принимаем 8,3 % при расчете на 12 лет;

$\Delta \text{И}_{\text{Э}}$  – дополнительные эксплуатационные издержки (увеличение расхода топлива, электроэнергии и тепла, затрат на ремонт, заработной платы и др.), руб/год – в нашем случае на увеличение расхода топлива  $\Delta B$ , а остальные издержки в обоих вариантах можно считать одинаковыми.

В ходе расчета экономической эффективности энергосберегающих мероприятий в указанной ниже последовательности определяются следующие показатели:

1. Прирост балансовой прибыли

$$\Delta \text{П}_{\text{Б}} = \Delta W_{\text{отп}} \cdot \text{Ц}_{\text{Э}} - \Delta B \cdot h_{\text{год}} \cdot \text{Ц}_{\text{T}} = 77,6 \cdot 0,71 - 0,58 \cdot 6500 \cdot 1,5 / 1000 = 49,6 \text{ млн. руб.}$$

2. Сумма приростов налогов и отчислений

$$\Delta \text{Н} = g_{\text{н}} / 100 \cdot \Delta \text{П}_{\text{Б}} + g_{\text{и}} / 100 \cdot K_{\text{М}} = 20 / 100 \cdot 49,6 + 2 / 100 \cdot 218 = 14,2 \text{ млн. руб.},$$

здесь  $g$  – процент налогов и отчислений,  $g_{\text{н}} = 20$  % – налог на прибыль и  $g_{\text{и}} = 2$  % – налог на имущество.

3. Годовой прирост чистой прибыли

$$\Delta \text{П}_{\text{ч}} = \Delta \text{П}_{\text{Б}} - \Delta \text{Н} = 49,6 - 14,2 = 35,4 \text{ млн. руб.}$$

4. Простой срок окупаемости единовременных затрат на проведение мероприятия

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{М}}}{\Delta \text{П}_{\text{ч}} + \Delta \text{И}_{\text{АМ}}} = \frac{218}{35,4 + 18,1} = 4,1 \text{ лет.}$$

С учетом того что прибыль и затраты в течение времени меняются из-за изменения цены электроэнергии и топлива, необходимо показатели эффективности определять на основе интегральных критериев.

Для расчета интегральных критериев эффективности прогнозные значения стоимости электроэнергии и топлива по годам взяты по [3]. Принято, что полное вложение капитальных затрат  $K_{\text{М}}$  производится в нулевом году, за который принят 2012. В последующие годы получаем годовой прирост чистой прибыли, которая для года  $T$  определяется как  $\Delta \text{П}_{\text{чT}} = \Delta \text{П}_{\text{БТ}} - \Delta \text{Н}_{\text{T}}$ . По этому показателю определяем для года  $T$  годовой прирост дисконтированной чистой прибыли

$$\Delta \text{ДП}_{\text{чT}} = \Delta \text{П}_{\text{чT}} (1 + e)^{-T},$$

а по нему для каждого года  $T$  суммарный годовой прирост дисконтированной чистой прибыли за предыдущие годы  $\Sigma \Delta \text{ДП}_{\text{чT}}$ . Вычитая из этого показателя  $K_{\text{М}}$  находим чистый дисконтированный доход в  $T$ -ом году ЧДД $_T$ . Расчеты этих показателей приведены в табл.1. Суммы денежных потоков

указанны в млн. руб. Прирост отпуска электроэнергии  $\Delta W_{\text{отп}}$  приведен в млн. кВт·ч; ЦЭ в руб/(кВт·ч);  $\Delta B$  в т/ч; ЦТ в руб/кг.

На основе табл. 1 построен график изменения ЧДД по годам (рис. 1).

Дисконтированный срок окупаемости инвестиций – минимальный временной интервал (от начала осуществления мероприятия), по истечении которого чистый дисконтированный доход становится и в дальнейшем остается положительным. Из рис.1 видим, что в нашем случае срок окупаемости с учетом дисконтирования составляет 5,8 лет. Чистый суммарный дисконтированный доход за 12 лет составит 204,7 млн. руб.

Таблица 1. Расчет ЧДД по годам.

год	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\Delta W_{\text{отп}}$	77,6	77,6	77,6	77,6	77,6	77,6	77,6	77,6	77,6	77,6	77,6	77,6
ЦЭ	0,711	0,795	0,856	0,91	0,946	1,018	1,089	1,138	1,223	1,319	1,367	1,409
$\Delta B$	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58
ЦТ	1,5	1,5	1,6	1,7	1,7	1,8	1,8	1,9	2,0	2,1	2,1	2,2
$\Delta П_{\text{б}}$	49,6	56,0	60,5	64,3	67,0	72,4	77,7	81,1	87,5	94,6	98,2	101,2
$\Delta П_{\text{чт}}$	35,4	40,4	45,0	47,1	49,7	53,5	58,9	60,5	67,0	71,3	74,9	76,6
$\Delta ДП_{\text{чт}}$	35,4	39,7	40,5	37,8	36,8	35,5	36,1	33,3	34,2	32,4	31,5	29,3
$\Sigma \Delta ДП_{\text{чт}}$	35,4	75,0	115,6	153,4	190,3	225,8	261,9	295,2	329,4	361,8	393,4	422,7
ЧДД	-182,6	-143,0	-102,4	-64,6	-27,7	7,8	43,9	77,2	111,4	143,8	175,4	204,7

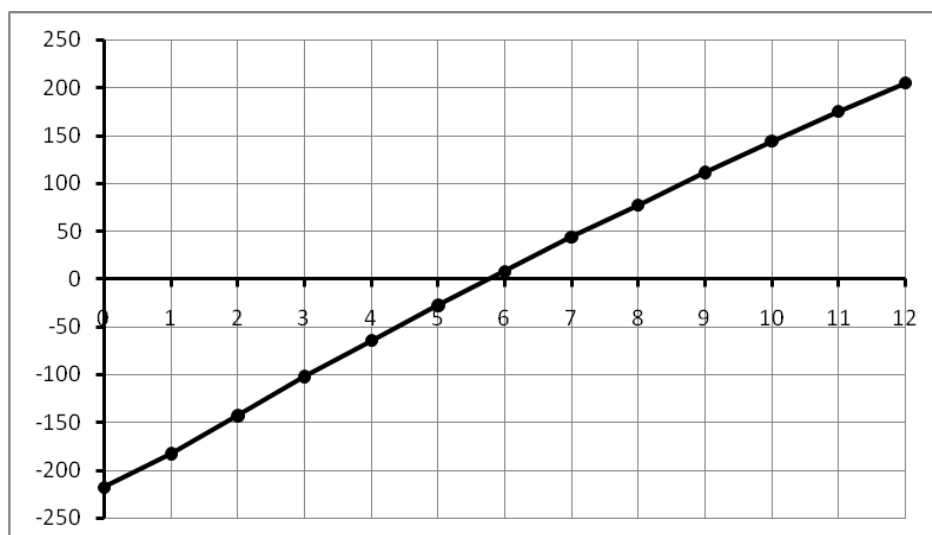


Рис. 1. Изменение чистого дисконтированного дохода по годам.

На сумму ЧДД наш проект превышает доходность альтернативных безрисковых вложений, например в банк. При этом нормы дисконтирования взяты по ставке рефинансирования, т.к. источник финансирования проекта нами не определен.

#### Список используемой литературы:

1. 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.
2. Методика экспресс - оценки экономической эффективности энергосберегающих мероприятий на ТЭС. РД 153-34.1-09.321-2002. – М.: СПО ОРГРЭС, – 2003. – 37 с.
3. Сценарные условия развития электроэнергетики на период до 2030 года. – М.: Министерство энергетики РФ. Агентство по прогнозированию балансов в электроэнергетике, – 2011. – 204 с.

УДК 620.92

**Утилизация энергии избыточного давления транспортируемого газа в детандер-генераторных агрегатах**

*А.Р. Гатауллина, О.В. Кулагина, Р.А. Молчанова*

*Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Россия*

*E-mail: alinagataullina@mail.ru*

Одним из способов повышения энергоэффективности магистрального транспорта газа является использование вторичных энергетических ресурсов (ВЭР), к которым относится энергия избыточного давления природного газа на ГРС.

В работе рассмотрены способы утилизации энергии избыточного давления газа в детандер-генераторных агрегатах (ДГА) с выработкой двух потоков энергоносителей: электроэнергии и холода. При разработке схем включения ДГА учитывались характеристики оборудования, выпускаемого отечественной промышленностью.

На рисунке 1 приведена схема установки ДГА.

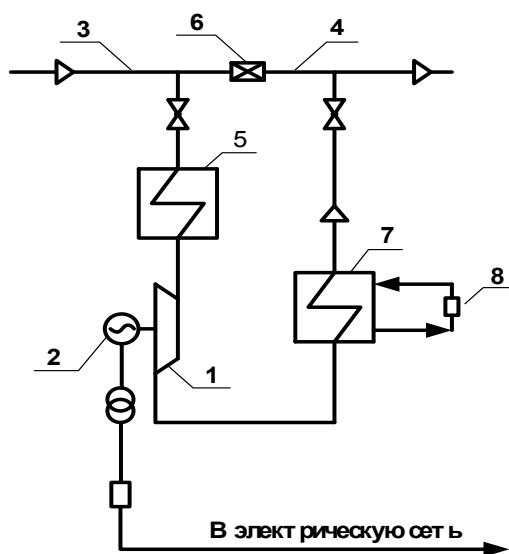


Рис. 1. Схема установки ДГА.

1 – детандер, 2 – генератор, 3, 4 – трубопроводы высокого и низкого давления соответственно, 5 – теплообменник, 6 – ГРС, 7 – теплообменник, 8 – потребитель холода.

Как видно, детандер включается параллельно дросселирующему устройству, заменяя его. Устройство содержит трубопровод высокого давления 3, установленный по ходу подачи газа в детандер теплообменник подогрева газа 5, детандер 1, генератор 2, а также теплообменник 7 для получения холода потребителем 8, трубопровод низкого давления 4.

Установка работает следующим образом. Газ высокого давления поступает в теплообменник 5. Нагретый в теплообменнике 5 газ высокого давления подается в детандер 1, где за счет изменения энергии газа совершается работа: воздействуя при расширении на сопловые лопатки турбины, газ заставляет вращаться ее вал. Новая конструкция лопаток позволяет при изменении давления газа поддерживать стабильным его расход в турбине и тем самым стабилизировать ее выходную мощность. Вал турбины связан с валом электрогенератора 2, чем и образуется детандер - генераторный агрегат (ДГА). После расширения в детандере, газ направляется в трубопровод низкого давления 4. Также существует возможность использовать, помимо электроэнергии, теплоты различных температурных уровней в теплообменнике 7.

Энерго - холодильный комплекс (ЭХК) предназначен для полезного использования (утилизации) «бросовой» энергии избыточного давления природного газа в узлах его редуцирования (газоредуцирующая станция – ГРС, пункт ГРП) с целью выработки электроэнергии и холода, который расходуется в холодильнике.

Таким образом, «продуктами» ЭХК являются: электроэнергия, «холодные» объемы для хранения продуктов питания.

Эффективность энергохолодильного комплекса повышается при наличии тепловых ВЭР компрессорных станций – теплофикационной воды от котлов-утилизаторов ГПА, или дешевых источников тепловой энергии – теплофикационной воды ТЭЦ.

Производимая на ДГА электроэнергия является «зеленой», т.е. экологически чистой. Выбросы вредных веществ и удельный расход топлива на выработку электроэнергии в ДГА в случае использования для подогрева газа автономной котельной намного ниже аналогичных параметров ТЭЦ.

#### Список используемой литературы:

1. Обзор современных конструкций турбодетандерных генераторов. Проспект фирмы ООО НТЦ «МТТ».
2. Аксенов Д.Т. Выработка электроэнергии и «холода» без сжигания топлива // Электронный журнал энергосервисной компании «Экологические системы». – 2003. – № 6. – с. 21 - 25.
3. Репин А.Л. Возможности использования энергии давления природного газа на малых газораспределительных станциях // Энергосбережение. – 2004. – № 3.

УДК 622.691

#### Подогрев топливного, импульсного газа на компрессорных станциях

*А.Р. Гатауллина*

*Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Россия*

*E-mail: alinagataullina@mail.ru*

В качестве топлива для газоперекачивающих агрегатов используется тот же перекачиваемый природный газ. Подогрев топливного, импульсного газа перед подачей в газотурбинную установку осуществляется подогревателями газа (ПТПГ-30, ПГ-10, ПГА-200 и др.) за счет сжигания природного газа.

При сжигании образуются продукты сгорания, несущие большой потенциал вторичной тепловой энергии. Теплота отходящих дымовых газов при сжигании топлива в газоперекачивающих агрегатах на компрессорных станциях утилизируется для получения теплофикационной воды. Теплофикационная вода, нагретая утилизированным теплом дымовых газов, является доступным, дешевым, безопасным носителем низкопотенциальной энергии.

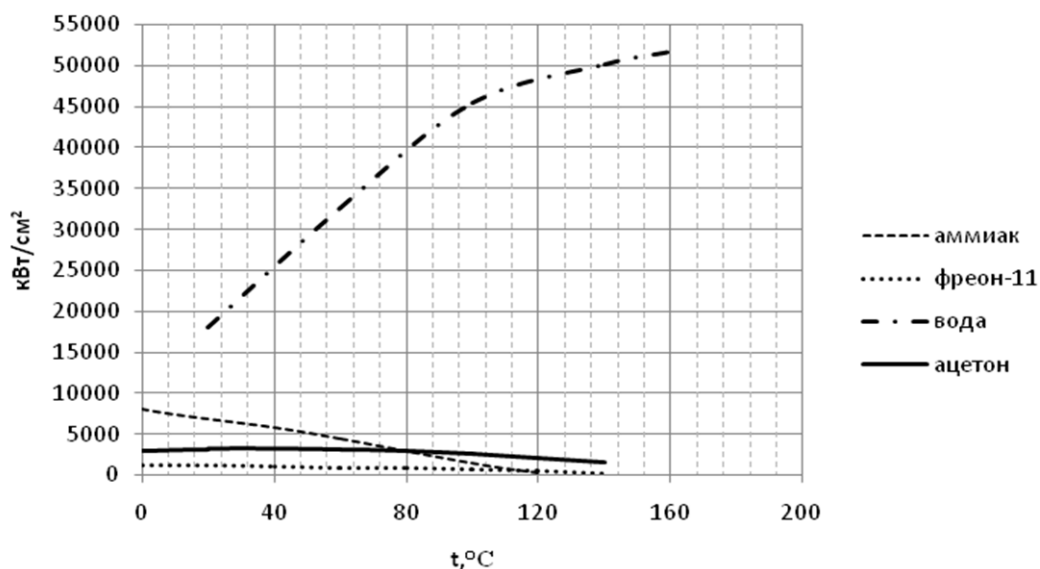


Рис. 1. Зависимость параметра «качества» некоторых рабочих жидкостей от температуры.

Для подогрева топливного, импульсного газа в качестве носителя низкопотенциальных вторичных энергоресурсов возможно использование теплофикационной воды в аппаратах на базе термосильфонов.

Рабочий диапазон термосифона зависит от рода рабочей жидкости. Если потерями давления в паровой фазе и гравитационным напором пренебречь, то величины, определяющие максимальную теплопередающую способность устройства, можно объединить в некий критерий качества  $M$  [2]:

$$M = \frac{\rho_i \sigma_i Z}{\mu_i},$$

Представим изменение параметра  $M$  от температуры для различных наиболее подходящих к заданным условиям эксплуатации аппарата условиям (рисунок 1).

Вода, как видно из графиков, обладает наибольшими значениями «параметра качества», а значит наибольшей теплопередающей способностью.

Также вода является наиболее дешевым и доступным веществом, но при низких температурах окружающего воздуха при неработающем термосифонном аппарате ее применение затруднительно из-за возможности замерзания жидкости внутри термосифонной трубки.

#### Список используемой литературы:

1. Павлов К. Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии: Учебное пособие для вузов. – М: ООО «РусМедиаКонсалт», – 2004. – 576 с.
2. Дан П.Д., Рей Д.А. Тепловые трубы. – М.: Энергия, – 1979. – 272 с.

УДК 681.518.5

#### Применение тепловизионных технологий для управления топочными процессами в энергетическом оборудовании

*П.Ю. Худяков, Д. Дордж, Б.П. Жилкин, Н.С. Зайков, А.Ю. Кисельников*

*ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России*

*Б.Н.Ельцина» г. Екатеринбург, Россия*

*E-mail: lumen\_xp@mail.ru*

Представлена методика обнаружения и диагностики структуры области соударения газовых струй на основе обработки последовательностей тепловизионных изображений (термограмм), полученных с помощью тепловизора. Определение области соударения происходит при помощи вычисления дисперсии температуры в каждой точке термограммы, с последующей математической обработкой. Систематическая погрешность измерения температуры составляла - 0,3%, а максимальная случайная погрешность ее определения – 0,5%. Ошибка расчета дисперсии пульсации температуры не превышала – 3%. Данная методика может быть использована для организации автоматического управления процессом горения топлива в котлах и других технологических агрегатах, а также для контроля наличия факела в топке котла.

Эффективность и экологичность сжигания топлива, а также долговечность металла экранных поверхностей нагрева во многом зависят от режима взаимодействия высокотемпературных струй – факелов, образованных системой горелок.

Для того чтобы осуществить управление такими параметрами, как форма, размер и положение исходных факелов, положение области соударения факелов при встречном расположении горелок, требуется проведение сканирующих, т.е. многоточечных измерений температуры в зоне горения с высоким быстродействием.

Уже разработаны быстродействующие методы [1-3], которые могут быть применены для решения части из представленных выше проблем. Вместе с тем, комбинирование методов – тепловизионного и видео контроля [4], зачастую является избыточным с точки зрения автоматического регулирования, хотя может быть более информативным для персонала при ведении вручную технологического процесса.

В некоторых случаях тепловизионная диагностика является вполне достаточной. Например, при идентификации области взаимодействия газовых потоков. Решение этой задачи основано на том, что в области взаимодействия возникают газодинамические структуры, обладающие высокими значениями дисперсии температуры потока.

Основным отличием предлагаемой методики, по сравнению с ранее разработанными, является то, что учитывается следующий факт, искомая температурная область может состоять из отдельных зон, разделенных другими образованиями. Кроме того, указанные выше способы не



обеспечивают решение проблемы определения области взаимодействия потоков, имеющих близкую по значению температуру.

Задачей представленного исследования являлось определение положения и структуры области соударения струй для различных конфигураций систем и для всего диапазона температур струй, используемых в промышленности.

Для решения этой задачи используется последовательность термограмм - фильм, снятый тепловизором, установленным так, что бы в его оптическом поле располагалась наиболее вероятная область соударения струй. При проведении экспериментов применялся тепловизор NEC TN9100, передающий данные персональному компьютеру по интерфейсу "IEEE1394". Обработка данных осуществлялась с помощью стандартных, прилагаемых фирмой-производителем тепловизора программных пакетов и специальной программы математической обработки.

Тепловизионное изображение изучаемого объекта – соударяющихся струй, представляло собой мгновенное поле температур в виде цифровой матрицы размером 240x320, обновляемой с частотой 30 Гц. Массив температурных данных заполнялся в течение примерно 35 секунд и, таким образом, состоял примерно из 1000 матриц, каждый элемент которой соответствовал значению температуры в той или иной точке (пикселе) контролируемой области.

В результате были получены данные в виде 3-х мерного массива  $\Theta[i,j,k]$ , где  $i=1\dots240$  - индекс, соответствующий координате точки по вертикали;  $j=1\dots320$  - индекс, указывающий на координату точки по горизонтали;  $k=1\dots970$  - индекс, соответствующий моменту времени.

Среди элементов полученного массива выбирались те значения  $i$  и  $j$ , которые соответствуют областям с отклонением температуры выше среднего значения. Стандартное отклонение вычислялось по формуле:

$$\sigma T_{[i,j]} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{970} (\Theta T_{[i,j,k]} - MT_{[i,j]})^2}{k-1}}$$

где:  $k$  – количество кадров;  $MT_{[i,j]}$  - среднее по рассматриваемому интервалу времени значение температуры в точке  $[i,j]$ .

Таким образом, из исходного массива  $\Theta T[i,j,k]$  был получен массив, принадлежащий внутренним точкам предполагаемой области соударения струй:  $PT_{[i_m, j_m, k]}$ , где:  $i_m, j_m$  – индексы предполагаемой области соударения струй.

При вычислении стандартного отклонения происходит отстройка от температурного фона, создаваемого технологическими поверхностями. Аprobация этой методики проводилась на установке, которая состояла из тепловизора, сетки преобразователя температуры, ЭВМ, системы подогрева воздуха, автоматизированной системы измерения и контроля, двух дутьевых вентиляторов, соединенных с соплами струй при помощи патрубков, скорость прямооточных воздушных струй изменялась от 10 до 100 м/с. Температура соударяющихся соосно потоков изменялась от 25 до 80 °С. Было установлено, что в зависимости от разности температур ядер встречных струй зона соударения может иметь разную структуру: в виде единой области (Рис. 1б) или в виде совокупности отдельных зон (Рис. 2б). Поэтому производилось предварительное сопоставление разности температур взаимодействующих струй в областях потенциального течения. В случае, когда разность температур больше заданного порогового значения производится определение области соударения струй как единой зоны, принадлежащей обеим струям и имеющей максимальную дисперсию температуры, а под положением зоны соударения понимались координаты центра инерции плоской фигуры этой зоны.

Если разность температур струй была ниже порогового значения, то идентификация зоны соударения производится иным образом. Как отмечалось выше, в этом случае не происходит формирование одной зоны с максимальной дисперсией, а формируются отдельные области (вихри) в окрестности зоны соударения, которые имеют значение дисперсии выше порогового. В этом случае, по геометрическим координатам ядер вихрей алгоритм программы производит построение и определяет обобщенную зону соударения струй, как огибающую этих ядер. Тогда под координатами зоны соударения понимают координаты центра инерции обобщенной зоны.

После определения структуры области и её положения происходит преобразование термограммы в геометрические размеры технологического пространства. Затем, в случае автоматического управления, происходит сравнение положения найденной области соударения струй с её заданными координатами области, обеспечивающими оптимальный режим работы

оборудования, и, в случае необходимости, происходит формирование задания для АСУ технологического агрегата.

Технический результат, который может быть достигнут при реализации данной технологии тепловизионной системы управления, состоит в полученных точных сведениях о структуре встречных струй до соударения, о строении области их соударения и в определении положения зоны соударения. При этом полученные данные являются более достоверными, чем найденные при помощи систем, применяемых в промышленности, поскольку в процессе исследования не вносятся возмущения в поток и измерения происходят одномоментно. Кроме того, учитываются влияние теплового фона ограждающих конструкций и особенности формирования зоны соударения струй в зависимости от термомеханического режима работы оборудования. Данные, полученные при использовании описанной выше технологии, помогут выбрать наиболее оптимальную компоновку горелок котельного агрегата, конструкцию самой горелки или печи, что повысит эффективность работы энергетического оборудования, а в конечном итоге позволит экономить конструкционные материалы при изготовлении оборудования и топливо в процессе эксплуатации. Система так же может использоваться в составе АСУ промышленного оборудования для точного ведения технологического режима.

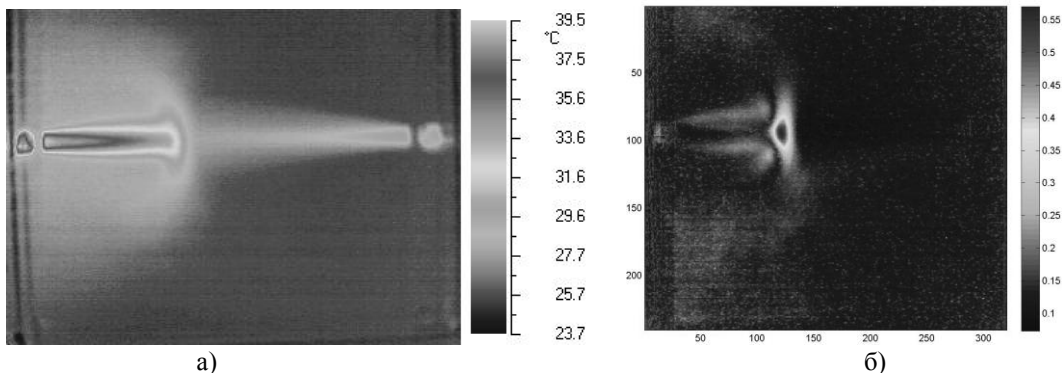


Рис. 1. Исходное тепловизионное изображение (а) и поле дисперсии температуры (б) соударяющихся струй, скорости струй  $w_1 = 69$  м/с,  $w_2 = 90$  м/с, температура струй  $t_1 = 57$  °С;  $t_2 = 40$  °С.

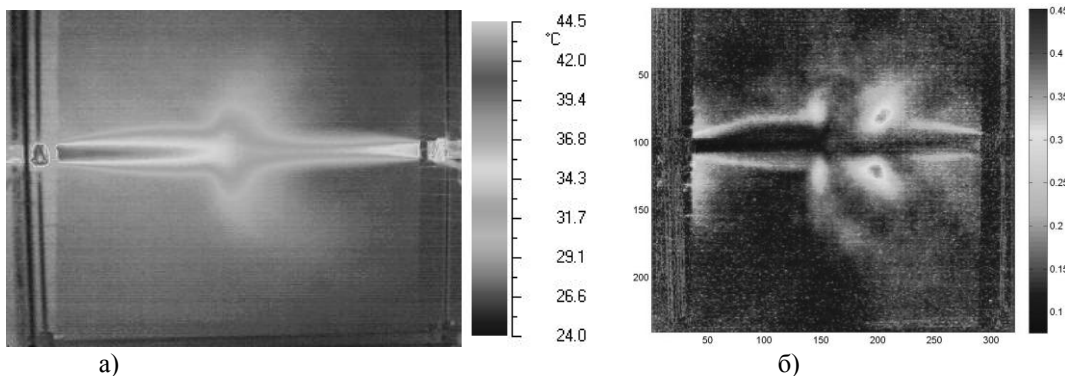


Рис. 2. Исходное тепловизионное изображение (а) и поле дисперсии температуры (б) соударяющихся струй, скорости струй  $w_1 = 52$  м/с,  $w_2 = 44$  м/с, температура струй  $t_1 = 54$  °С,  $t_2 = 48$  °С.

Данная методика может применяться в энергетике и промышленных технологиях для оптимизации режимов работы оборудования, реализующего технологии на основе встречных газовых струй, а также, при проектировании новых котельных агрегатов и печей.

#### Список используемой литературы:

1. Костомаров В.М., Жилкин Б.П., Зыскин Б.И. Компьютерный анализ струйных течений. // Вестник Уральского государственного технического университета: Сырмятниковские чтения. Екатеринбург: УГТУ, – 1995. – С. 65 – 70.
2. Жилкин Б.П., Зайков Н.С., Кисельников А.Ю., Миренский В.Ю., Худяков П.Ю. Тепловизионная идентификация турбулентных структур в газовых потоках // Приборы и техника эксперимента. – 2010. – № 1. – С. 155 – 158.

3. Способ тепловизионного определения турбулентности газового потока: патент RU 2400717 С2, G01K13/02. Заявл. 09.06.2008, № 2008123481/28. Оpubл. 20.12.2009.
4. Дордж Д., Зайков Н.С., Зыскин Б.И., Кисельников А.Ю., Худяков П.Ю. О применении видео и тепловизионного контроля для управления топочными процессами энергетических котлов. // Электрические станции. – 2012. – № 10. – С. 34 – 39.

УДК 621.937.1

**Мониторинг состояния трубопровода высокого давления теплоэлектростанции с целью повышения надежности его эксплуатации**

*Г.Г. Крушенко<sup>1</sup>, В.В. Степанов<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Институт вычислительного моделирования СО РАН, г. Красноярск, Россия*

*E-mail: [genry@icm.krasn.ru](mailto:genry@icm.krasn.ru)*

*<sup>2</sup>ОАО «ОГК-6» («Шестая генерирующая компания оптового рынка электроэнергии») г. Москва, Россия*

*E-mail: [vstepanov@iap.ogk6.ru](mailto:vstepanov@iap.ogk6.ru)*

Показано значение регулярного наблюдения за состоянием элементов трубопровода высокого давления на тепловых электростанциях с целью повышения их надёжности в эксплуатации.

Основная доля производимой в мире электроэнергии вырабатывается на тепловых электростанциях. При этом оборудование, участвующее в производственном цикле, в частности, трубопроводы высокого давления (ТВД), работают в условиях, близких к предельным свойствам сплавов, из которых они изготавливаются. В связи с высокими нагрузками в элементах ТВД имеет место высокая вероятность возникновения повреждений. Большинство причин повреждения элементов трубопроводов и методы их выявления известны. Разработана нормативно-техническая документация (НТД), регламентирующая все действия при определении технического состояния ТВД. Однако практика показывает, что даже выполнение всех требований НТД не позволяет полностью предотвратить повреждения трубопроводов [1]. В общем случае регламентируются следующие виды контроля: контроль качества монтажно-сборочных работ; контроль качества сварных соединений и их состояние; контроль роста деформации ползучести в трубах и фасонных деталях; контроль изменения структуры и механических свойств металла; контроль тепловых перемещений трубопровода; контроль состояния поверхности деталей трубопровода; контроль температурного режима работы металла во время пусков, остановов и эксплуатации.

Основываясь на накопленном опыте эксплуатации, в том числе и статистических данных, можно выделить основные повреждающие факторы, влияющие на состояние трубопровода высокого давления [2], основными из которых являются: давление; весовая нагрузка; самокомпенсация температурных расширений; неравномерный нагрев; вибрационные воздействия; влияние внешней среды; влияние рабочей среды.

Основным условием, определяющим возможность продления срока службы паропроводов, является отсутствие претензий к металлу элементов паропровода с позиции металловедения и дефектоскопии [3]. Однако 100 %-ный контроль металла и всех сварных стыков весьма трудоёмкое и дорогостоящее мероприятие. Поэтому часто практикуется проведение выборочного контроля. При этом, возможно, что некоторые дефектные детали и элементы останутся незамеченными. В результате чего повреждения могут возникать уже после выполнения всех необходимых мероприятий по контролю состояния трубопровода, формально признанного благополучным. В статистике аварийности имеются соответствующие примеры [4].

Существующая система достаточно полно охватывает все возможные типы дефектов, возникающих в элементах [5].

В соответствии с действующей НТД составляется программа технического диагностирования, определяющая объёмы, сроки и методы контроля [6]. Результаты диагностирования обрабатываются, анализируются и выполняются необходимые расчёты, и в итоге специализированная организация выдаёт заключение промышленной безопасности, на основании которого эксплуатирующая организация принимает решение о допуске трубопровода в эксплуатацию.

Таким образом, существующая система контроля технического состояния ТВД обладает всеми необходимыми методами и способами контроля технического состояния. Основной проблемой возникновения повреждений ТВД является несвоевременность выявления возникающих в процессе эксплуатации дефектов. Главной причиной этого является то, что межконтрольные промежутки рассчитаны для условно-идеального трубопровода. Однако на практике в процессе изготовления, монтажа и эксплуатации трубопровода накапливается большое количество отклонений, которые по каким либо причинам не были учтены и соответственно нескорректированы программы контроля их состояния. В большинстве случаев выявить эти отклонения и оценить их влияние на состояние трубопроводов или невозможно, или нецелесообразно. И то и другое напрямую связано с трудоёмкостью этого процесса. В связи с этим возникает проблема отыскания баланса между необходимостью и достаточностью мероприятий по оценке состояния трубопроводов. Однако любой путь, связанный с необоснованным увеличением затрат на производство тепловой и электрической энергии, является экономически неэффективным и ведёт к утрате конкурентоспособности энергетической компании и поэтому является недопустимым. В сложившихся условиях основной задачей повышения надёжности эксплуатации трубопроводов, а соответственно и их экономической эффективности, является отыскание оптимального межконтрольного промежутка [1], позволяющего сделать мероприятия по контролю состояния трубопроводов необходимыми и достаточными.

В настоящее время базы данных о техническом состоянии трубопроводов вообще и статистике повреждений в частности, ведутся в большинстве случаев «на бумаге». Общий анализ повреждаемости проводится от случая к случаю и только для подготовки отчётов об аварийности, а не для анализа эффективности системы контроля состояния. В то же время на большинстве предприятий, в соответствии с существующими требованиями, документация о техническом состоянии (данные дефектоскопии, анализ повреждений) ведётся на достаточно высоком уровне. То есть информация для формирования статистической базы имеется, но находится в необработанном виде, непригодном для анализа. Для её обработки необходима информационная система, позволяющая классифицировать, систематизировать и упорядочить имеющиеся данные и выполнить на их основании оценку состояния. Кроме этого, информационная система должна позволять прогнозировать состояния трубопровода на основании имеющихся у неё данных и предписаний нормативно-технической документации.

При наличии такой базы возможно построение вероятностной модели состояния трубопровода и выполнение на её основе расчёта оптимального межконтрольного промежутка, позволяющего повысить качество прогноза состояния трубопровода высокого давления. Определение оптимального межконтрольного интервала можно осуществлять по двум направлениям:

- организовать учёт всех факторов, влияющих на скорость развития повреждений элементов трубопроводов;
- применять вероятностные методы для расчёта оптимальных межконтрольных промежутков.

Общая картина состояния трубопровода складывается из состояний его элементов. Таким образом, простое умножение количества параметров на количество элементов даёт количество параметров, характеризующих состояние трубопровода. По разным оценкам эта цифра достигает нескольких тысяч. То есть, для того, что бы оценить все факторы, влияющие на скорость развития повреждений, необходимо произвести техническое диагностирование, получить значения и проанализировать в общем случае несколько тысяч параметров. Кроме этого, параметры состояния по сути своей разнородны. Это и количественные параметры, описывающие физические величины, и значения, имеющие описательный характер (например, результаты визуального контроля), и количественные внесистемные единицы. И автоматизировать этот процесс при существующей системе оценки состояния практически невозможно.

Таким образом, первый путь практически неосуществим из-за большого числа неподдающихся учёту факторов. Второе направление просто в использовании, но имеет одно существенное ограничение. Для эффективного применения методов теории вероятности необходима большая база статистической информации о состоянии трубопроводов. Чем больше эта база, тем точнее расчёт. То есть применение этих методов в нынешней ситуации недостоверно из-за отсутствия данных, готовых к обработке и анализу. Кроме этого, применение вероятностных методов будет обосновано только в том случае, когда в полном объёме выполняются все

необходимые мероприятия по контролю состояния, предписанные нормативно-технической документацией. Перед тем, как применять вероятностную модель, необходимо убедиться в том, что для определения состояния трубопровода выполнено всё, что предписано. То есть для использования таких методов необходимо и достаточно наличие информационной системы, позволяющей собирать, обрабатывать и анализировать данные, собираемые в процессе эксплуатации.

Из всего многообразия представленных методов наибольшее распространение в теплоэнергетике получили визуально-измерительный контроль, магнито-порошковая дефектоскопия и ультразвуковая дефектоскопия. Выявляемость дефектов при использовании этих методов соответствует требованиям обеспечения надежности эксплуатации оборудования. Выявленные в ходе эксплуатации повреждения можно условно разбить на три части:

1. Первую часть выявленных повреждений можно отнести к так называемому «человеческому фактору», связанному с невыполнением требований НТД.
2. Вторая часть повреждений приходится на долю несвоевременно выявленных дефектов, вернее несвоевременного проведения контроля состояния элементов трубопровода, что связано с тем, что периодичность контроля определяется НТД как для условно-идеальной системы. Хотя на самом деле на скорость развития дефектов могут влиять множество неучтённых факторов.
3. К третьей части можно отнести так называемые «технологические» дефекты. То есть дефекты, возникшие при изготовлении элементов трубопроводов.

Таким образом, можно сформулировать два основных направления повышения надёжности ТВД.

1. Систематизация информации, собираемой в процессе мониторинга состояния ТВД для формирования мероприятий по контролю состояния в соответствии с требованиями НТД.
2. Оптимизация периодичности проведения мероприятий по контролю состояния трубопровода.

Обе эти задачи взаимосвязаны, так как оптимизация технического обслуживания невозможна без достоверной информации о состоянии трубопровода за весь период эксплуатации, а эффект от выполнения всех требований НТД на проведение контроля состояния существенно снижается без учёта условий эксплуатации каждого конкретного трубопровода. Учесть такой опыт можно только путём выявления закономерностей при анализе результатов контроля состояния за весь период эксплуатации. Для решения задач второго направления более всего подходят вероятностные методы.

С целью реализации системы мониторинга состояния ТВД тепловой электростанции разработан комплекс программных средств [7], обеспечивающий выполнение всех необходимых функций, который состоит из следующих основных компонентов: система управления данными, собранными в процессе эксплуатации трубопровода высокого давления; система управления моделью состояния; система оценки технического состояния трубопровода; система прогнозирования технического состояния трубопровода высокого давления.

Проиллюстрировать применение этого метода можно на примере трубопровода горячего промперегрева (ГПП) энергоблока № 2 Красноярской ГРЭС-2, который предназначен для транспортировки пара от котлоагрегатов № 2А и № 2Б к турбоагрегату № 2. Трубопровод насчитывает 491 элемент, сварных соединений – 248 шт., из них 92 угловых. Эксплуатируется с 1962 г. при  $T = 545^{\circ}\text{C}$  и  $P = 2,75$  МПа. На данный момент наработка составила 254283 ч при 472 пусках.

Согласно статистике, угловые сварные соединения являются наиболее часто повреждаемым элементом трубопровода. В основном это усталостные трещины и различные дефекты сварки. На основании данных дефектоскопии можно рассчитать интенсивность отказов, а, зная продолжительность межконтрольных сроков работы этих соединений, можно проанализировать вероятность готовности трубопровода к работе.

Применив этот метод для расчёта периодичности контроля относительно других типов повреждений (опираясь на статистику отказов по каждому типу дефектов), можно достаточно эффективно адаптировать существующую НТД для каждого конкретного типа оборудования, в данном случае трубопровод ГПП.

#### Список используемой литературы:

1. Степанов В.В., Крушенко Г.Г. Оптимизация технического обслуживания трубопроводов тепловых электростанций // Тяжёлое машиностроение. – 2009. – № 2. – С. 5 – 8.

2. Зверьков Б.В., Костовецкий Д.Л., Кац Ш.Н., Бояджи К.И. Расчёт и конструирование трубопроводов. – Л.: Машиностроение. Ленинградское отделение, – 1979. – 246 с.
3. Березина, Т.Г. Диагностика причин разрушения деталей энергооборудования. – Челябинск: Издательство Челябинского государственного технического университета, – 1997. – 145 с.
4. Штромберг Ю.Ю. Контроль металла на тепловых электростанциях // Теплоэнергетика. – 1996. – № 12. – С. 17 – 20.
5. Резинских В.Ф., Злепко В.Ф., Штромберг Ю.Ю. Основные требования к контролю металла теплосилового оборудования ТЭС России // Теплоэнергетика. – 1999. – № 5. – С. 9 – 12.
6. РД 10-577-03 (СО 153-34.17.421-2003). Типовая инструкция по контролю металла и продлению срока службы основных элементов котлов, турбин и трубопроводов тепловых электростанций.
7. Степанов В.В., Крушенко Г.Г. Применение математической модели для оптимизации технического обслуживания трубопровода высокого давления // Актуальные проблемы авиации и космонавтики: Тез. докл. Всерос. научно-практической конференции. В 2-х т. Т. 1. Технические науки. Информационные технологии. – Красноярск: Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М.Ф. Решетнева. – 2009. – С. 141 – 142.

УДК 66.045.5

**Утилизация энергетических потоков газа с отрицательной температурой на крупных ГРС*****О.В. Кулагина, А.Р. Гатуллина, Р.А. Молчанова****ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный технический нефтяной университет», г.Уфа, Россия****E-mail: kylaginaolga@mail.ru***

В работе рассмотрена холодильная установка для хранения различных продуктов при разных температурах с системой выработки и хранения пищевого льда. С точки зрения энергосбережения в газотранспортной системе на сегодня весьма перспективной является утилизация избыточной потенциальной энергии природного газа, дросселируемого на ГРС.

Как правило, для производства холода используются парокомпрессионные холодильные установки. В них в качестве хладагента используются химические вещества (аммиак, фреон и др.), неизбежные утечки которых негативно влияют на здоровье людей и ухудшают экологическую обстановку. Парокомпрессионные холодильные установки являются сложными и дорогостоящими объектами вследствие использования большого количества оборудования: компрессоров, испарителей, конденсаторов, ресиверов для хранения хладагента, насосов для перекачки хладоносителей, систем охлаждения оборотной воды, используемой в конденсаторах, системы смазки.

При использовании холодного природного газа в качестве хладагента система производства холода очень упрощается, так как будут использоваться только теплообменные аппараты и вентиляторы. Кроме того, природный газ не является токсичным веществом и его применение в качестве хладагента в сочетании с детандерными установками может позволить создать высокоэффективные экологически чистые, менее дорогостоящие холодильники с упрощенной структурой.

В настоящее время известны технологии комплексного использования «бросовой» энергии газа на ГРС для выработки электроэнергии и «холода» без сжигания топлива, т.е. экологически чистым способом. При расширении газа в турбине температура его снижается, в результате возникает холод, как сопутствующий энергетический эффект. При этом среднетемпературный (минус 20-30°C) холод возможно рассматривать уже не как негативное явление, а полезно его использовать, в частности, в холодильниках для охлажденного хранения продуктов питания, морозильных камерах и льдогенераторах.

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.

На рисунке 1 представлена расчетная схема холодильного комплекса с указанием параметров поступающего от детандерного агрегата природного газа. Поток холодного газа разделяется на два, один из которых поступает на охлаждение воздушной среды камер

холодильника, а другой – в баке льдогенератора и помещении льдохранилища. Последовательно проходя приборы охлаждения оба потока газа нагреваются до необходимой температуры и поступают к потребителям. Вместимость рассчитанного холодильника составляет 700 т. Состоит из четырех камер вместимостью 280, 140, 140 и 140 т соответственно, а также одного совмещенное помещение для товарной обработки и экспедиции. В связи с большой сезонной неравномерностью потребления холода предложен льдогенератор пищевого льда производительностью 5 т/сут, вместимость льдохранилища составляет 650 т. Выбор строительных и тепло-, пароизоляционных материалов был произведен в соответствии с необходимыми требованиями к их качествам [1].

Температура в первой камере поддерживается около  $-18^{\circ}\text{C}$ , во второй -  $-1^{\circ}\text{C}$ , третьей -  $-0,5^{\circ}\text{C}$  и четвертой -  $-2^{\circ}\text{C}$ . Для обеспечения заданных параметров микроклимата в камерах устанавливаются теплообменные аппараты, называемые воздухоохладителями. Они предназначены для отвода теплоты из охлаждаемых помещений. Для их подбора был проведен расчет теплопритоков в помещения холодильного комплекса. Суммарный теплоприток составил 132 кВт.

Также для утилизации энергии потока холодного газа рассматривается возможное использование льдогенератора капельного замораживания.

Суть способа льдообразования состоит в том, что капли предварительно охлажденной воды до температуры около  $5^{\circ}\text{C}$  в водогазовом теплообменнике, выпадают из насадков и попадают во встречный поток холодного воздуха (температура до минус  $30^{\circ}\text{C}$ ), нагнетаемого в камеру вентилятором по направляющим патрубкам. В нижней части установлен накопитель льда, опрокидывающийся по мере наполнения на транспортер, частично уходящий в помещение льдохранилища.

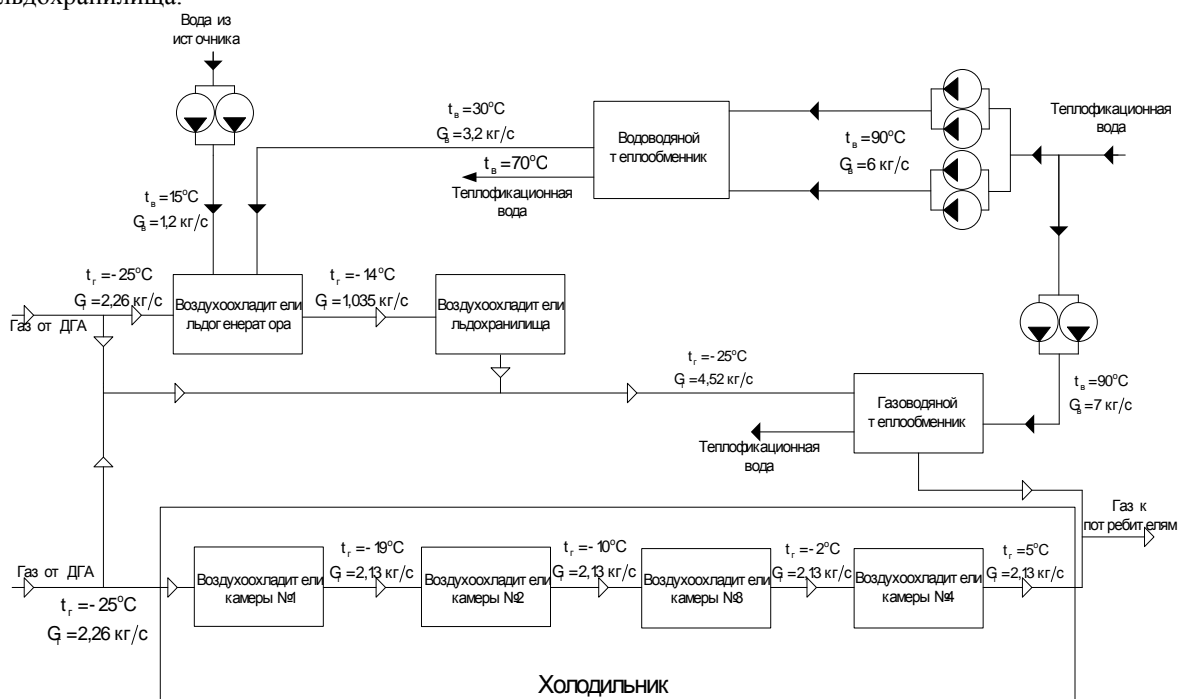


Рис. 1. Расчетная схема холодильного комплекса.

Результаты расчетов показали, что для полного замораживания капли воды и охлаждения льда до заданной температуры капле необходимо пройти значительный путь, а это, в свою очередь, увеличивает размеры оборудования. При диаметре капли от 2 до 30 мм путь прохождения составляет от 1 до 146 м [2,3]. Такая высота льдогенератора является неприемлемой, поэтому рассматривается другой вариант получения льда с помощью льдогенератора блочного льда.

Традиционный генератор блочного льда имеет изолированный снаружи бак с рассолом, охлаждаемым работой холодильной машины [4]. В качестве замены рассолу предлагается подавать в бак вентиляторами холодный воздух, который будет охлаждаться в теплообменниках. В этот бак

опускают формы с налитой в них водой. Вода постепенно замерзает на стенках и днищах форм. Воздухоохладители расположены за пределами бака и устроены как в камерах газового холодильника.

Для хранения произведенного льда предусматривается льдохранилище, охлаждение воздуха внутри него (поддерживается температура  $-5^{\circ}\text{C}$ ) устроено как в камерах холодильника. Таким образом, данный проект позволит эффективно использовать поток природного газа с отрицательной температурой. В случае изменения параметров поступающего газа возможно расширение производственной мощности холодильного комплекса.

#### Список используемой литературы:

1. Лашутина Н.Г. Холодильные машины и установки/ Н.Г.Лашутина, Т.А.Верхова, В.П.Судов. – М.: КолосС, – 2006. – 440 с.
2. Исаченко В.П. Теплопередача / В.П.Исаченко, В.А.Осипова, А.С.Сукомел. – М.: Энергия, – 1975. – 487 с.
3. Лыков А.В. Теория теплопроводности. – М.: Высшая школа, – 1967. – 599 с.
4. Бобков В.А. Производство и применение льда. – М.: Пищевая промышленность, –1977. – 232 с.

УДК 662.613.5

### Графическое обоснование выбора оптимальных углей для газификации

*А.Ф. Рыжков, А. К. Курзанов*

*Уральский Федеральный Университет, г. Екатеринбург, Россия*

*Уральский Федеральный Университет – филиал ОАО «Энел – ОГК - 5» Рефтинская ГРЭС*

*E-mail: [kurzanov\\_a\\_k@mail.ru](mailto:kurzanov_a_k@mail.ru)*

На основе зависимостей, полученных эмпирическим путём, построены графики, отражающие связь между процентным содержанием летучих в угле и выходом компонентов летучих в процессе газификации. Представлено графическое обоснование целесообразности использования некоторых углей для газификации. Указаны границы выхода летучих из угля в пределах которых наиболее эффективно получение синтез-газа.

На сегодняшний день, по данным [1], для оценки состава летучих, широкое распространение получили зависимости, базирующиеся на утверждении, что летучие состоят из шести компонентов:  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ , смолы, а их массовые доли зависят только от содержания летучих элементов в исходном топливе. Эти зависимости получены при обобщении экспериментальных данных для различных углей. С точки зрения современного представления органической массы угля в виде совокупности функциональных групп, объединённых в комплексы из ароматических колец, данные зависимости не дают точных результатов, однако, позволяют оценить порядок значений массы получаемых продуктов.

$$\text{H}_2^m = 0.157 - 0.868V_{\text{daf}} + 1.338V_{\text{daf}}^2 \quad (1),$$

$$\text{CH}_4^m = 0.201 - 0.469V_{\text{daf}} + 0.241V_{\text{daf}}^2 \quad (2),$$

$$\text{H}_2\text{O}^m = 0.409 - 2.389V_{\text{daf}} + 4.845V_{\text{daf}}^2 \quad (3),$$

$$\text{CO}^m = 0.423 - 2.653V_{\text{daf}} + 4.845V_{\text{daf}}^2 \quad (4),$$

$$\text{CO}_2^m = 0.135 - 0.9V_{\text{daf}} + 1.906V_{\text{daf}}^2 \quad (5),$$

$$\text{tar}^m = -0.325 + 7.279V_{\text{daf}} - 12.884V_{\text{daf}}^2 \quad (6).$$

На основе вышеприведённых зависимостей были построены графики для всего спектра углей указанных в [2] с учётом их выхода летучих компонентов (3,5 % - 65 %):

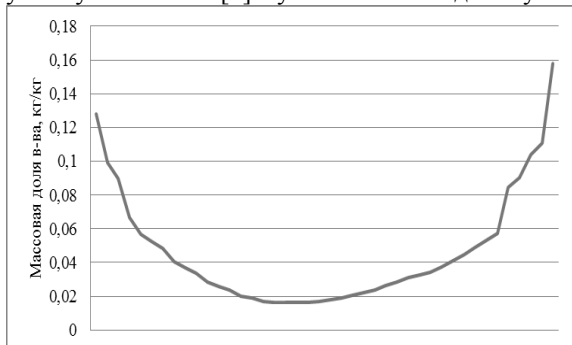


Рис. 1. Выход «H<sub>2</sub>» из угля с ростом V<sup>I</sup>.

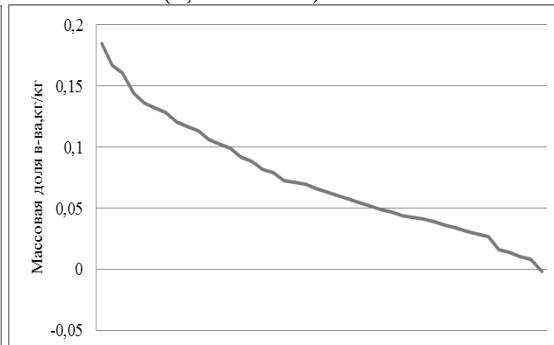


Рис. 2. Выход «CH<sub>4</sub>» из угля с ростом V<sup>I</sup>.



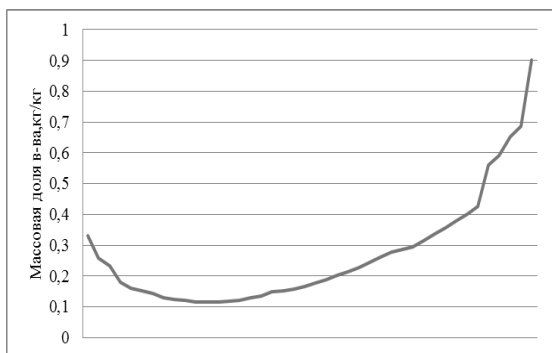


Рис. 3. Выход «H<sub>2</sub>O»...

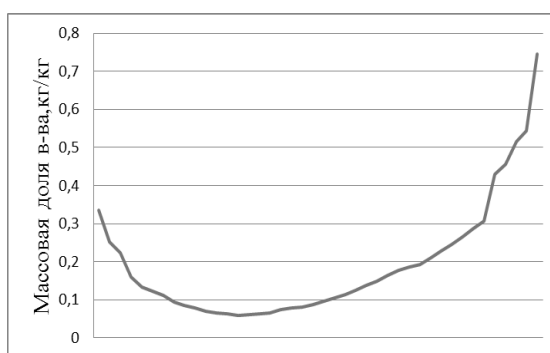


Рис. 4. Выход «CO»...

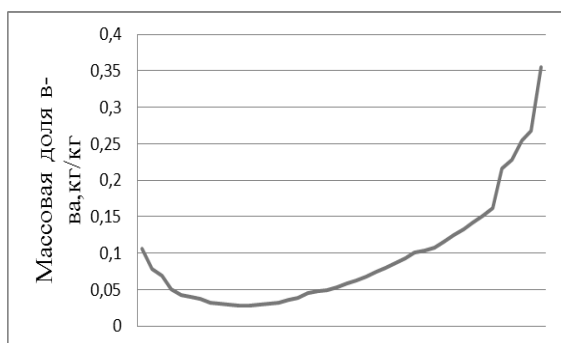


Рис. 5. Выход «CO<sub>2</sub>»...

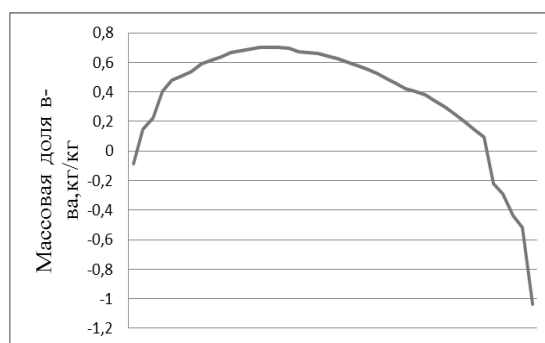


Рис. 6. Выход смолы...

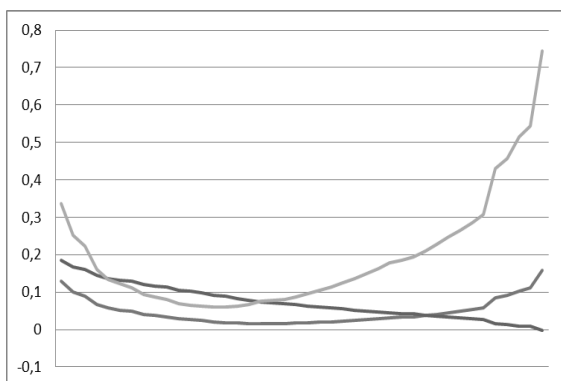


Рис. 7. Выход H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO [горючие].

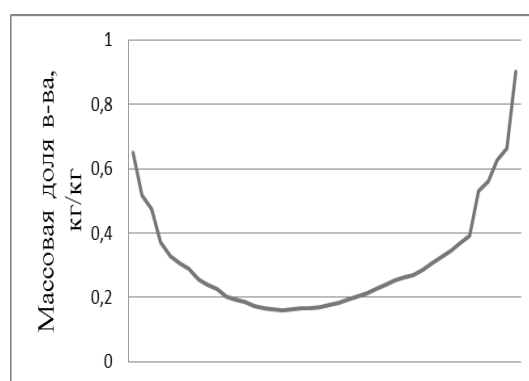


Рис. 8. Общий выход горючих компонентов.

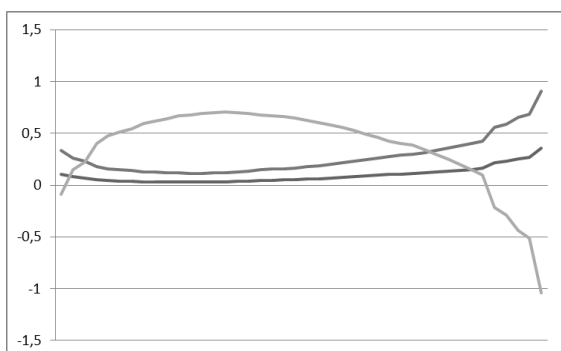


Рис. 9. Выход H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, смолы [балласт].

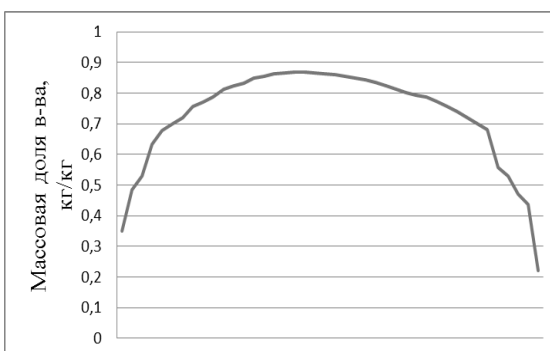


Рис. 10. Общий выход балластных компонентов.

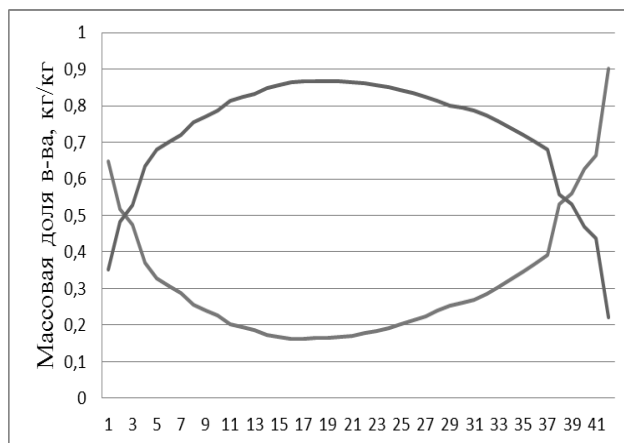


Рис. 11. Зависимость содержания горючих и балластных компонентов в летучих углях от суммарного выхода летучих компонентов [V<sup>Г</sup>].

Уравнения (1) – (6) имеют вид квадратных уравнений. Их решение позволяет сделать нам некоторые выводы:

– концентрация горючих компонентов минимальна при выходе летучих 31,5 %, а при 32,5 % максимальна концентрация балласта. Таким образом, использование для газификации углей с «V<sup>Г</sup>» в этих пределах абсолютно не целесообразно;

– рисунок «11» показывает нам, что имеются две области, в которых мы можем эффективно получать горючие компоненты (левее и правее точек пересечения графиков). Решив задачу, получаем, первая точка при «V<sup>Г</sup>» = 8,1 %, вторая – «V<sup>Г</sup>» = 55,5 %. То есть, используя для газификации антрациты с «V<sup>Г</sup>» до 8,1 % (левее) мы будем получать больше синтез-газа и меньше балластных компонентов. Либо, используя угли с «V<sup>Г</sup>» ≥ 55,5 % будем иметь похожий результат;

– при «V<sup>Г</sup>» = 64 % концентрация метана будет нулевой. Поэтому, если нашей первичной задачей является получение метана, то необходимо использовать угли с меньшими значениями выхода летучих. Фактически — во всём диапазоне представленных углей мы сможем получить метан при их газификации;

– расчётные данные указывают на то, что угли с выходом летучих менее 4,9 % и более 51,6 % в ходе процесса выделения летучих не будут давать смолистых продуктов. Объединив эти данные с вышеописанными можно сделать вывод о целесообразности использования для газификации углей имеющих 55,5 % < V<sup>Г</sup> < 4,9 %. В этом случае мы будем получать газовые продукты без смолы, очистка газов от которой является достаточно трудоёмким процессом.

#### Список используемой литературы:

1. Волков Э. П., Зайчик Л. И., Першуков В. А. Моделирование горения твёрдого топлива. // – М.: Наука, – 1994. – 319 с.
2. Тепловой расчёт котельных агрегатов (нормативный метод). / Кузнецов Н.В., Митор В.В., Дубовский И.Е. и др. – М.: Энергия, – 1973. – 295 с.
3. Карпенко Е. И., Мессерле В. Е. Введение в плазменно-энергетические технологии использования твёрдых топлив. // – Новосибирск: Издательство СО РАН, – 1997. – 118 с.

#### Регенерация питательной воды высокотемпературных турбоустановок использованием пароохладителей

**К.Б. Ларионов, Б.Ф. Калугин**

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

**E-mail: 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  $t_0=800^\circ\text{C}$ , использовалась турбоустановка К-200-130 с начальными параметрами пара  $t_0=565^\circ\text{C}$  и  $P_0=13$  МПа и конечным давлением  $P_K=0,0033$  МПа.

Изменив начальную температуру пара с  $t_0=565^\circ\text{C}$  до  $t_0=800^\circ\text{C}$ , при неизменном начальном давлении  $P_0=13$  МПа, конечном давлении  $P_K=0,0033$  МПа и расходе пара  $D_0=154$  кг/с, после произведенного последующего расчета было определено, что мощность данной установки возросла на 73,9 МВт, что привело к увеличению абсолютного электрического КПД на 4,3%. При использовании поверхностного подогревателя противоточного типа для отведения тепла перед первым подогревателем по ходу конденсационного потока регенерации, после проделанных расчетов, увеличение мощности турбоустановки составила на 1,5 МВт, и соответственно увеличению абсолютного электрического КПД на 0,2%.

В данной работе был рассмотрен вопрос влияния регенерации питательной воды с использованием пароохладителей на эффективность цикла с начальной температурой  $t_0=565^\circ\text{C}$  и  $t_0=800^\circ\text{C}$  и идентичных давлений отборов пара, предназначенный для снижения температуры отборного перегретого пара выше на  $10\div 15^\circ\text{C}$  от состояния насыщения. Таким образом после каждого подогревателя в схему данного цикла был установлен пароохладитель, как отдельный теплообменный аппарат (рис. 1).

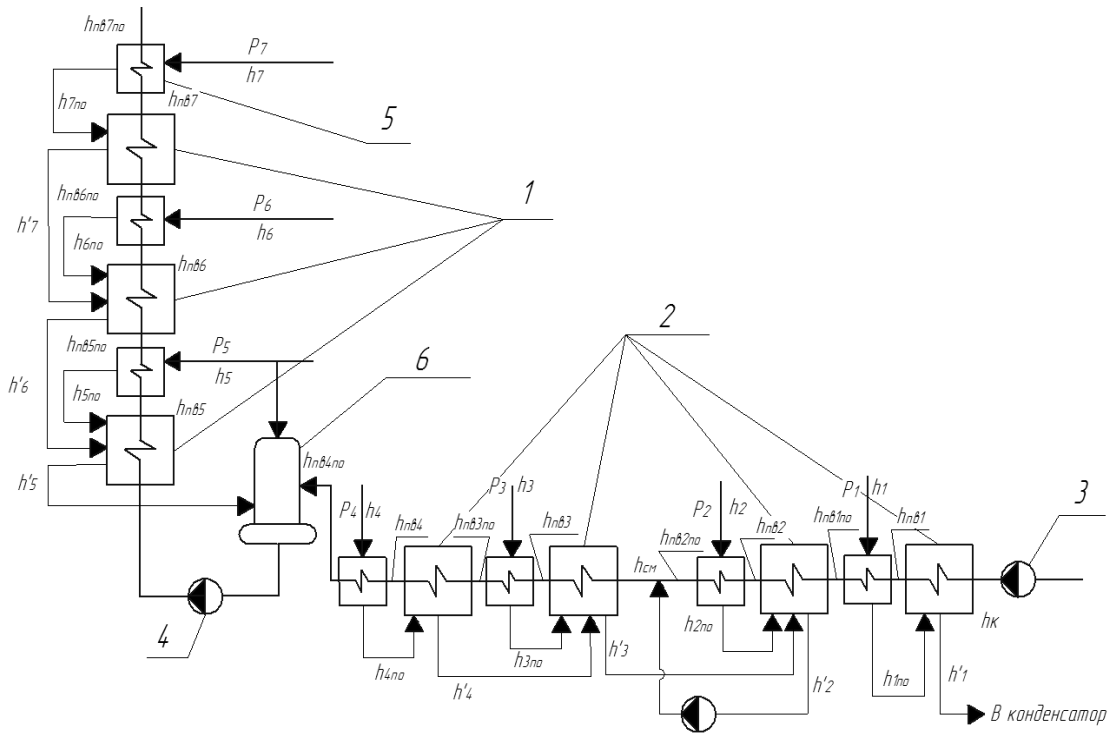


Рис. 1. Схема регенеративной установки с применением пароохладителя (1-подогреватели высокого давления, 2-подогреватели низкого давления, 3-конденсационный насос, 4- питательный насос, 5-пароохладитель, 6-деаэратор).

Для определения относительных расходов пара в отборах составляем систему уравнений теплового и материального баланса с учетом использования пароохладителей, как для линии ПВД, так и для линии ПНД [1].

После вычисления систем уравнений для данной схемы в программе MathCAD, были определены относительные расходы пара и энтальпии питательной воды в линиях ПВД и ПНД, а так же мощность турбоустановки, абсолютный электрический КПД, результаты которых занесены в таблицу 1 и 2.

Таблица 1. Результаты вычислений относительных расходов пара и энтальпий питательной воды, мощности турбоустановки и абсолютного электрического КПД при начальной температуре  $t_0/t_{пп}=565^\circ\text{C}$ .

№ отбора	Относительный расход пара, $\alpha$	Энтальпия питательной воды, $h_{пв}$	Значение, кДж/кг	Мощность $N_{э}$ , МВт	Абсолютный электрический КПД $\eta_{э}$ , %
1	0,04327	$h_{пвпо7}$	1034	198	44
2	0,07626	$h_{пвпо6}$	940		
3	0,03841	$h_{пвпо5}$	773		
4	0,04523	$h_{пвпо4}$	659		
5	0,03912	$h_{пвпо3}$	521		
6	0,05088	$h_{пвпо2}$	429		
7	0,00978	$h_{пвпо1}$	241		

После проведенных расчетов определим температуру питательной воды за каждым подогревателем и пароохладителем для схем с начальной температурой  $t_0=565^\circ\text{C}$  и  $t_0=800^\circ\text{C}$ , данные которых представлены в таблице 3 и 4.

$$t_{пв}=f(P_{пв}, h_{пв}),$$

где  $t_{пв}$ -температура питательной воды,  $P_{пв}$ -давление питательной воды,  $h_{пв}$ -энтальпия питательной воды

Таблица 2. Результаты вычислений относительных расходов пара и энтальпий питательной воды, мощности турбоустановки и абсолютного электрического КПД при начальной температуре  $t_0/t_{пп}=800^\circ\text{C}$ .

№ отбора	Относительный расход пара, $\alpha$	Энтальпия питательной воды, $h_{пв}$	Значение, кДж/кг	Мощность $N_{э}$ , МВт	Абсолютный электрический КПД $\eta_{э}$ , %
1	0,03146	$h_{пвпо7}$	1042	272,8	48,5
2	0,06446	$h_{пвпо6}$	962		
3	0,04152	$h_{пвпо5}$	796		
4	0,03914	$h_{пвпо4}$	676		
5	0,03583	$h_{пвпо3}$	539		
6	0,04699	$h_{пвпо2}$	437		
7	0,01066	$h_{пвпо1}$	246		

Таблица 3. Температура питательной воды с учетом установки пароохладителя для схемы с начальной температурой  $t_0/t_{пп}=565^\circ\text{C}$ .

Температура питательной воды после собственных подогревателей	Значение, $^\circ\text{C}$	Температура питательной воды после пароохладителя	Значение, $^\circ\text{C}$
$t_{пв7}$	235,3	$t_{пвпо7}$	238,8
$t_{пв6}$	213,5	$t_{пвпо6}$	218,3
$t_{пв5}$	174,8	$t_{пвпо5}$	180,3
$t_{пв4}$	150,4	$t_{пвпо4}$	156,2
$t_{пв3}$	120,6	$t_{пвпо3}$	124
$t_{пв2}$	93,5	$t_{пвпо2}$	102,5
$t_{пв1}$	57,4	$t_{пвпо1}$	57

Таблица 4. Температура питательной воды с учетом установки пароохладителя для схемы с начальной температурой  $t_0/t_{\text{нп}}=800^\circ\text{C}$ .

Температура питательной воды после подогревателя	Значение, $^\circ\text{C}$	Температура питательной воды после пароохладителя	Значение, $^\circ\text{C}$
$t_{\text{пв}7}$	235,3	$t_{\text{пвпо}7}$	240,6
$t_{\text{пв}6}$	213,5	$t_{\text{пвпо}6}$	223
$t_{\text{пв}5}$	174,8	$t_{\text{пвпо}5}$	185,6
$t_{\text{пв}4}$	150,4	$t_{\text{пвпо}4}$	160
$t_{\text{пв}3}$	120,6	$t_{\text{пвпо}3}$	128,2
$t_{\text{пв}2}$	93,5	$t_{\text{пвпо}2}$	104,2
$t_{\text{пв}1}$	57,4	$t_{\text{пвпо}1}$	58,6

В результате существенного нагрева питательной воды в установке с начальной температурой  $t_0=800^\circ\text{C}$ , выходящей из пароохладителя, было снижено давление пара в отборах и проведено исследование экономичности турбоустановки при данных параметрах давления в отборах.

Для определения нового значения давления в отборах, воспользуемся значением температуры насыщения в пароохладителе, которая определяется по формулам

$$\Delta t = t_{\text{пвпоп}} - t'_{\text{пвпоп}}$$

$$t'_s = t_{\text{пвп}} - \Delta t + \Theta$$

$$P_{\text{отб}} = f(t'_s),$$

где  $t'_s$  – температура насыщения,  $\Delta t$  – разность температур питательной воды на выходе из пароохладителя при начальной температуре  $t_0=800^\circ\text{C}$  и  $t_0=565^\circ\text{C}$ ,  $\Theta$  – недогрев питательной воды в пароохладителе,  $P_{\text{отб}}$  – давления пара в отборах.

Для расчета воспользуемся теми же уравнениями материального и теплового баланса, что и для предыдущих вычислений. Полученные результаты занесем в таблицу 5.

Таблица 5. Результаты вычислений относительных расходов пара и энтальпий питательной воды, мощности турбоустановки и абсолютного электрического КПД при снижении давления и начальной температуре  $t_0/t_{\text{нп}}=800^\circ\text{C}$ 

№ отбора	Давление пара в отборах, МПа	Относительный расход пара, $\alpha$	Энтальпия питательной воды за пароохладителем, $h_{\text{пвпо}}$	Температура на выходе из пароохладителя $t_{\text{по}}, ^\circ\text{C}$	Мощность $N_{\text{э}}$ , МВт	Абсолютный электрический КПД $\eta_{\text{э}}$ , %
1	3,360	0,03785	1038,4	239,8	275,6	48,8
2	2,096	0,06834	941,5	218,5		
3	0,889	0,03749	765,8	178,7		
4	0,491	0,03743	660	156,4		
5	0,205	0,03964	523,9	124,6		
6	0,105	0,04343	403,3	96,1		
7	0,021	0,00844	240,2	57,2		

Таким образом, в результате проделанной работы было определено, что установка пароохладителя в регенеративную схему питательной воды и снижения давлений в отборах способствует увеличению абсолютного электрического КПД на 0,3%, за счет уменьшения относительных расходов пара из отборов.

#### Список используемой 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.

УДК 620.195

**Возможность модернизации подогревателей паротурбинных установок АЭС****С.В. Лавриненко***Томский политехнический университет, г. Томск, Россия***E-mail: serg86@tpu.ru**

Ускоренные темпы экономического развития и повышение уровня жизни населения вызывают повышенный спрос на электроэнергию. Рост электропотребления, предусмотренный Энергетической стратегией России на период до 2020 года, в настоящее время в среднем по стране выше на 50 процентов, а в отдельных наиболее динамично развивающихся районах в несколько раз превышает запланированный [1]. Именно эти крупные городские агломерации, районы добычи углеводородов и размещения организаций тяжелой промышленности сталкиваются сегодня с реальной перспективой того, что недостаток мощностей электроэнергетики может стать сдерживающим фактором экономического развития субъектов Российской Федерации.

В этих условиях перед атомной отраслью встает задача увеличения объемов производства электроэнергии и расширения производственных мощностей организаций отрасли.

Концерн «Энергоатом» в течение последних лет проводит целенаправленную работу по модернизации АЭС. На рисунке 1 приведены результаты этой работы. Проведенная модернизация оборудования уже в 2009 г. позволила получить дополнительную мощность, эквивалентную мощности новой турбины 220 МВт, а в 2010 г. она будет соответствовать вводу нового энергоблока 440 МВт.

Из-за недостаточного финансирования (на уровне 70,6 процента предусмотренного объема) к 2005 году вместо предусмотренных 3 энергоблоков атомных электростанций общей установленной электрической мощностью 3 ГВт были введены в эксплуатацию только 2 энергоблока атомных электростанций общей установленной электрической мощностью 2 ГВт [2].

В настоящее время на 10 действующих атомных электростанциях Российской Федерации эксплуатируется 32 энергоблока общей установленной мощностью 24 288 МВт. В 2011 году российские атомные станции выработали 172,7 млрд кВт\*ч (101,7 % к балансу ФСТ России и 101,5 к аналогичным показателям 2010 года) [3].

Модернизация теплообменников турбин российских АЭС с ВВЭР-1000 становится весьма актуальной при современной тенденции продления срока службы энергоблоков сверх проектного значения - предполагаемое продление ресурса составляет 30 лет.



Рис. 1. Дополнительная мощность турбоустановок АЭС России.

Обеспечение надежной работы парогенераторов (ПГ) – важнейшая задача эксплуатации АЭС во всем мире. Из-за повреждения теплообменных труб до выработки проектного ресурса

были заменены или выведены из эксплуатации практически все зарубежные вертикальные парогенераторы первого поколения с трубами из сплава 600МА [4].

Парогенераторы АЭС с реакторами типа ВВЭР могут работать в составе энергоблока при соблюдении следующих условий:

- элементы и узлы ПГ удовлетворяют требованиям статической и циклической прочности, а также способны оказывать сопротивление хрупкому разрушению;
- количество работоспособных труб, оставшихся после выведения из эксплуатации поврежденных теплообменных труб, должно обеспечивать необходимые для эксплуатации параметры энергоблока.

Одним из элементов ПГ АЭС с ВВЭР, являющимся критичным с точки зрения обеспечения надежной и безопасной эксплуатации – теплообменные трубы. Их состояние является фактором, определяющим ресурс парогенератора. На сегодняшний день максимальное количество заглушенных труб на одном из ПГ энергоблоков АЭС с ВВЭР-440 достигает 12 % (в среднем число заглушенных труб на ПГ энергоблока составляет 8 %) и на ПГ энергоблоков АЭС с ВВЭР-1000 – 9,6 % (среднее число заглушенных труб – 4,9 %) [5].

Актуальной проблемой эксплуатации АЭС с реакторами ВВЭР является снижение поступления продуктов коррозии и коррозионно-агрессивных примесей в парогенератор. На действующих энергоблоках АЭС с ВВЭР-1000 (при ведении гидразинно-аммиачного (ГАР) ВХР II контура) большая часть железа в питательной воде парогенератора обусловлена коррозией оборудования и трубопроводов конденсатно-питательного и парового трактов [6].

Водно-химический режим (ВХР) АЭС – один из важнейших факторов, влияющих на их надежную, безопасную эксплуатацию. На всем протяжении жизненного цикла АЭС остается актуальной проблема создания и поддержания таких физико-химических свойств теплоносителей, которые бы предотвращали коррозионные повреждения конструкционных материалов оборудования и образование отложений на его поверхностях.

На рисунке 2 представлена зависимость изменения поступления продуктов коррозии железа и меди в питательную воду в зависимости от pH рабочей среды - с увеличением pH скорость коррозии меди увеличивается, железа - падает [7].

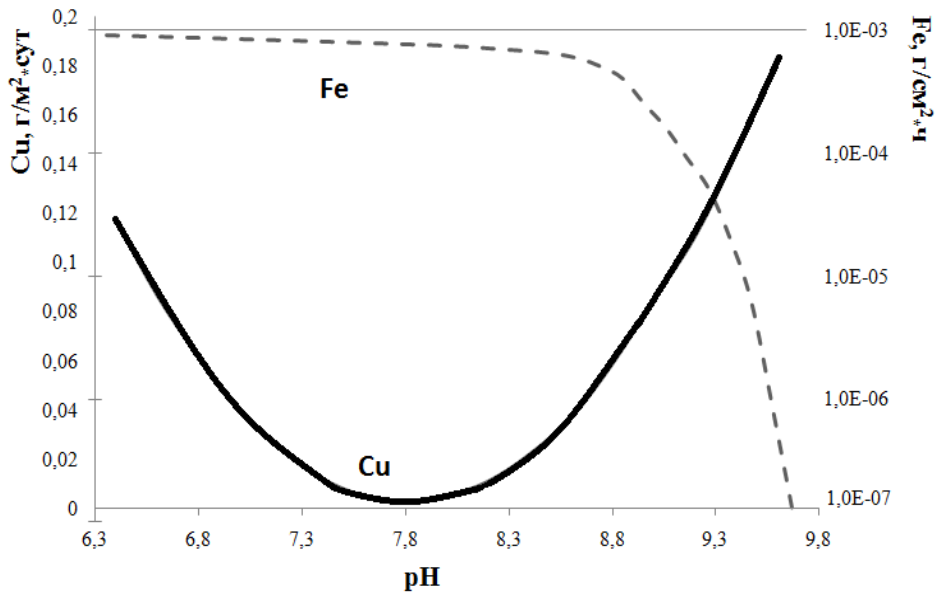


Рис. 2. Поступление продуктов коррозии железа и меди в питательную воду в зависимости от pH среды.

Явление эрозии-коррозии металла характеризуется одновременным и взаимосвязанным протеканием двух процессов: с одной стороны, формирования защитного оксидного слоя на поверхности металла, а с другой - его растворения и выноса в поток продуктов растворения.

Наиболее экономически эффективная мера предупреждения ЭКВ – повышение эрозионно-коррозионной стойкости элементов энергоблоков на стадии проектирования путем оптимизации выбора металла, формы и размеров проточной части трубопроводов и оборудования, а также

параметров водно-химического режима. При этом корректировка последнего является фактически единственным из вышеперечисленных факторов, влияющих на интенсивность общей эрозии-коррозии не только отдельных элементов, но и всей рабочей поверхности конденсатно-питательного и влажно-парового трактов энергоблоков.

Очень важной является проблема устранения медьсодержащего оборудования из конденсатно-питательного тракта. На многих зарубежных АЭС («Пакш», «Козлодуй», «Дукованы») такая модернизация, включающая замену латунных трубок конденсаторов турбин на нержавеющие, введение ВХР с высоким показателем рН, выполнение химических промывок ПГ, была проведена. В результате количество повреждений труб в ПГ резко снизилось. Для примера в таблице 1 приведены значения отношения числа заглушенных в период планово-предупредительного ремонта (ППР) теплообменных труб к числу труб, подвергнутых контролю до и после проведения указанных мероприятий (парогенераторы энергоблока №1 АЭС «Пакш») [4].

Таблица 1. Относительное количество заглушенных теплообменных труб парогенератора энергоблока №1 АЭС «Пакш».

Номер ПГ	Годы проведения ППР	Относительное количество заглушенных теплообменных труб до и после проведения защитных мероприятий*	
		до	после
1	1995-2003	0,004	0
2	1999-2003	0,006	0
3	1989-2004	0,0016	0,0007
4	1992-2003	0,05	0,0007
5	1990-2006	0,003	0
6	1990-2006	-	0,0007

\*В 1999 г. был осуществлен переход на повышенное значение рН, а в 2000 г. – химическая промывка от железа и меди.

Очевидным преимуществом замены материала поверхности теплообмена является заметное (в 3-4 раза) уменьшение скорости накопления шлама в парогенераторах в течение кампании. Предельно допустимое значение удельной загрязненности теплообменных труб ПГ при гидразинно-аммиачном ВХР достигается за 3÷4 года эксплуатации энергоблока, при этаноламиновом ВХР – за 10÷15 лет.

Таким образом, замена материала поверхности теплообмена на нержавеющую сталь позволит увеличить значение рН в питательной воде до 9,5...9,7, что приведет к заметному снижению скорости эрозионно-коррозионного износа оборудования и трубопроводов, изготовленных из углеродистых сталей, и уменьшению загрязненности теплообменных поверхностей. В конечном счете это приведет продлению срока службы ПГ, снижению затрат на ремонт и повышению безопасности эксплуатации ЭБ в целом.

#### Список используемой литературы:

1. [http://www.rosatom.ru/aboutcorporation/activity/energy\\_complex/electricitygeneration/#raz2](http://www.rosatom.ru/aboutcorporation/activity/energy_complex/electricitygeneration/#raz2) Государственная корпорация по атомной энергии "Росатом"
2. [http://www.programs-gov.ru/31\\_1.php](http://www.programs-gov.ru/31_1.php) Федеральная целевая программа "Развитие атомного энергопромышленного комплекса России на 2007 - 2010 годы и на перспективу до 2015 года"
3. [http://www.ng.ru/energy/2012-04-10/13\\_news.html](http://www.ng.ru/energy/2012-04-10/13_news.html) Независимая газета.
4. Трунов Н.Б., Давиденко С.Е., Попадчук В.С. Современное со-стояние проблемы управления ресурсом парогенераторов АЭС с ВВЭР // Теплоэнергетика. – 2011. – № 3. – С. 6 – 10.
5. Обоснование требований к достоверности вихретокового контроля теплообменных труб парогенераторов типа ПГВ / В.А. Григорьев, В.В. Уланов, А.А. Шубин и др. //ВАНТ. Сер. Обеспечение безопасности АЭС. – 2006. Вып. 13.
6. Тяпков В.Ф. Комплексный подход к выбору водно-химического режима II контура в проектах АЭС с ВВЭР-1200 // Теплоэнергетика. – 2011. – № 5. – С. 16 – 20.
7. Тяпков В.Ф., ОАОВНИИАЭС, г. Москва, Шарафутдинов Р.Б., НТЦ ЯРБ Ростехнадзор, г. Москва.



УДК 621.86(035)

### Оценки состояния дисперсной среды с несвязными частицами в установке поршневого пневмотранспорта

*М.В. Василевский, В.И. Романдин\*, Е.Г. Зыков\*\**

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

*\*Томский государственный университет, г. Томск, Россия*

*\*\*ООО «Томсказоочистка», г. Томск, Россия*

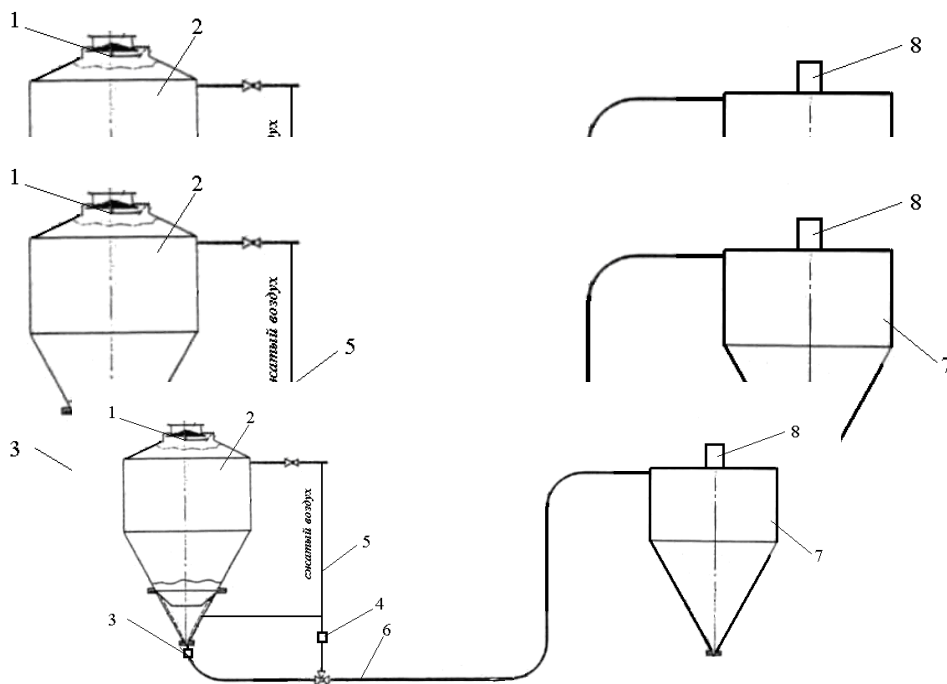
*E-mail: [vasmix40@mail.ru](mailto:vasmix40@mail.ru)*

В работе проведен анализ процесса поршнеобразования несвязных материалов. Выяснено, что основными факторами структурообразования являются инерционные эффекты и взаимодействие с ограничивающими поток поверхностями. Проведены оценки сопротивления движению поршней при механическом воздействии и воздействии фильтрацией.

Пневмотранспорт по видам подразделяется на скоростной транспорт (транспорт взвесью), замедленный транспорт (с поршневой структурой, гребнеобразной структурой), медленный транспорт (плотным слоем) [1–2].

Поршневой транспорт обладает преимуществами по сравнению с транспортом взвесью: отсутствие измельчения материала, меньший расход энергии, большая дальность транспортирования, высокая эффективность отделения материала от газа [1–3]. Исследования

пнев-  
трубс  
физи-  
конф  
являе  
поток  
порш  
состс  
транс  
устан  
тран



гно  
яется  
м и  
этров  
туры  
цеств  
ном  
ность  
гаких  
даче

Рис.1. Схема установки пневматического транспорта: 1–загрузочное устройство, 2 – питатель, 3 – механический клапан – делитель, 4 – пневматический клапан– делитель, 5– трубопровод сжатого воздуха, 6 – транспортный трубопровод, 7– приемный бункер, 8–пылеотделитель.

Дисперсный материал загружается в питатель, подается воздух. Под давлением воздуха материал через открытый клапан 3 поступает в трубопровод, через клапан – делитель 4 периодически подается воздух, который препятствует поступлению материала из питателя в трубопровод и способствует продвижению другой части материала по трубопроводу в сторону приемного бункера.

При изучении взаимодействия несвязных частиц со стенками цилиндрического бункера – питателя в условиях нисходящей фильтрации воздуха через слой обнаружен рост давления слоя на стенки при относительно малом изменении плотности слоя. Превышение перепада давления

против некоторых оптимальных величин приводит на практике к увеличению объема застойных зон, интенсификации каналаобразования, сводообразования и нарушению равномерности напорного истечения зернистых материалов из емкостей; «заклиниванию» плотного слоя при движении в каналах при пневмотранспорте по трубам [5].

Для подачи в трубопровод материал в питателе аэрируется. Однако в трубопровод он может входить в уплотненном состоянии в локальных областях, поскольку аэрация в трубопроводе отсутствует. В трубопровод материал из питателя входит в аэрированном состоянии и по мере продвижения материала количество контактов частиц между собой и со стенкой возрастает, происходит замедление движения и уплотнение за счет инерционных сил. Материал из питателя поступает в трубопровод со скоростью  $V_1$  и пройдя расстояние  $L$  имеет скорость  $V_2$ . При изменении скорости возникают инерционные эффекты, которые приводят к возникновению осевых и нормальных к поверхности трубопровода напряжений. Возникают дополнительные боковые давления материала, что приводит к увеличению сил трения. Уравнение движения материала на начальном участке трубопровода без учета фильтрации может быть представлено следующим образом (рис. 2а):  $-G_M dV - Sd\sigma - \sigma dS_{\text{бок}} \xi f = 0$ ,  $S = \pi D^2/4$ ,  $G_M = (1 - \varepsilon_1) \rho_\delta S V_1$ ,  $V = V_1 - (V_1 - V_2)(x/L)$ ,  $S_{\text{бок}} = \pi D x$ . В этих соотношениях  $D$  – диаметр трубопровода,  $S$  – площадь сечения трубопровода,  $L$  – длина поршня,  $x$  – координата,  $\rho_\delta$  – плотность вещества материала,  $\varepsilon_1$  – порозность дисперсного материала на входе в трубопровод. При фильтрации возникает дополнительная увлекающая материал сила за счет поверхностного взаимодействия частиц и газа. В этом случае уравнение движения имеет вид (рис. 2б):  $-G_M dV - Sd\sigma - \sigma dS_{\text{бок}} \xi f + F_\phi d\Omega = 0$ , где  $F_\phi = f_\delta S_\delta$ ,  $f_\delta$  – удельная сила, действующая по поверхности дисперсной среды Н/м<sup>2</sup>,  $S_\delta$  – удельная поверхность дисперсной среды м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>,  $d\Omega = S dx$  – элементарный объем, в котором проявляются поверхностные силы.

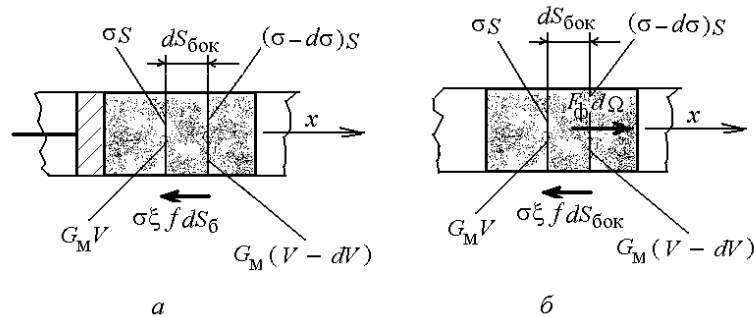


Рис. 2. Напряжения и силы в дисперсном материале при воздействии на поршень плунжером (а) и фильтрацией (б).

Фильтрационная сила определяется перепадом давления на элементе  $d\Omega = S dx$ :  $F_\phi d\Omega = dPS$ . Для упрощения будем полагать, что распределение давления вдоль поршня линейно и уравнение движения будет иметь вид

$$-\frac{V_1 - V_2}{L} (1 - \varepsilon_1) \rho_\delta V_1 - \frac{d\sigma}{dx} - \sigma \xi f \frac{4}{D} + \frac{P_1 - P_2}{L} = 0$$

Интегрирование уравнений движения проводится из условия, что в передней части поршня, при  $x=L$ , напряжение равно нулю, значение на тыльной стороне поршня равно разности давлений на поршне. Решение уравнения движения дисперсной среды поршня без фильтрации имеет вид

$$\sigma = \frac{(1 - \varepsilon_1) \rho_\delta V_1 (V_1 - V_2) D}{4 \xi f L} \left[ \exp \frac{4}{D} \xi f (L - x) - 1 \right] \quad (1)$$

Решение уравнения движения дисперсной среды поршня с учетом фильтрации при  $x=0$  имеет вид

$$P_1 - P_2 = \frac{\frac{V_1 - V_2}{L} (1 - \varepsilon_1) \rho_\delta V_1}{D \left[ \exp \frac{4}{D} \xi f L - 1 \right]} + \frac{1}{L} \quad (2)$$

Проведем сравнение перепадов давления при отсутствии фильтрации (1) и с фильтрацией (2). При этом в формуле (1) надо положить  $x=0$ , а  $\sigma=P_1 - P_2$ . Пусть  $V_1=4$  м/с,  $V_2=2$  м/с,  $\rho_8=2000$  кг/м<sup>3</sup>,  $\varepsilon_1=0,5$ ,  $D=0,1$  м,  $L=2$  м,  $\xi=0,2$ ,  $f=0,1$ . Расчет показывает что по формуле (1)  $P_1 - P_2 = 20$  кПа, по формуле (2) разность давления на поршне равна 5,7 кПа. При длинных поршнях фильтрация газа через поршень мала и движение сыпучего материала уподобляется его перемещению с помощью плунжера, которое не может реализоваться вследствие переуплотнения и расклинивания сыпучего в трубопроводе [6]. Анализ состояния дисперсной фазы в поршнеобразных структурах систем пневмотранспорта при изотермическом расширении газа в поршне приведен в [7].

Средний относительный объем дисперсной среды  $\varepsilon_t$  в трубопроводе определяется производительностью  $G$  (т/ч), временем пребывания материала  $L/V_t$  (с), массой транспортного пространства с материалом  $\rho_t SL$  (т):  $\varepsilon_{tL} = 1 - \varepsilon_L = (G/3600)(L/V_t)/SL\rho_t = (G/3600)/V_t S\rho_t$ , где  $\rho_t$ ,  $V_t$ ,  $S$  – плотность, скорость твердой фазы, проходное сечение трубопровода без материала. Отличие истинной, локальной порозности от средней определяет характер движения дисперсной фазы и ее напряженное состояние. Средняя объемная доля воздуха при поршневом транспорте  $\varepsilon_L$  составляет 0.87–0.95, во взвеси – 0.96–0.99. При установившемся движении скорость фильтрации несжимаемой жидкости через пористую среду в поршне  $V_{\phi} = k\Delta P/\mu_b l_t$  [8], где  $k$  – проницаемость (м<sup>2</sup>),  $\Delta P$ ,  $l_t$  – перепад давления на поршне, длина поршня,  $\mu_b$  – динамическая вязкость (Па·с). Истинная концентрация частиц в поршне определяется из соотношения  $K = G_m/SV$ , порозность  $\varepsilon = 1 - K/\rho_8$ .

В [4] проведено исследование транспортирования гранулированных материалов с низкой скоростью их перемещения по трубопроводу. Низкая скорость транспортирования обеспечивает незначительное изменение гранулометрического состава материала, а также предотвращает образование стружки при транспортировании гранулированного полиэтилена. Транспортный трубопровод с внутренним диаметром 51 мм и длиной 306 м расположен в горизонтальной плоскости, и имеет два поворота под углом 180°. Формирование поршней осуществлялось или с помощью поворотного клапана 3 рис.1, или пневматическим делителем 4, работа которых регламентируется задатчиком импульсов. Визуальные наблюдения через прозрачные участки трубопровода показали, что сформированный в начале трубопровода поршень длиной 1,5–2,0 м практически сохраняет свою длину при прохождении всей магистрали. Это достигается соответствием количества осыпающегося материала с тыльной части поршня подбираемому передней его частью из нижнего слоя, который поддерживается толщиной 10–15 мм. О регулярности этого процесса свидетельствует характер изменения статического давления при прохождении поршнями сечений трубопровода, где установлены датчики. По характерным для поршня изменениям давления при известных скоростях протяжки ленты самописца и расстояния между соседними датчиками оценивалась скорость перемещения поршней [4]. По осциллограммам определялось распределение статического давления вдоль магистрали (рис. 3). Как видно из кривых, в местах поворотов трубопровода градиент давления увеличивается. Замедление движения материала с дальнейшим его ускорением на прямолинейных участках видно по кривым изменения скорости поршней вдоль магистрали (рис. 4) [4].

Производительность по полиэтилену в зависимости от давления в питателе 600–1300 кг/ч. Средняя скорость движения поршней 2–4 м/с. С увеличением расстояния между поршнями увеличивается их скорость. Устойчивость транспортировки нарушается, когда происходит объединение поршней.

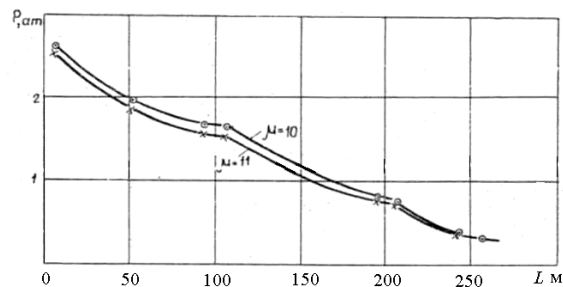


Рис. 3. Распределение статического давления по транспортной магистрали [4].

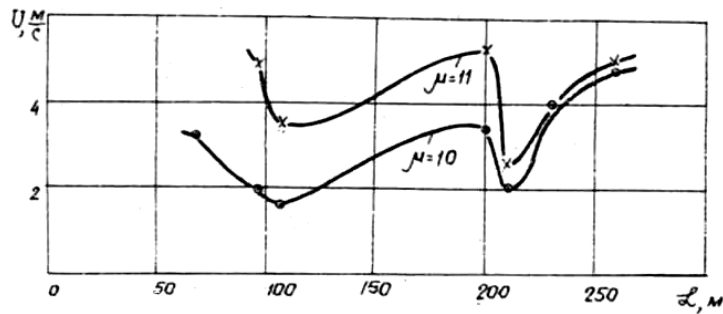


Рис. 4. Распределение скорости движения материала вдоль транспортной магистрали [4].

Проведенные исследования показали, что гранулированные материалы могут успешно транспортироваться с малыми скоростями в виде поршней.

Проведем оценку коэффициентов, фигурирующих в уравнениях (1) и (2). Произведение коэффициентов  $\xi f$  отражает ситуацию торможения движения материала ограждающими поверхностями в условиях давления частиц на стенку и возникновения силы трения. Значения этих коэффициентов берутся для конкретных материалов из опытных данных давления на стенку в статическом состоянии или сравнения с результатами испытания транспортной системы. Это произведение назовем коэффициентом взаимодействия частиц материала между собой и со стенкой  $\xi_f$ . При заполнении частицами входного участка трубопровода частицы взаимодействуют со стенками трубопровода разными частями своей поверхности. Поэтому трение индивидуальной частицы может являться трением скольжения или трением качения. Для множества частиц при упругих столкновениях со стенкой (рикошет) имеются моменты времени, когда частица неподвижна. В этот момент частица может подвергаться удару другой частицы, которая получает импульс в обратном направлении и может остановиться.

Простой эксперимент позволяет получить представление о коэффициенте взаимодействия  $\xi_f$  (рис. 5). Гранулы подаются на наклонный лоток шириной  $H$  в таком количестве, чтобы на горизонтальной подложке сформировался монослой частиц с толщиной этого слоя, равным эквивалентному размеру частицы с диаметром  $\delta$ . Входной импульс потока равен  $G_M V$ , первые частицы взаимодействуя со стенками канала останавливаются, последующие частицы взаимодействуют со стенками и с неподвижными частицами, которые удерживаются силами трения. Изменение импульса потока частиц расходуется на изменение силы трения в результате формирования слоя частиц.

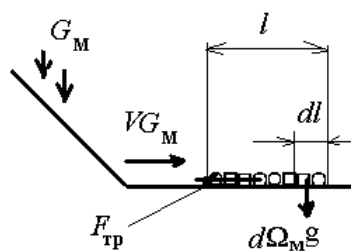


Рис. 5. Взаимодействие частиц с поверхностью.

$-G_M dV - d\Omega_M g \xi_f = 0$ ,  $V = G_M / [(1-\epsilon)\rho_\delta] / \delta H$ ,  $d\Omega_M = (1-\epsilon)\rho_\delta H \delta dl$ ,  $(1-\epsilon) = \Omega_M / \rho_\delta H \delta l$ ,  $\Omega_M / t = G_M$ . Используя приведенные соотношения, получим из первого уравнения  $\xi_f = l / g t^2$ . Первые оценки показывают, что для гранулированного полипропилена значения  $\xi_f$  находятся в диапазоне 0,05–0,15.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект №11–08–00059).

#### Список используемой литературы:

1. Шваб В.А. Аэромеханические методы в технологии производства порошковой продукции. – Томск: Изд-во Томск. ун-та, – 1984. – 161 с.
2. Островский Г.М. Пневматический транспорт сыпучих материалов в химической промышленности. – Л.: Химия, – 1984. – 104 с.

3. Воронин В.Н., Егоров В.М. Поршневой пневмотранспорт с малой скоростью. / Вопросы аэрогидромеханики и тепломассообмена в приложении к некоторым технологическим процессам. – Томск: Изд-во Томск. ун-та, – 1981. – С. 112 – 124.
4. Смолоник В.А., Егоров В.М., Мельник Л.Ф. Импульсный пневмотранспорт гранулированных материалов. / Вопросы прикладной аэродинамики и тепломассообмена – Томск: Изд-во Томск. ун-та, – 1983, с. 92 – 95.
5. Розанов О.Ю., Смолоник В.А. О физических основах стабилизации напорного движения плотного слоя сыпучего материала в каналах. / Вопросы прикладной аэродинамики и тепломассообмена – Томск: Изд-во Томск. ун-та, – 1983, с. 76 – 81.
6. Воронин В.Н., Егоров В.М., Квеско Б.Б. Особенности процесса фильтрации при поршневом пневматическом транспорте. / Вопросы аэрогидромеханики и тепломассообмена в приложении к некоторым технологическим процессам. – Томск: Изд-во Томск. ун-та, – 1979. – С. 90 – 96.
7. Романдин В.И., Василевский М.В. Анализ состояния дисперсной фазы в поршнеобразных структурах систем пневмотранспорта. Фундаментальные и прикладные проблемы современной механики: Сборник материалов конференции. Томск: Томский государственный университет, – 2011, с. 367–368.
8. Лейбензон Л.С. Движение природных жидкостей и газов в пористой среде. М.–Л.: Госуд. изд-во техн.- теоретич. литературы, – 1947, – 214 с.

УДК 621.1

**Эксергетический анализ методов снижения вредных выбросов от котельных агрегатов ТЭС*****В.В. Пинигин, А.Г. Батухтин, С.Ф. Мирошников****Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия****E-mail: [vaso-88@mail.ru](mailto:vaso-88@mail.ru)***

Представлены особенности методики, основанной на теории эксергетического анализа, позволяющей производить оценку способов снижения вредных выбросов от котельных агрегатов ТЭС.

Как известно, показателем, характеризующим суммарное воздействие каких-либо объектов антропогенной деятельности на окружающую среду, является эксергия выбрасываемых в нее потоков энергии и вещества. Она позволяет совмещать основы первого и второго начал термодинамики в одном параметре, показывая неодинаковую способность различных форм энергии к преобразовыванию из одной формы в другую, в том числе в работу.

К тому же, эксергия системы является показателем, характеризующим максимальную работоспособность этой системы в обратимом процессе. В то же время, эксергия является формой неограниченно превратимой энергии, которая потребляется во всевозможных технологических процессах [1].

В связи с этим, применительно к области экологии тепловой энергетики наиболее рациональным представляется производить анализ методов снижения вредных выбросов от котельных агрегатов на основе теории эксергии, с учетом разделения сопутствующих потерь на безвозвратные и «полезные», использование которых возможно в качестве вторичных энергоресурсов. При этом станет возможным осуществлять объективную оценку различных методов снижения вредных выбросов, как от энергетических источников вредных выбросов, так и от источников, создающих экологическую нагрузку в прочих отраслях промышленного производства и техники.

Эксергетический метод анализа позволяет вести сравнение различных энергетических систем на основе эксергетического баланса, который обладает более высокой точностью в сравнении с классическим тепловым.

Поскольку, паровой котел является неотъемлемым объектом современных энергетических систем, действие которого направлено на непосредственное преобразование энергии топлива в энергию рабочего тела, то объективное определение КПД котельного агрегата в наибольшей степени оказывает влияние на правильность определения совершенства и эффективности всей энергетической системы, в состав которой он входит.

На основании «классического» термодинамического анализа данной составной единицы системы установлено, что паровые котлы имеют достаточно высокий уровень эффективности. Тем не менее, с позиций анализа, основанного на эксергетическом подходе к оценке эффективности паровых котлов, многими исследователями сделан вывод, опровергающий данный факт и доказывающий, что в составе действующих электростанций именно в котельном агрегате имеют место наибольшие потери эксергии. И это связано, главным образом, с дополнительным учетом в методике эксергетического анализа величины составляющих потерь эксергии от необратимости процессов горения топлива и теплообмена в элементах котла.

Совместное рассмотрение эксергетического и энергетического анализов эффективности паровых котлов подвигает современных исследователей к переоценке совершенства котельных агрегатов с точки зрения термодинамики.

Исходя из этого анализ методов снижения вредных выбросов основывается на рассмотрении суммарного абсолютного приращения эксергии потоков, составляющих баланс котельного агрегата, выраженное в виде относительных потерь эксергии в котельной установке, на которой используется какой-либо способ снижения вредных выбросов:

$$\Delta\eta_{ex} = \frac{\Delta E_{пол.исп}}{E_{подв.}} = \frac{\Delta E_{пара} + \Delta E_{вт.прод}}{E_{топл.}} = 1 - \frac{\sum \Delta E_i \cdot E_i}{E_{топл.}},$$

где  $\Delta E_{пол.исп}$  - изменение полезно-использованной эксергии;

$E_{подв.}$  - подведенная (располагаемая) эксергия;

$\Delta E_{пара}$  - изменение эксергии пара;

$\Delta E_{вт.прод}$  - изменение эксергии побочных химических продуктов, получаемых при работе котельного агрегата;

$E_{топл.}$  - эксергия топлива;

$\Delta E_{пот.}$  - изменение потерь эксергии;

$\sum \Delta E_i \cdot E_i$  - сумма абсолютных потерь эксергии в элементах котельного агрегата.

При этом необходимо сопоставлять величину суммарного абсолютного приращения эксергии потоков, составляющих баланс котельного агрегата, с изменением величины эксергетического КПД котла, обусловленным применением на нем газоочистных технологий. В данном случае, для определения удельных и абсолютных потерь эксергии необходимо использовать стандартный метод вычисления потоков эксергии рассматриваемого котла:

$$E_{топл.} = E_{пара} + E_{ух.г} + E_{гв} + E_{шл} + E_{ун} + E_{пот}^{гор.} + E_{пот}^{т.о} + E_{пот}^{о.с} + E_{пот}^{разб},$$

где  $E_{ух.г}$  - эксергия уходящих газов;

$E_{гв}$  - эксергия горячего воздуха;

$E_{шл}$  - эксергия шлака;

$E_{ун}$  - эксергия уноса;

$E_{пот}^{гор.}$  - потери эксергии от необратимости процесса горения топлива;

$E_{пот}^{т.о}$  - потери эксергии от необратимости теплообмена;

$E_{пот}^{о.с}$  - потери эксергии в окружающую среду;

$E_{пот}^{разб}$  - потери эксергии из-за присосов воздуха.

Поскольку для эксергии характерно свойство аддитивности, то для каждого из представленных потоков, величина эксергии будет определяться как сумма физической и химической эксергий этого потока.

Для сопоставления величины потоков эксергии в котельном агрегате, в качестве примера рассмотрим использование природных цеолитов, позволяющих реализовать на котле аддитивный способ снижения вредных выбросов [2]. Сущность этого способа заключается в том, что

природный цеолит (клиноптилолит состава  $(\text{Na}_2\text{K}_2)\cdot\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 10\text{SiO}_2\cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ) применяют в качестве присадки к бурым углям при факельном сжигании в топках энергетических котлов, в результате чего происходит поглощение одновременно с оксидами серы  $\text{SO}_2$  и  $\text{SO}_3$  оксидов азота  $\text{NO}_x$ . Доля снижения указанных компонентов дымовых газов по данным [2] составляет: для серы – 6%, для азота – 50%, соответственно. При этом концентрация природных цеолитов в топливе составляет около 5%.

Результаты расчета составляющих эксергии в случае работы котельного агрегата с номинальной нагрузкой на угле Харанорского месторождения (1Б) с использованием и без использования аддитивной технологии газоочистки представлены в таблице 1.

Таблица 1. Показатели энергоэффективности и экологичности работы котельного агрегата БК3-220-100.

Статья баланса	Работа без газоочистки			Аддитивная технология		
	Масса, т	Энергия, ГДж/ч	Эксергия, ГДж/ч	Масса, т	Энергия, ГДж/ч	Эксергия, ГДж/ч
<i>Приход</i>						
Топливо	58,932	679,633	763,0347	62,748	681,957	765,6594
Организованный воздух	226,187	0	0	226,836	0	0
Присосы воздуха	33,929	0	0	34,025	0	0
Итого	319,048	679,633	763,0347	323,609	681,957	765,6594
<i>Расход</i>						
Перегретый пар	220	617,7132	323,9762	220	617,7132	323,9762
Потери от мех. недожега	0,584	6,73	7,63	0,621	6,753	7,656
Потери с ЗШП:	7,703	0,202	8,183	10,7426	0,3376	12,031
- зола (сумм.)	0,385	0,202	7,517	0,5376	0,3376	11,053
химическая;	-	-	7,387	-	-	10,845
физическая;	-	-	0,130	-	-	0,208
- шлак (сумм.)	7,318	-	0,666	10,205	-	0,978
химическая;	-	-	0,389	-	-	0,571
физическая;	-	-	0,277	-	-	0,407
Потери в ОС	-	3,634	1,749	-	3,634	1,749
Потери с ух. газами:	310,761	50,878	36,027	311,68	52,809	30,6524
- химическая;	-	-	27,648	-	-	24,2764
- физическая;	-	-	7,891	-	-	6,082
- концентрац-ая.	-	-	0,488	-	-	0,294
Потери от необратимости:						
- горения;	-	-	221,602	-	-	223,5232
- теплообмена.	-	-	163,8672	-	-	164,5113
Эксергия адсорбента:	0	-	-	0,5654	-	1,5603
- физическая;	-	-	-	-	-	0,16908
- $\text{SO}_2$ (уловл.);	-	-	-	-	-	0,02622
- $\text{NO}_x$ (уловл.).	-	-	-	-	-	1,365
Итого	319,048	679,633	763,0347	323,609	681,957	765,6594
Энергетический КПД, %	90,87			90,59		
Эксергетический КПД, %:						
- без учета ЗШП, $\text{SO}_2$ , $\text{NO}_x$ ;	42,46			42,31		
- с учетом ЗШП;	43,53			43,88		
- с учетом ЗШП и $\text{SO}_2$ ;	43,53			43,89		
- с учетом ЗШП, $\text{SO}_2$ , $\text{NO}_x$ .	43,53			44,07		

Анализируя данные, представленные в таблице 1, можно сделать вывод, что представленная методика эксергетического анализа способов снижения вредных выбросов является более совершенной по сравнению с существующей методикой, основанной на эксергетическом балансе, поскольку она позволяет дополнительно учитывать составляющие эксергии уходящих газов и золошлаковых продуктов (химическую, концентрационную), образующихся во время работы котельного агрегата. К тому же дополнительный учет химической составляющей эксергии золошлаковых продуктов и уходящих газов позволяет производить более объективную оценку энергетической эффективности котельного агрегата. Это становится очевидным при сравнении значений эксергетического и энергетического КПД котла до и после использования аддитивного способа. Как следует из таблицы 1, энергетический и эксергетический КПД котла (рассчитанный без учета химической составляющей) при использовании природных цеолитов снизился с 90,87% и 42,46% до 90,59% и 42,31%, соответственно, что объясняется увеличением зольности топлива и в конечном итоге его теплотворной способности. Однако с учетом химической эксергии уходящих газов и золошлаковых продуктов, наблюдается рост эксергетического КПД (с 42,46 % до 44,07%), объясняемый снижением суммарной величины эксергии вредных выбросов.

Таким образом, оценивать совершенство какого-либо определенного способа снижения вредных выбросов от котельного агрегата с достаточной степенью достоверности можно с помощью изменения суммарной величины потерь эксергии, обусловленных реализацией данного способа. При этом в качестве основного критерия, по которому можно судить об эффективности способов снижения вредных выбросов, может служить величина эксергии уходящих газов. И чем меньшее значение будет иметь эта величина, тем более эффективным является способ снижения вредных выбросов.

#### Список используемой литературы:

1. Степанов В.С., Степанова Т.Б. Эффективность использования энергии и энергосбережение: Учебное пособие. – Иркутск: ИрГТУ, – 2002. – 145 с.
2. Патент РФ № 2057165, опубликовано 27.03.1996.

УДК 536.212

#### Терморегулирование теплонапряженных энергетических систем с составными элементами

*В.М. Попов, А.П. Новиков, О.Л. Ерин*

*ФГБОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия», г. Воронеж, Россия*

*E-mail: [etgvgta@mail.ru](mailto:etgvgta@mail.ru)*

Предложен технологический прием снижения теплопереноса через зону контакта металлических поверхностей составных элементов путем введения в зону раздела сыпучих материалов малой теплопроводности. Показана эффективность предлагаемой технологии.

В процессе разработки современного энергетического оборудования в ряде случаев требуется повышать термосопротивление в зоне контакта отдельных узлов и деталей на пути тепловых потоков. Таким образом, перед проектировщиками и эксплуатационниками такого оборудования встает задача направленного терморегулирования в составных системах. Принимая во внимание, что перенос тепла между контактирующими металлическими поверхностями осуществляется в основном через площадки непосредственного контакта [1] представляется перспективным повышать термосопротивление, путем разъединения поверхностей при введении в зону контакта сыпучих материалов низкой теплопроводности.

Для реализации предлагаемого технологического приема поставлены специальные опыты на установке по исследованию контактного теплообмена [2]. Между плоскошероховатыми поверхностями нагревателя и холодильника из латуни Л80 помещались порошки оксидов магния, меди и алюминия с приведенным диаметром частиц  $\bar{d} \approx 0,15$  мм. На поверхности контакта прилагалась механическая нагрузка  $P$  от 0,1 до 0,9 МПа. Измерялось контактное термосопротивление  $R_{\kappa}$  в зависимости от нагрузки  $P$  согласно методике, изложенной в монографии [1].



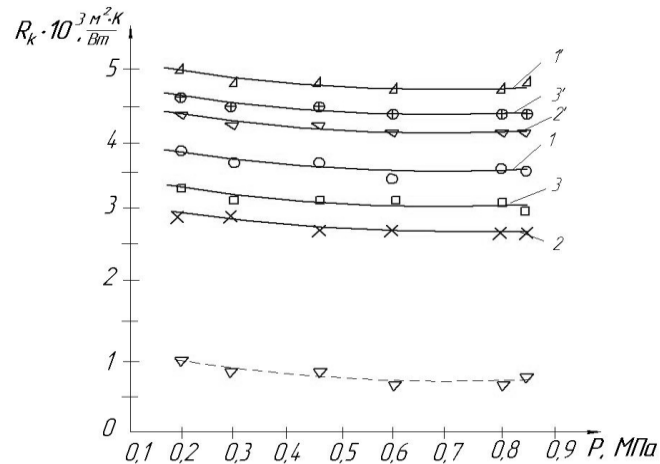


Рис. 1. Зависимость термосопротивления для контактной пары из латуни от нагрузки с порошками в зоне контакта с приведенным диаметром частиц  $\bar{d} \approx 0,15$  мм (1–3) и числом 1050 частиц на  $1 \text{ см}^2$ : 1 – оксид меди; 2 – оксид алюминия; 3 – оксид магния. Температура в зоне контакта  $T_k = 338\text{K}$ .

1', 2', 3' – диаметр частиц  $\bar{d} \approx 0,25$  мм. Штриховая линия – непосредственный контакт.

На рис. 1 приведены результаты опытов в виде кривых зависимости  $R_k = f(P)$ . Из приведенных данных видно, что введение порошковых заполнителей малой теплопроводности в значительной степени повышает контактное термосопротивление по сравнению с данными при непосредственном контакте металлических поверхностей. Установленный эффект повышения  $R_k$  объясняется отсутствием фактического контакта поверхностей и увеличением малотеплопроводного межконтактного слоя. Последним объясняется рост  $R_k$  размера с увеличением диаметра частиц заполнителя.

Достаточно эффективным представляется направленное регулирование значением  $R_k$  путем изменения количества частиц заполнителя, вводимого в зону раздела. На рис. 2 представлены данные опытов с аналогичными порошками с меньшим числом частиц на единицу поверхности.

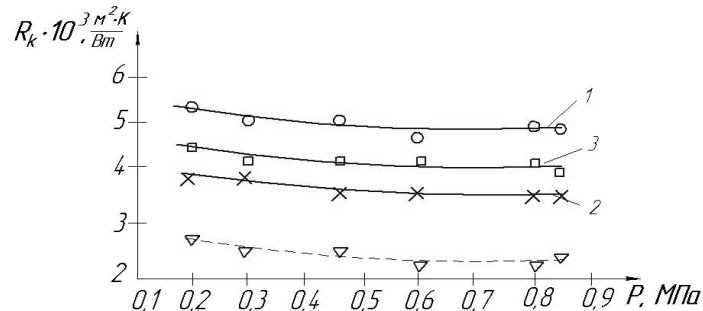


Рис. 2. Зависимость термосопротивления для контактной пары из латуни с порошками в зоне контакта с приведенным диаметром частиц  $\bar{d} \approx 0,15$  мм и числом 300 частиц на  $1 \text{ см}^2$ : 1 – оксид меди; 2 – оксид алюминия; 3 – оксид магния. Температура в зоне контакта  $T_k = 338\text{K}$ . Штриховая линия – непосредственный контакт.

Из рис. 2 видно, что в последнем случае наблюдается дальнейшее повышение термосопротивления, что объясняется в основном увеличением малотеплопроводной газовой прослойки.

Для характеристики различных сочетаний основного контактирующего металла и заполнителя в зоне раздела вводится безразмерный комплекс в виде отношения термосопротивления в зоне контакта  $R_{kp}$  с несжатой прослойкой заполнителя (порошков)  $\delta$  к

термосопротивлению при непосредственном контакте  $R_k$  и эквивалентной толщины межконтактной среды  $\Delta$ , т.е.

$$K = (R_{np} / \delta) / (R_k / \Delta)$$

Входящие в данное уравнение термосопротивления  $R_k$  и  $R_{np}$  определяются опытным путем, прослойка заполнителя замеряется после его введения в зону раздела, эквивалентная толщина межконтактной среды находится из профилограмм, снятых с поверхностей контакта.

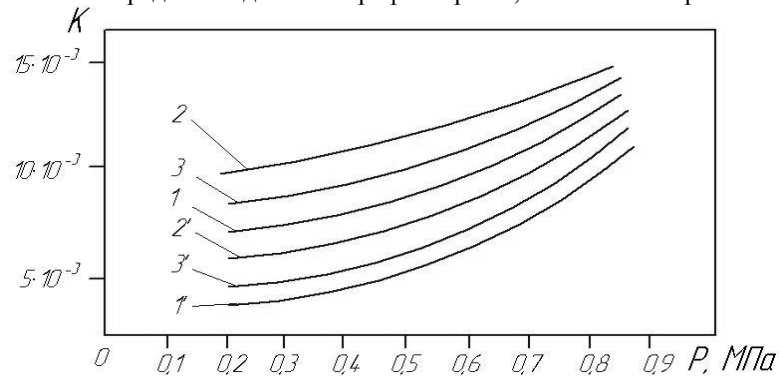


Рис. 3. Зависимость безразмерного термосопротивления от нагрузки при  $T_k = 338K$  для контактной пары из латуни с порошками с  $\bar{d} \approx 0,15$  мм (1–3) и с  $\bar{d} \approx 0,25$  (1'–3') в зоне контакта: аналогично данным рис. 1.

На рис. 3 приведены кривые зависимости безразмерного термосопротивления от нагрузки по данным рис. 1. В данном случае безразмерные термосопротивления физически выражают сопротивление соединений с заполнителем, который обладает в конечном варианте бесконечным термосопротивлением на пути теплового потока.

Из рис. 3 также видно, что с повышением давления в зоне контакта нивелируются различия в безразмерных термосопротивлениях для разных заполнителей. Отсюда можно полагать, что при высоких значениях нагрузки различия в эффективности заполнителей различной природы снижаются.

Результаты приведенных исследований имеют выраженную практическую направленность, поскольку позволяют осуществлять терморегулирование в энергетических системах с составными элементами.

#### Список используемой литературы:

1. Попов В.М. Теплообмен в зоне контакта разъемных и неразъемных соединений. – М.: Энергия, 1971. – 223 с.
2. Попов В.М., Новиков А.П., Ерин О.Л. Термосопротивление контактного слоя с заполнителями между металлическими поверхностями [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 1. – Режим доступа: [www.science-education.ru/101-5559](http://www.science-education.ru/101-5559).

#### Совершенствование топочного процесса котла ТПЕ-216

*Д.А. Волков*

*Сибирский федеральный университет, Институт инженерной физики и радиоэлектроники,  
г. Красноярск, Россия*

*E-mail: Volkov\_dmitriy89@mail.ru*

Целью исследования является оптимизация процессов горения в топке твердотопливного котла марки Еп-670-13,8-545 БТ или ТПЕ-216, работающего на Ирша-Бородинском буром угле (в качестве резервного топлива используется Березовский буры уголь).

Котел ТПЕ-216 был спроектирован в 1982 г. без учета требований по снижению выбросов окислов азота.

Учитывая возросшие требования к экологическим показателям по выбросам окислов азота для энергетических котлов большой мощности Красноярской ТЭЦ-3 совместно с ПО «Красный котельщик» на основании технических предложений НПО ЦКТИ было принято решение

разработать мероприятия по модернизации котла ТПЕ-216 с целью снижения выбросов окислов азота.

Технические предложения по модернизации котла включили следующий комплекс мероприятий:

- Реконструкцию горелок для обеспечения пониженного выхода  $\text{NO}_x$ ;
- Увеличение вентиляции мельниц до  $140000 - 160000 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;
- поддержание тонины помола  $R_{90}=30\div 40\%$  с помощью установки двухступенчатого инерционного сепаратора;
- Организация ступенчатого ввода топлива путем установки выше верхних основных горелок четвертого яруса регулируемого ввода топлива в количестве 10-20% от его полного расхода без подвода вторичного воздуха;
- Установка сопел промежуточного дутья над горелками второй ступени ввода топлива по тангенциальной схеме;
- Установка сопел верхнего дутья на 6,5-7 метров выше горелок второй ступени подвода топлива.

В котле ТПЕ-216 заложены конструктивные решения, создающие низкотемпературное сжигание, и, как следствие, пониженный выход окислов азота. Эти решения включают в себя газовую сушку топлива, тангенциальное расположение горелок в три яруса и возможность подачи дополнительных холодных дымовых газов во вторичный воздух. По оценке НПО ЦКТИ, заложенные в котле мероприятия смогут обеспечить выбросы окислов азота на уровне  $450 \text{ мг}/\text{нм}^3$ . По мнению СибВТИ –  $580 \text{ мг}/\text{нм}^3$ .

Но согласно требованиям заказчика в конструкции котла должны быть заложены мероприятия, позволяющие получить после наладки и доводки котла выбросы окислов азота не более  $225 \text{ мг}/\text{нм}^3$ , т.е. не менее чем в 2 раза.

Наиболее простым и эффективным способом снижения образования окислов азота в топках котлов бурых углей является ступенчатое сжигание топлива. Принятая к разработке, предложенная ЦКТИ, схема ступенчатого сжигания заключается в следующем:

Выше верхнего яруса основных горелок организуется вторая ступень ввода топлива в количестве 10-20% от полного и избытком воздуха  $\alpha < 0,5$ . Остальное топливо подается в основные горелки. Это позволит сохранить нормальный выжиг топлива в зоне активного горения с уменьшенной опасностью шлакования в этой зоне и более низким образованием окислов азота за счет уменьшенного расхода топлива в зону и малых избытках воздуха в горелках. Ввод топлива второй ступени с избытками  $\alpha < 1,0$  способствует образованию восстановительной зоны выше основных горелок, что в свою очередь позволило снизить выбросы окислов азота на величину, зависящую от доли этого топлива, температуры газов и времени пребывания газов в зоне восстановленного кокса вводимого воздуха. Время пребывания газов в восстановительной зоне  $\sim 0,7 \text{ с}$ .

Учитывая, что в восстановительной зоне создаются благоприятные условия для шлакования экранов, над горелками второй ступени ввода устанавливаются сопла промежуточного дутья по тангенциальной схеме. Это позволит уменьшить опасность шлакования экранов в зоне восстановления.

Для лучшего выгорания топлива в топке предусматривается поддержание тонины помола  $R_{90} = 30-40\%$ . При этом во вторую ступень подается более тонкая пыль.

Кроме вышеизложенного. В основных горелках предусматривается разделение потоков готовой пыли между соплами каждой горелки в отношении 70 и 30% с равномерным распределением сушильного агента между соплами. Обедненная топливом смесь подается через сопла со стороны экранов топки.

Установка такого типа горелок, по мнению ЦКТИ, позволит дополнительно снизить выбросы окислов азота и уменьшит опасность шлакования экранов топки в зоне горелок.

Применение вышеизложенной схемы сжигания позволит, по мнению ЦКТИ, обеспечить после проведения наладки котла уровень выбросов окислов азота не более  $225 \text{ мг}/\text{нм}^3$ .

Завод-изготовитель котла, учитывая отсутствие опыта сжигания углей КАБ по предлагаемой схеме, не может гарантировать получения  $225 \text{ мг}/\text{нм}^3$  после внедрения этой схемы сжигания. Однако возможности достижения этой величины удельных выбросов не исключает.

В настоящее время на Красноярской ТЭЦ-3 производится режимная наладка котла ТПЕ-216 в составе энергоблока ст.№1, результаты которой должны показать эффективность технических мероприятий, предложенных ЦКТИ.

Задачей исследования является обобщение результатов замеров и измерений в котле, а также численное моделирование и расчет оптимизации в топочной камере.

На основе теоретических данных и чертежей котла ТПЕ-216 создана математическая модель для исследования процессов, происходящих в топочной камере. Она позволит в дальнейшем проанализировать различные варианты работы котла и выбрать наиболее эффективные из них, а также выявить возможные недостатки организации горения в топочной камере.

#### Список используемой литературы:

1. «Технические предложения по модернизации котла ТПЕ-216 ст.№1 Красноярской ТЭЦ-3 с целью снижения выбросов окислов азота» ПЗ, утвержденная Главным конструктором СПКТЬ Христич Л.М., – Таганрог, – 1993 г.

УДК 62-501.72

#### Анализ адекватности математической модели узла смешения в контуре управления горячим водоснабжением на основе измеренных экспериментальных данных

*Г.К. Жетемисова, А.А. Шилин*

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

*E-mail: [zhetemissova\\_guldana@mail.ru](mailto:zhetemissova_guldana@mail.ru)*

Проведены экспериментальные исследования переходных процессов, получены параметры переходного процесса. Вычислены соответствующие параметры математической модели. Приведены экспериментальные временные ряды и результаты моделирования переходного процесса, подтверждающие адекватность рассматриваемой математической модели узла смешения.

При создании современных тепловых систем для зданий и сооружений предполагается наличие в структуре теплового узла управляемого автоматическим регулятором клапана [1]. Как правило, в подобных системах применяется ПИД закон регулирования [2]. Широко распространённым методом для вычисления параметров регулятора, является метод измерения параметров кривой разгона, обычно это экспериментальный временной ряд переходного процесса. Исходя из опыта эксплуатации таких систем, существуют определенные проблемы в настройке регуляторов, обусловленные, в первую очередь, нелинейными свойствами математической модели узла смешения, которыми обычно пренебрегают используя линейные модели, представленные в виде передаточной функции [3]. Поэтому задача синтеза адекватной математической модели такого объекта с нелинейными параметрами является актуальной, решение которой позволит организовать более эффективное управление. По причине значительного распространения таких систем управления решение этой задачи имеет большую значимость.

В [4] предложен подход к выбору математической модели и ее параметров по данным эксперимента, где по графику переходного процесса разомкнутой системы определяется структура и параметры, в рамках линейной системы представленной в виде передаточной функции. При использовании представленного метода к определению параметров модели обнаружена значительная зависимость коэффициента передачи разомкнутой системы от положения штока, что является признаком нелинейности математической модели узла смешения.

В работе [5] предложено использовать нелинейную математическую модель узла смешения, в которой учитываются характеристики управляемого клапана, циркуляционных двигателей заданных в виде графиков и таблиц, а также характеристик теплосети. Результатом анализа и экспериментального исследования в установленном статическом режиме, подтверждена нелинейная зависимость коэффициента смешения и коэффициента передачи замкнутого контура которые представлены на рис 1.

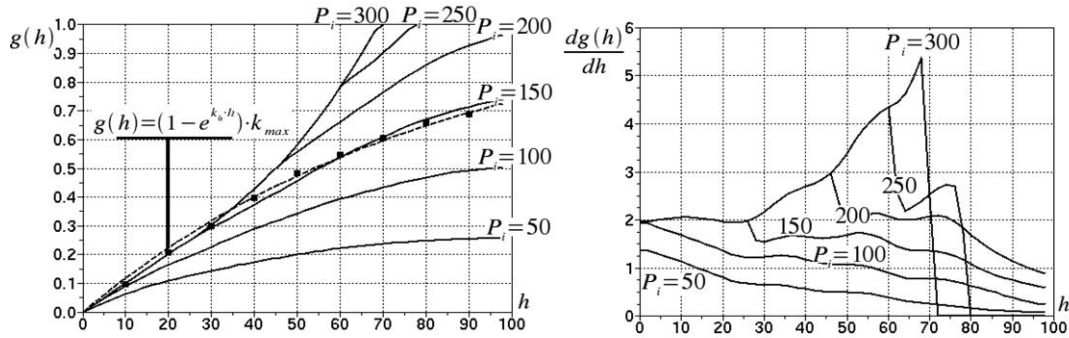


Рис. 1. Результаты решения системы нелинейных уравнений.

Математическая модель, описывающая работу узла смешения, представлена дифференциальным уравнением:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dh}{dt} = \frac{u(t)}{\tau_h} \\ \frac{dT_{bat}}{dt} = \frac{(T_1 - T_{обр}) \cdot (1 - e^{-k_h \cdot h}) \cdot k_{max}}{\tau_{см}} \\ \frac{dT_{уз}}{dt} = \frac{(T_{bat} - T_{уз})}{\tau_{уз}} \\ \frac{dT_{\delta}}{dt} = \frac{(T_{уз} - T_{\delta})}{\tau_{\delta}} \end{array} \right. \quad (1)$$

где  $h$  — положение штока, принимающее значение  $h \in \{0...1\}$ ;

$T_1$  — температура в подающем теплоносителе;

$T_{обр}$  — температура в обратном теплоносителе;

$T_{bat}$  — температура, поступающая на отопительные приборы теплоносителя;

$T_{\delta}$  — температура на измеряющем датчике;

$\tau_{см}, \tau_{уз}, \tau_{\delta}$  — постоянные времени инерции смешения, электроизолятора, датчика.

Эксперимент запланирован следующими этапами:

- положение штока устанавливается в  $h = 0.1$ , после чего даем время на то чтобы все переходные процессы в узле смешения установились;
- запускаем средства фиксации и архивирования измеренных значений, встроенных в контроллер управления;
- переводим положение штока в  $h = 0.2$ , оставляем время на формирование архива (эксперимент 1);
- переводим положение штока в  $h = 0.7$ , оставляем время на установления процесса;
- переводим положение штока в  $h = 0.8$ , оставляем время на формирование архива (эксперимент 2);

На рис. 2 даны результаты эксперимента 1, из которого видно, что изменение температуры вследствие изменения положения штока от 10% до 20% равна 7°C.

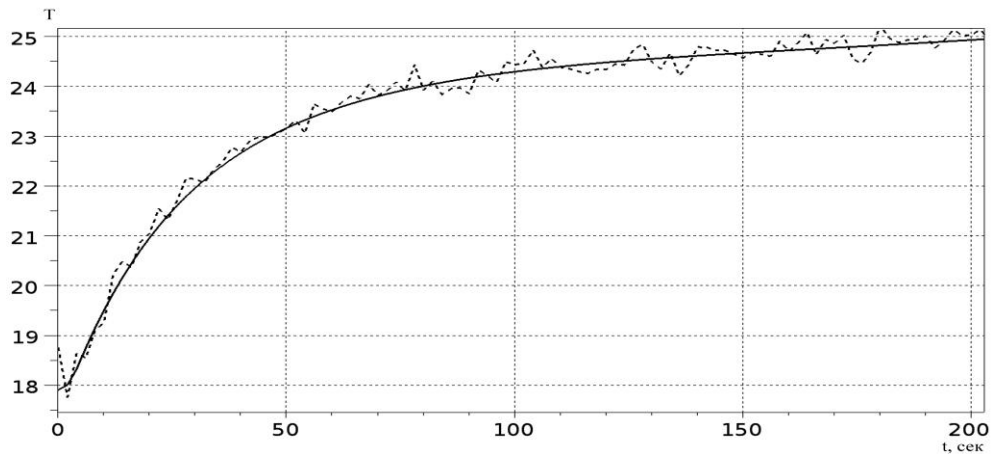


Рис. 2. Результат эксперимента 1: пунктирная линия – результат эксперимента, сплошная линия – переходная характеристика математической модели.

На рис. 3 даны результаты эксперимента 2, из которого видно, что изменение температуры на датчике вследствие изменения положения штока от 70% до 80% равна 2.3°C.

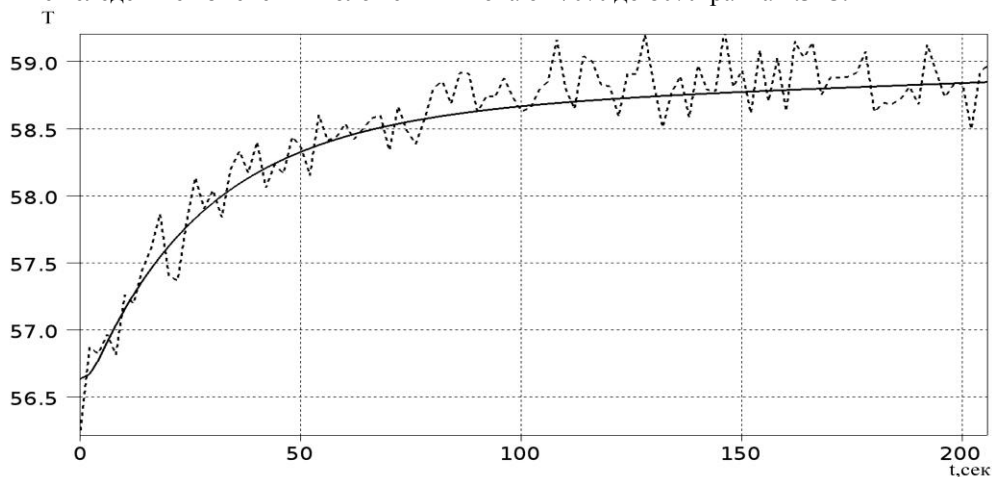


Рис. 3. Результат эксперимента 2: пунктирная линия – результат эксперимента, сплошная линия - переходная характеристика математической модели.

Из обоих рисунков видно, что параметры времени не зависят от положения штока, а коэффициент передачи разомкнутой системы пропорционален изменению температуры на датчике [4] при одинаковом воздействии, зависит от положения штока. В данном случае подтверждается предположение, представленное в [5], что коэффициент передачи замкнутой системы отличается более чем в три раза при положениях штока  $h = 0.1$  и  $h = 0.8$ .

Также на рисунках представлены результаты моделирования (1) с параметрами:

$$k_h = 0.97; k_{\max} = 1.08; \tau_{cm} = 25 \text{сек}; \tau_{из} = 5 \text{сек}; \tau_{\delta} = 5 \text{сек},$$

которая соответствует действующему объекту. По которым видно: математическая модель адекватна, отражает нелинейные свойства в динамическом режиме на переходных процессах.

Эксперименты проводились на действующей системе управления теплоснабжением жилого сооружения по адресу г. Томск, ул. Пионерская, 8.

#### Список используемой литературы:

1. Чистович С. А. Автоматическое регулирование расхода тепла в системах теплоснабжения и отопления. – Л.: Стройиздат, Ленингр. отд-ние, – 1975.
2. Мухин О. А., Автоматизация систем теплогазоснабжения и вентиляции. – Минск : Высшая школа, – 1986.
3. Ковальногов Н. Н., Ртищева А. С., Цынаева Е. А., Автоматизированная система оптимального управления отоплением учебного заведения // Проблемы энергетики. Известия ВУЗов, – 2007, – № 3 – 4. – С.100 – 107.

4. Панько М.А. Выбор математических моделей объекта управления по экспериментальным данным // Теплоэнергетика, – 2006, – № 10. – С.20 – 23
5. Шилин А.А., Букреев В.Г., Нелинейная математическая модель теплотребления с учетом характеристик элементов теплового узла//Научный вестник НГТУ, – 2012, – № 2 (47). – С.107 – 114.

УДК 66.02/09+66.047.791.1+533.9.07.1

**Повышение энергоэффективности плазмохимических реакторов  
синтеза керамических порошков**

*А.С. Жуков, Т.В. Жукова, И.С. Бондарчук*

*Томский государственный университет, г. Томск, Россия*

*E-mail: isbs@mail.ru*

Рассматривается проблема повышения энергетической эффективности промышленных плазмохимических реакторов синтеза керамических порошков организацией оптимального режима процесса получения широкого класса нанокристаллических материалов с заданными свойствами.

Эффективность технологии получения керамических порошков (главным образом, оксидов металлов) определяется ее возможной производительностью, энергозатратностью и финансовой рентабельностью для получения необходимой структуры выходного продукта (полые или сферические наночастицы) оксидов металлов.

Аппаратная часть плазмохимического метода и технологии синтеза нанопорошков базируется на высокочастотном способе генерации теплоносителя, подаваемого в реакторную часть установки совместно с раствором прекурсора. Тонкодисперсные порошки в данном способе синтезируются путем термохимического разложения жидких распыленных реагентов в высокотемпературном теплоносителе, а сам процесс проходит в прямоточном цилиндрическом реакторе вертикального типа.

Повышение энергетической эффективности промышленных установок, позволяющих организовать требуемый режим высокопроизводительного процесса получения широкого класса нанокристаллических материалов с заданными свойствами, может быть обеспечен применением развитого аппарата математического моделирования рабочих процессов в таком реакторе.

В данной работе представлена физико-математическая модель процессов термохимического разложения жидких распыленных реагентов в высокотемпературном теплоносителе, основанная на одновременном рассмотрении двухфазного турбулентного течения в объеме реактора и теплопереноса в капле раствора прекурсора. Полную математическую модель процесса можно разбить на две слабосвязанные (только по "правым частям" уравнений) задачи – расчета поля течения теплоносителя и динамику движения жидких частиц прекурсора. Совместно с последней из указанных задач решается система уравнений, описывающая эволюцию геометрии и структуры частицы в потоке.

Параметры форсунки и теплоносителя на входе реактора считаются заданными и постоянными для всего времени работы реактора. Турбулентные напряжения определялись рамками  $k$ - $\epsilon$ -модели, влиянием капель раствора на структуру турбулентности пренебрегалось.

Для определения газодинамических и термодинамических характеристик реагирующей газозвеси в поле течения рассматривались две фазы с учетом обмена между ними массой, импульсом и теплом. Для газовой фазы записывали уравнения движения в координатной форме Эйлера в предположении, что влияние локальных разрывов в потоке, вызванных присутствием в газе конденсированных частиц, незначительно. Для капель раствора прекурсора конечного числа фракций уравнения движения записываются в форме Лагранжа; формулируются уравнения для изменения диаметра частиц за счет испарения; уравнения диффузии и теплового баланса. Для учета взаимодействия между фазами в правые части уравнений для газовой фазы включали дополнительные члены, обусловленные взаимодействием частиц с газовой средой.

Оптимизация технологии синтеза металлооксидов в плазмохимическом реакторе связана с анализом следующих определяющих параметров:

- ✓ временем пребывания частицы в объеме реактора,

- ✓ интегральным по времени тепловым потоком со стороны теплоносителя на жидкокапельную фракцию прекурсора,
- ✓ темпом изменения этого теплового потока.

Время пребывания частицы в объеме реактора связано, в свою очередь, со структурой потока, формируемой устройствами подачи теплоносителя и прекурсора. При этом наиболее эффективным средством для управления данным показателем помимо расходных характеристик является подача теплоносителя и прекурсора в режиме закрутки потока.

Результаты численных исследований показали, что при отсутствии закрутки с точки зрения времени пребывания капельной среды прекурсора в объеме реактора его производительность наименее эффективна. Течение при этом носит струйный характер с относительно большим градиентом параметров по радиусу потока, вследствие чего воздействие теплоносителя на капельную среду прекурсора является неравномерным, что, в свою очередь, неминуемо скажется на качестве выходного продукта.

На рис. 1, 2 представлена структура течения, формируемая в условиях закрутки потока на  $45^\circ$ . Из рисунков видно, что направленный под углом оси поток (рис. 1) достигает боковой стенки реактора, в месте контакта образуя зону повышенных давлений и температур (рис. 2,  $T_0$  – температура вдуваемого теплоносителя). Далее, после отражения, формируется течение с достаточно равномерным распределением параметров, направленное в сторону выходного сечения реактора.

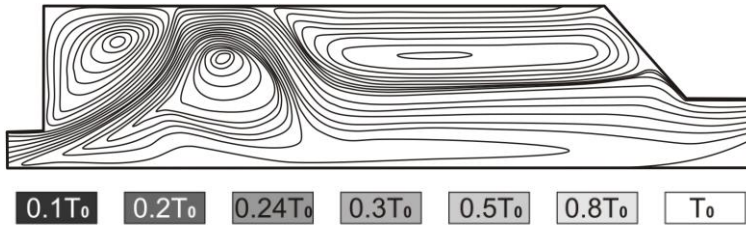


Рис. 1. Линии тока для течения при закрутке потока  $45^\circ$ .

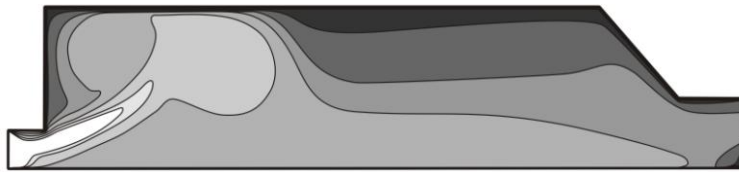


Рис. 2. Поле температур в объеме реактора с закруткой потока  $45^\circ$ .

На рис. 3 даны линии тока частиц с указанием среднего относительного диаметра частиц на этих линиях тока. Средний диаметр по линии определялся соотношением  $D_i = \int_0^{L_i} D dL_i / L_i$ , где  $D$  – диаметр частицы;  $L$  – длина линии тока. Относительный средний диаметр вычислялся как  $\bar{D}_i = D_i / \max\{D_i\}$ .

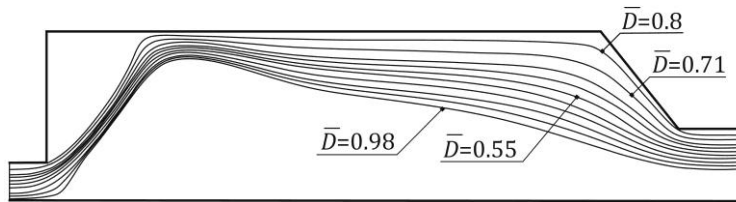


Рис. 3. Линии тока частиц и их относительный диаметр в закрученном потоке.

Подобная организация течения с точки зрения времени пребывания капельной среды прекурсора в объеме реактора обеспечивает большее время нахождения частиц, а вследствие относительной равномерности потока воздействие теплоносителя на капельную среду прекурсора является приблизительно одинаковым, что должно положительно сказаться на качестве и количестве выходного продукта.

Предварительная апробация подхода показала, что организация закрутки потоков теплоносителя и прекурсора увеличивает выход продукта на  $\approx 8\%$  при снижении энергозатрат (уменьшением температуры теплоносителя) на  $\approx 11\%$ .

*Работа проводилась при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-*



педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы. Соглашения № 14.В37.21.0758 и № 14.В37.21.0050.

УДК 621.928.9

**Расчет дисперсного состава пыли в потоке газа по эффективности пробоотборного циклона**

**М.В. Василевский, Е.Г. Зыков\*, В.А. Полюшко\*\*, В.И. Романдин\*\*, А.С. Разва**

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

*\*ООО «Томсказоочистка», г. Томск, Россия*

*\*\*Томский государственный университет, г. Томск, Россия*

**E-mail: [vasmix40@mail.ru](mailto:vasmix40@mail.ru)**

Измерение дисперсного состава пыли в потоке газа импакторами трудоемко и требует соблюдения необходимых трудновыполнимых условий для качественного анализа. В статье предлагается метод расчета дисперсного состава пыли, фракционной концентрации частиц в потоке, на основе дисперсного анализа уловленной пыли пробоотборным стандартным циклоном и применением фракционных эффективностей улавливания частиц пробоотборным циклоном.

Эффективность обеспыливания газов промышленными аппаратами определяется путем замера расхода газа и концентраций пыли на входе и выходе из аппаратов, а также гидравлические сопротивления.

Современные методы измерения запыленности газов, представленные в ГОСТ Р 50820–95, оговаривают условия проведения замеров: наличие подобия распределения скоростей и полей концентраций и наличие стабилизационного вертикального участка, где происходит отбор. При этом должно выполняться требование отсутствия в потоке сгустков, жгутов пыли, которые пробоотборник не фиксирует. При несоблюдении этих требований для оценки эффективности работы пылеулавливающей аппаратуры требуется проводить практически мгновенные измерения полей концентраций, что при современных методах и средствах физически невозможно. Наиболее широко применяются в промышленности импакторы НИИОГАЗ. Использование импакторов сопровождается необходимостью их тарирования для конкретных сред, а также определенными условиями относительно распределения частиц по фракциям. Общая концентрация частиц в потоке при идеальных условиях отбора их аллонжем и анализа может быть определена более точно, чем с использованием импактора, однако в реальных условиях существуют большие ошибки в определениях концентраций. Данные исследования показывают, что на точность измерения влияет параметр  $\psi = \frac{\rho_{\delta}}{\rho} \frac{\delta^2 U_0}{D 18\nu}$  и параметр  $U_0/U_S$ , где  $\rho_{\delta}$ ,  $\rho$  – плотности частиц и газа;  $\delta$ ,  $D$  – диаметры частиц и отверстия приема потока пробоотборника;  $\nu$  – коэффициент кинематической вязкости;  $U_0$ ,  $U_S$  – скорости в потоке газа и приемном отверстии наконечника пробоотборника. Обзор методов оценки ошибки измерения концентрации пыли с использованием пробоотборников представлен в [1]. Для уменьшения ошибки следует применять пробоотборники с расходом запыленного газа десятки м<sup>3</sup>/ч [2].

Пробоотборный циклон с фильтром позволяет определить количество пыли, прошедшей через циклон  $G=G_{\text{ул}}+\Delta G_{\text{ф}}$ , где  $G_{\text{ул}}$ –вес пыли в приемнике циклона,  $\Delta G_{\text{ф}}$ –привес фильтра. Обозначим  $M_{\text{ул}i}=G_{\text{ул}}\Phi_{\text{ул}i}$  – вес  $i$ -й фракции пыли в пробе циклона,  $\Phi_{\text{ул}i}$ – относительное содержание  $i$ -й фракции в уловленной пыли циклона;  $\eta_i=M_{\text{ул}i}/M_i$ ;  $M_i=G\Phi_i$ ,  $\Phi_i$  – относительное содержание  $i$ -й фракции в пыли на входе в циклон,  $\eta_0=G_{\text{ул}}/G$  общий к.п.д. циклона,  $\Phi_i=(\Phi_{\text{ул}i}/\eta_i)\eta_0$ . Концентрация пыли в потоке,  $C=\frac{G}{Qt}$ ,  $Q$ –расход газа через циклон,  $t$ –время отбора пробы; концентрация  $i$ -й фракции в потоке

$$C_i = \frac{M_i}{Qt} = \frac{M_{\text{ул}i}}{Qt\eta_i} = \frac{G_{\text{ул}}\Phi_{\text{ул}i}}{\eta_i Qt} \quad (1)$$

Полная эффективность промышленной установки определится как

$$\eta_{\text{и}} = 1 - \frac{C_2}{C_1} = 1 - \frac{G_2}{G_1} \frac{Q_1 t_1}{Q_2 t_2}, \quad (2)$$

где  $C_1$  – концентрация пыли в загрязненном газе,  $C_2$  – концентрация пыли в очищенном газе,  $G_1, G_2$  – количества пыли, прошедших через пробоотборные циклоны со стороны загрязненного и очищенного газа в промышленной установке;  $Q_1, Q_2$  – расходы газа через пробоотборные циклоны со стороны загрязненного и очищенного газа в промышленной установке;  $t_1, t_2$  – время отбора проб в пробоотборные циклоны со стороны загрязненного и очищенного газа в промышленной установке.

Фракционная эффективность промышленной установки определится как

$$\eta_{\text{иФ}} = 1 - \frac{C_{i2}}{C_{i1}} = 1 - \frac{\Phi_{2\text{ул}}}{\Phi_{1\text{ул}}} \frac{G_{2\text{ул}}}{G_{1\text{ул}}} \frac{\eta_{i1} Q_1 t_1}{\eta_{i2} Q_2 t_2}. \quad (3)$$

Общепринято, что процесс сепарации частиц в циклоне определяется случайными и независимыми друг от друга факторами, и распределение фракционной эффективности определяется логарифмически–нормальным законом распределения Гаусса [3]. Для логарифмически нормального распределения фракционных эффективностей

$$x = \frac{\ln \delta - \ln \delta_{50}}{\ln \sigma_{\eta}},$$

$$F(\delta) = \eta_i = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp\left(-\frac{(\ln \delta - \ln \delta_{50})^2}{2 \ln^2 \sigma_{\eta}}\right) dx,$$

где  $\delta_{50}$  – диаметр частицы, улавливаемой циклоном с эффективностью 50 %,  $\ln \sigma_{\eta}$  – дисперсия в распределении фракционной эффективности выделения частиц из потока циклоном.

На рис. 1, 2 показаны кривые объемного распределения и интегрального распределения частиц по размерам, полученных с помощью прибора Malver Mastersize 2000 [4]. Диаметры частиц представлены в логарифмической шкале, поэтому  $\delta_i = q^{i-1} \delta_1$ , где  $\delta_1$  – диаметр наименьшей частицы ( $\delta_1 = 0,1 \text{ мкм}$ ). Если положить  $q=2$ , то  $\delta_i$  принимают следующие значения в зависимости от номера  $i$ : 0,1; 0,2; 0,4; 0,8; 1,6; 3,2; 6,4; 12,8; 25,6; 51,2; 102,4... Кривые связаны между собой соотношением  $\Phi_i^{\text{mal}} \approx (I_{i+\xi} - I_{i-\xi}) / \lg(\delta_{i+\xi} / \delta_{i-\xi})^k$ , где  $\delta_{i+\xi}, \delta_{i-\xi}$  – значения диаметров частиц в окрестности диаметра  $\delta_i$ ,  $I_{i+\xi}$  – относительный интегральный объем частиц пробы в кювете измерительного прибора,  $\Phi_i^{\text{mal}}$  – объемное содержание  $i$ -ых частиц, представленное прибором в логарифмической шкале. Фракционное содержание частиц в пробе циклона  $\Phi_{\text{ц},i}$  определяется как разность интегральных объемов  $I_{i+\xi} - I_{i-\xi}$  для установленных соотношений  $\delta_{i+\xi} / \delta_{i-\xi}$ . Весь диапазон размеров частиц охватывается в логарифмической шкале, например соотношением  $(\delta_{i+\xi} / \delta_{i-\xi}) = 2$ . Значения  $\delta_{i+\xi}, \delta_{i-\xi}$  находятся из условия, что  $(\lg \delta_{i+\xi} + \lg \delta_{i-\xi}) / 2 = \lg \delta_i$ . Т.е.  $\delta_i = (\delta_{i+\xi} \cdot \delta_{i-\xi})^{0,5}$ , и  $\delta_{i+\xi} = \sqrt{2} \delta_i, \delta_{i-\xi} = \frac{\delta_i}{\sqrt{2}}$ .

Разность диаметров частиц выбирается такой, чтобы на границах интервала выполнялось одинаковое соотношение  $\delta_{i+\xi} / \delta_{i-\xi}$ . Приняв это отношение равным двум, можно определить содержание частиц в заданном диапазоне размеров  $I_{i=m} - I_{i=n} = 0,3k \sum_{i=n}^{i=m} \Phi_i^{\text{mal}}$ . Из этого выражения

находится величина  $k$ . Концентрации фракций в потоках на входе и выходе из системы рассчитываются по формуле 1. Фракционное объемное содержание частиц в потоке на входе в

пробоотборный циклон рассчитывается по формуле  $\Phi_{\text{вх},i} = \eta_{\text{ц}} \frac{\Phi_{\text{иФ}}}{\eta_{\text{иФ}}}$  Эффективность

пробоотборного циклона  $\eta_{\text{ц}} = \frac{G_{\text{ц}}}{G_{\text{ц}} + \Delta G_{\text{ф}}}$ , где  $G_{\text{ц}}$  – вес пыли в приемнике циклона,  $\Delta G_{\text{ф}}$  – привес

фильтра.

$$\bar{G}_{\text{ц}} = \frac{G_{\text{иФ}}}{G_{\text{ц}}} = I_{i+\xi} - I_{i-\xi} = \Phi_i^{\text{mal}} 0,3k$$

$$\bar{G}_{i_{\text{ВХ}}} = \frac{G_{i_{\text{ВХ}}}}{G_{\text{ВХ}}} = \frac{G_{i_{\text{Ц}}}}{G_{\text{ВХ}} \eta_{i_{\text{Ц}}}} = \frac{\bar{G}_{i_{\text{Ц}}} G_{\text{Ц}}}{G_{\text{ВХ}} \eta_{i_{\text{Ц}}}} = \frac{\eta_{i_{\text{Ц}}}}{\eta_{i_{\text{Ц}}}} \Phi_i^{\text{mal}} 0,3k .$$

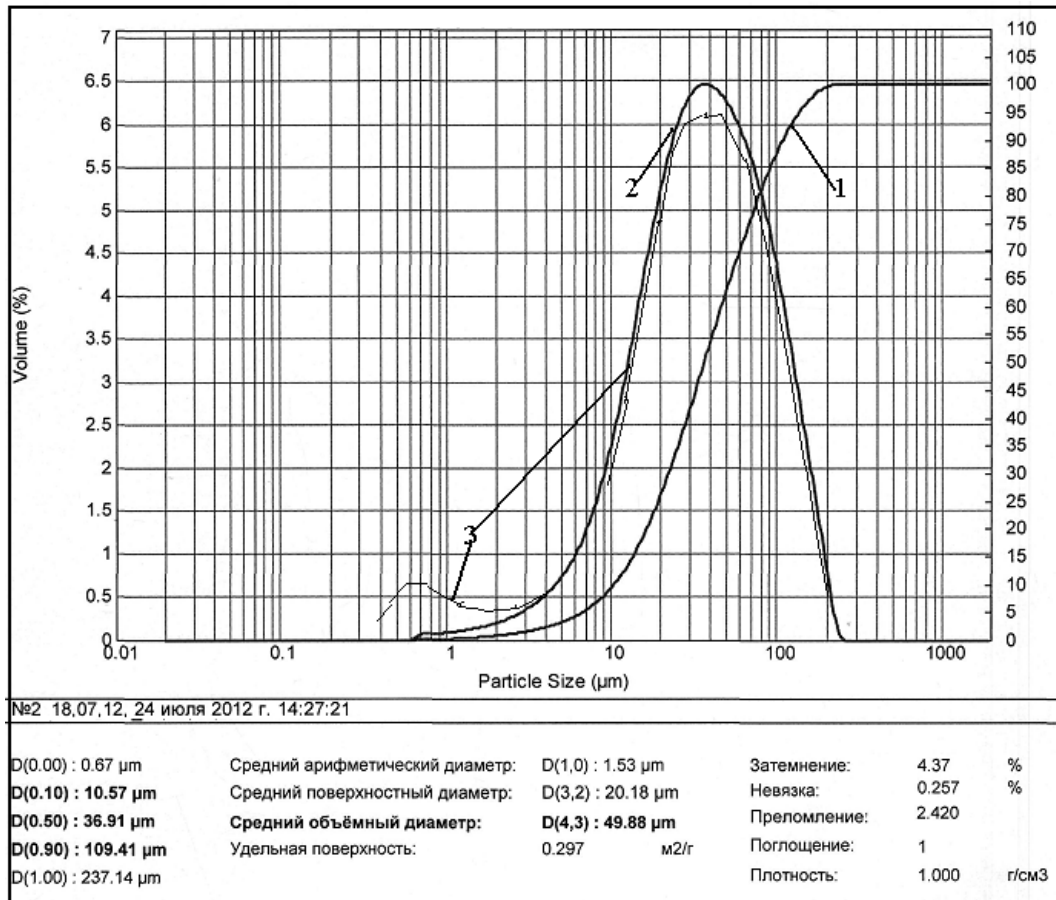


Рис. 1. Распределения на входе: 1 – интегральная кривая относительных объемов частиц меньше заданного размера пыли в пробоотборном циклоне  $I(\delta)$ ; 2 – фракционная кривая относительных объемов уловленной пыли в пробоотборном циклоне  $\Phi_i^{\text{mal}}(\delta)$ ; 3 – расчетные фракционные относительные объемы пыли в исходном потоке  $\Phi_i^{\text{mal}}(\delta)$ .

В качестве пробоотборных циклонов применяются стандартные циклоны СК–ЦН–34, ЦН–11. В таблице 1 приведены значения параметров  $\delta_{50}$ ,  $\ln \sigma_\eta$  для различных циклонов [3].

Таблица 1.

Тип циклона	ЦН-11	СДК-ЦН-33	СК-ЦН-34	СК-ЦН-34М
$\delta_{50}^T$	3,65	2,31	1,95	1,3
$\lg \sigma_\eta$	0,352	0,364	0,308	0,34

Величина  $\delta_{50}$  для конкретного циклона рассчитывается из условия, что в геометрически подобных ему циклонах эффективность определяется числом  $Stk$ ;  $\eta_\phi = \eta_\phi(Stk)$ ;  $Stk = 2\tau W_{пл} / D$ ;  $\tau = \rho_\delta \delta^2 / 18\mu$ , откуда

$$\delta_{50} = \delta_{50}^T (D/D_T \cdot \rho_{\delta T} / \rho_\delta \cdot \mu / \mu_T \cdot W_T / W)^{0.5},$$

где динамическая вязкость газа  $\mu_T = 22,2 \cdot 10^{-6}$  Па·с; расходная плановая скорость  $W_T = 3,5$  м/с; диаметр цилиндрической части циклона  $D_T = 0,6$  м; плотность частиц  $\rho_{\delta T} = 1930$  кг/м<sup>3</sup>. Расчет показывает, что для циклона СК-ЦН-34 диаметром 100 мм при  $W_T = 1$  м/с и идентичных остальных

параметрах размеры частиц с соответствующими фракционными эффективностями следующие:  $\delta_{98}=5,6$  мкм;  $\delta_{84}=2,8$  мкм;  $\delta_{50}=1,4$  мкм;  $\delta_{16}=0,7$  мкм;  $\delta_2=0,35$  мкм.

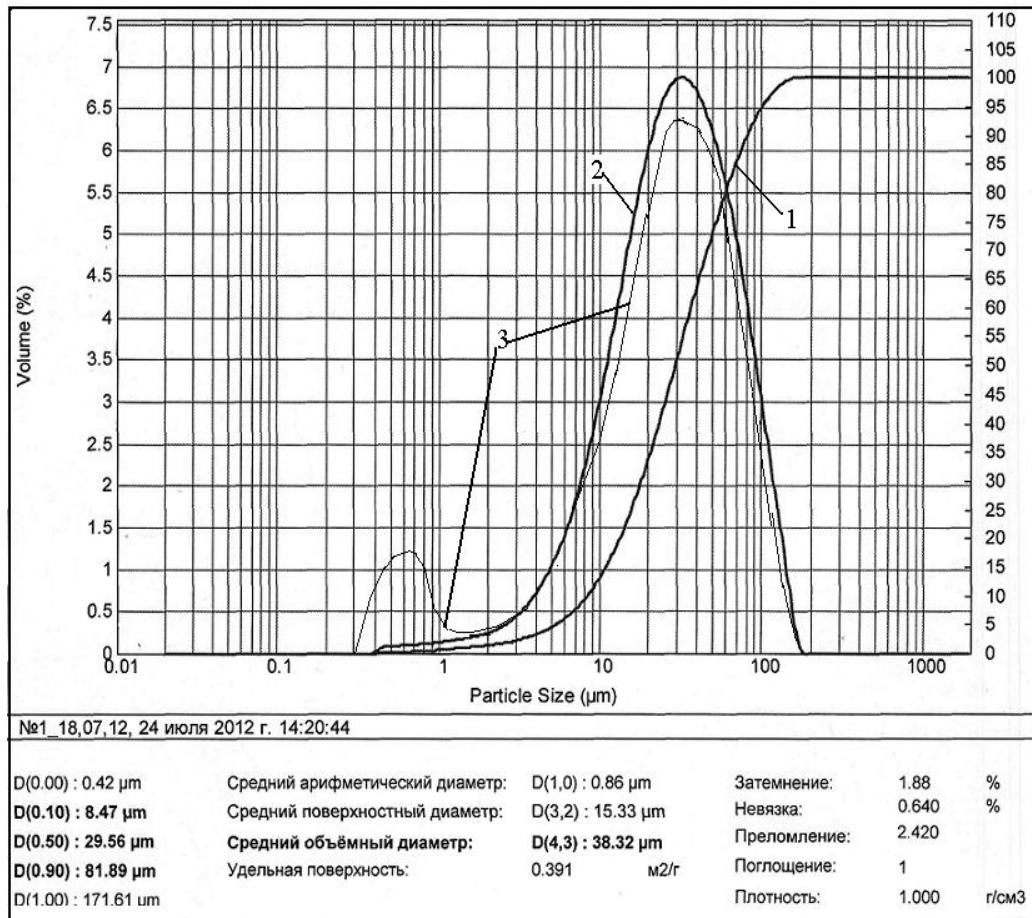


Рис.2. Кривые объемных распределений на выходе из системы. 1–интегральная кривая относительных объемов частиц меньше заданного размера пыли в пробоотборном циклоне  $I(\delta)$ ; 2–фракционная кривая относительных объемов пыли в пробоотборном циклоне  $\Phi^{\text{mal}2}(\delta)$ ; 3–расчетные фракционные относительные объемы пыли в исходном потоке  $\Phi^{\text{mal}3}(\delta)$ .

Для построения кривых распределения в области субмикронных частиц используют предположение о логарифмически–нормальном распределении таких частиц.

Сопоставление кривых на рис. 1 и 2 показывает увеличение относительных объемных содержаний мелких частиц на выходе из системы обеспыливания газов, причем распределение частиц является двухмодальным. Это свидетельствует о том, что существует несколько механизмов пылеобразования в системе.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект №11–08–00059).

#### Список используемой литературы:

1. Страус В. Промышленная очистка газов: Пер с англ. –М.: Химия, – 1981, – 616 с.
2. Василевский М.В. Обеспыливание газов инерционными аппаратами. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, – 2008. – 248 с.
3. Справочник по пыле- и золоулавливанию //Под ред. М.И . Биргер, А.Ю. Вальдберг, Б.И. Мягков и др. Под общей ред. А.А. Русанова – 2 изд. М.: Энергоатомиздат, – 1983. – 312 с.
4. <http://www.malvern.ru/labrus/products/Mastersizer/ms2000/mastersizer2000.htm>

**Виброизолятор тепловой энергетической установки***Е.Г. Гурова, В.Ю. Гросс, А.О. Колинченко, В.С. Курбатов, А.А. Сергеев**ФГБОУ ВПО «НГТУ», ФБОУ ВПО «НГАВТ», г. Новосибирск, Россия**ФГУП ПО «СЕВЕР», г. Новосибирск, Россия**E-mail: [lena319@mail.ru](mailto:lena319@mail.ru)*

Показана возможность применения виброизолирующего устройства с электромагнитным компенсатором жесткости.

Наблюдаемая в последние десятилетия тенденция уменьшения веса конструкций различных транспортных средств, при одновременном увеличении мощности их энергетических установок, приводит к значительному росту уровней вибраций на этих транспортных средствах. В связи с этим наиболее остро проблема виброзащиты стоит в автомобилестроении, судостроении и локомотивостроении, где в качестве энергетических установок используются двигатели внутреннего сгорания (ДВС). Низкочастотные колебания, создаваемые ДВС, оказывают значительное негативное влияние на надёжность и работоспособность различных устройств, и особенно вредны для человека, вызывая различные заболевания.

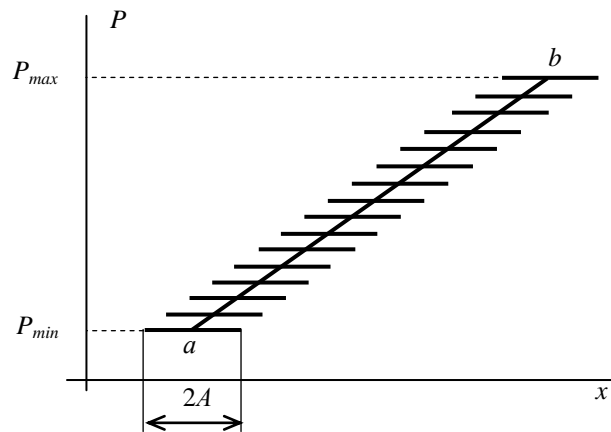


Рис. 1. Силовая характеристика виброизолятора с плавающим участком нулевой жёсткости.

Сегодня наиболее распространённым методом защиты от вибраций, создаваемых ДВС, является установка последних на пассивные виброизоляторы (как правило, резинометаллические), которые имеют простую конструкцию, достаточно надёжны и практически не требуют обслуживания. Однако они не отвечают современным требованиям виброизоляции. Наиболее перспективным методом снижения уровней вибраций является применение виброизолирующих устройств с плавающим участком нулевой жесткости. Нулевая жесткость обеспечивается параллельным включением упругому элементу компенсатора (корректора) жесткости. «Плавание» участка нулевой жесткости обеспечивается специальной системой перестройки. Этот тип устройств наиболее полно отвечает требованиям идеальной виброизоляции. В связи с вышесказанным, создание и исследование виброизолирующих систем с перестраиваемыми компенсаторами жесткости является актуальной научной задачей. Их принцип работы показан на рисунке 1. При заданном диапазоне изменения усилий от  $P_{max}$  до  $P_{min}$ , передаваемых от защищаемого объекта вибрирующему силовые характеристики виброизоляторов, обеспечивающих идеальную виброизоляцию, представляют собой бесконечное множество отрезков прямых, равных по длине  $2A$  (размах колебаний), параллельных оси абсцисс и расположенных своими серединами на отрезке  $ab$  прямой, наклоненной к оси абсцисс под углом. Тангенс такого угла равен жёсткости виброизоляторов.

Одним из вариантов корректора является электромагнитный корректор жёсткости (ЭКЖ) [1, 2], представляющий собой два встречно включенных электромагнита постоянного тока с общим якорем. ЭКЖ характеризуется отсутствием сил трения и инерции, наклон его характеристик легко регулируется изменением питающего напряжения, а подстройка под изменяющуюся нагрузку осуществляется перераспределением напряжений на катушках электромагнитов.

В результате научных исследований впервые: представлены методы анализа и исследования нелинейного электромагнитного компенсатора жесткости; разработана конструкция виброизолирующей подвески с нелинейным компенсатором жесткости и системой перестройки. На основе разработанных материалов на ФГУП ПО «Север» изготовлена и испытана модель виброизолирующей подвески с ЭКЖ и автоматической системой перестройки. Эксперименты показали, что виброизолятор с перестраиваемым ЭКЖ снижает уровни виброускорений на 20-55 дБ на частотах от 4 до 128 Гц и позволяет исключить возникновение резонансных режимов. Проведенные испытания показали, что разработанная конструкция виброизолятора с ЭКЖ может служить основой для проектирования виброизолирующих подвесок различных энергетических установок.

#### Список используемой литературы:

1. Гурова Е. Г. Виброизолирующие подвески транспортных энергетических установок с нелинейными электромагнитными компенсаторами жесткости / Е. Г. Гурова. – Издательство НГТУ: Новосибирск, – 2012. – 156 с.
2. Патент № 2010121808/11 (031010). Виброизолятор с электромагнитным компенсатором жёсткости [Текст] / Гурова Е.Г., В.Ю. Гросс (РФ). - № 2010121808/11; заявл. 28.05.2010. – реш. 23.06.2010 – 7 с.: ил.

УДК 504.054: 629.78 (03)

#### Анализ способов повышение дисперсности капель при распылении жидкостей эжекционными форсунками

*А.И. Коноваленко, С.В. Змановский\*, Е.А. Козлов, В.Ф. Трофимов*

*Научно-исследовательский институт прикладной математики и механики*

*Томского государственного университета, г. Томск, Россия*

*\*Центр инноваций порошковой металлургии ООО «СВАЛ-ПМ»*

*E-mail: Zharova@niipmm.tsu.ru*

Приведены результаты сравнения ряда способов повышения дисперсности капель при распыливании перегретых жидкостей эжекционными форсунками.

Для получения высокодисперсных порошков алюминия применяется процесс диспергирования перегретого до 980 °С расплава металла горячим сжатым газом при давлении до 6 МПа и температуре 600 °С [1]. В качестве энергоносителя используется газообразный азот с контролируемым содержанием кислорода. Распыление проводится эжекционной форсункой в камеру распыления под избыточным давлением с последующим охлаждением и классификацией полученного пульверизата. Форсунка представляет собой центральный канал, выполненный в виде двух конусов, соприкасающихся вершинами, окруженный кольцевой щелью для подачи газа под углом 45° к оси форсунки. Процесс получения высокодисперсных порошков алюминия достаточно энергоемкий, поэтому актуальна задача повышения производительности работы форсунки по распылению металла и увеличению дисперсности получаемого пульверизата.

Прямые методы решения этой задачи путем увеличения проходного сечения форсунки или повышением давления и температуры распыляющего газа, а также увеличением температуры перегрева металла не являются эффективными из-за больших технологических трудностей и резкого увеличения энергозатрат. Поэтому для решения поставленной задачи было предложено провести модификацию конструкции форсунки без изменения технологического процесса.

Известны различные способы повышения дисперсности распыла при использовании струйных и пневматических форсунок [2]. С учетом особенностей технологического процесса и возможности кристаллизации расплава металла в процессе распыления, были предложены следующие конструктивные изменения форсунки: 1) замена круглого сечения сопла фильеры для

подачи расплава на квадратное; 2) добавление тангенциальной составляющей скорости распыляющего газа; 3) дополнительный ввод газа в выходной конус фильеры для подачи жидкого металла; 4) установка рассекателя в зону распыления. Поскольку экспериментальное исследование распыления расплавленных металлов представляет большие технические трудности и является взрывопожароопасным, для оценки эффективности предложенных методов был разработан модельный стенд для холодных продувок с учетом геометрического и газогидродинамического подобия исследуемых процессов. В качестве рабочих жидкостей использовались вода и водные растворы глицерина, которые имеют повышенную вязкость и обеспечивают подобие по критерию Лапласа. В качестве энергоносителя использовался воздух при давлении до 0,8 МПа.

В процессе экспериментов проводилась визуальная оценка факела распыла, измерялись расходы жидкости и газа.

Для базовой модели форсунки с круглым отверстием центрального канала диаметром 1 мм факел распыла имеет угол 10-15°. Массовый расход жидкости равнялся 1,7 г/с, объемный расход воздуха 3,9 м<sup>3</sup>/час. Соотношение массовых расходов жидкости и газа составляло 0,3.

При замене круглого отверстия в центральном канале на квадратное (при сохранении площади проходного сечения) расход жидкости уменьшается на 10%, что связано с сужением эффективной площади проходного сечения канала за счет влияния углов квадрата. Ширина факела распыла практически не изменяется.

При добавлении тангенциальной составляющей скорости газового потока в базовой форсунке (до 75% от величины осевой скорости) ширина факела увеличивается более чем вдвое, а расход жидкости возрастает до 2,3 г/с. При этом факел распыла становится более однородным.

При дополнительном вводе газа в центральный канал форсунки (ввод осуществлялся через отверстия в выходном конусе под углом 60° к оси форсунки) факел распыла сужается по сравнению с тангенциальным вводом и в нем появляются неоднородности. Расход жидкости уменьшается до 2,2 г/с.

При установке центрального тела в зоне сходящихся струй газа уменьшается эжекционный эффект и уменьшается расход жидкости вплоть до запираения форсунки. При перемещении центрального тела за точку встречи струй газа, его влияния на процесс распыления жидкости становится незначительным. Факел увеличивается в размерах, по сравнению с базовым вариантом форсунки, а расход остается тем же.

Таким образом, испытания предложенных модификаций конструкции форсунки показали, что более эффективным способом повышения производительности форсунки и повышения дисперсности распыла является сообщение скорости газа тангенциальной составляющей. При этом расход жидкости увеличивается на (30÷50) %, факел распыла становится однородным и увеличивается до угла (40÷50) °.

#### Список используемой литературы:

1. Технологическая инструкция по производству первичного, сферического, дисперсного, высокодисперсного и с присадкой титана и кремния пульверизатов распылением расплавленного алюминия азотом в отделении № 2 предприятия ООО «СУАЛ-ПМ» ТИ 48-0106-36-1-10. – Шелехов, – 2010. – 48 с.
2. Пажи Д.Г., Галустов В.С. Распылители жидкостей. – М.: Химия, 1– 979. – 216 с.

УДК 621.6.036

#### **К выбору промежуточного теплоносителя, обеспечивающего максимальную интенсивность теплообмена, в системах регазификации сжиженного углеводородного газа**

*Рулев А.В., Кулаков А.В.*

*Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., г. Саратов, Россия*

*E-mail: nautech@inbox.ru*

Проанализированы возможные типы промежуточного теплоносителя для испарительных установок пропан-бутановых смесей сжиженного углеводородного газа. Рекомендуется в качестве промежуточного теплоносителя для испарительных установок пропан-бутановых смесей сжиженного углеводородного газа использовать твердотельные промежуточные теплоносители на основе заливок из алюминия, наиболее полно отвечающих поставленным требованиям

В условиях возрастающих поставок сжиженного углеводородного газа (СУГ) с повышенным содержанием бутана наиболее широкое применение получили проточные испарители с искусственной регазификацией. Искусственная проточная регазификация является наиболее целесообразной при оптимальном уровне централизации в установках коммунально-бытового газоснабжения от 154 до 1600 квартир, подключаемых к одной резервуарной установке. При этом, применение проточной искусственной регазификации внутри труб по сравнению с проточным испарением в большом объеме обеспечивает экономию поверхности испарения на 71,7 % за счет увеличения коэффициента теплоотдачи и температурного напора в системе «теплоноситель - СУГ».

При отсутствии централизованного горячего водоснабжения наиболее надежное и экономичное газоснабжение на базе СУГ обеспечивают электрические испарители (ИЭ) с промежуточным теплоносителем (ПТ). Применение промежуточного теплоносителя в проточных электрических испарителях предотвращает: полимеризацию непредельных углеводородных компонентов СУГ на испарительных поверхностях, предупреждает образование пленочного кипения и возникновение кризисов кипения, повышает интенсивность теплообмена.

*Важной предпосылкой правильного расчета и конструирования ИЭ ПТ, является выбор типа среды, используемой как промежуточный теплоноситель.*

Проведенный анализ показывает, что промежуточный теплоноситель должен удовлетворять следующим требованиям: - высокая интенсивность теплообмена; - высокие антикоррозионные свойства; - минимальное количество замен в течение срока службы; - температуры замерзания не выше минус 40 °С и кипения не ниже 100 °С; - малая плотность; - низкие каплевложения и доступность; - постоянство агрегатного состояния в области рабочих температур; - исключение полимеризации, образования окисных пленок, осаждения частиц на теплообменные поверхности и иных термических загрязнений поверхностей ТЭН и ИТЗ.

В известной мере поставленным требованиям отвечают:

1) жидкие промежуточные теплоносители (вода, водные растворы солей и спиртов, масла, кремний органические жидкости, низкотемпературные расплавы металлов) в условиях естественной и искусственной конвекции;

2) твердотельные промежуточные теплоносители, то есть, заливки из алюминия и его сплавов, меди и ее сплавов, стали, олова и других металлов.

Проанализируем возможность применения различных промежуточных теплоносителей в системах регазификации СУГ в зависимости от предъявляемых к ним требований и, прежде всего, обеспечения максимальной интенсивности теплообмена (коэффициента теплоотдачи).

Для жидких промежуточных теплоносителей (вода, водные растворы солей и спиртов, масла, кремний органические жидкости, низкотемпературные расплавы металлов) величина коэффициента теплоотдачи от ПТ к стенке испарительного трубопровода определяется по уравнениям теплообмена для естественной конвекции в ограниченном пространстве [1]

$$Nu_T = m \cdot (Gr)^f \cdot (Pr)^n,$$

где Gr, Pr – соответственно, критерии Грасгофа и Прандтля; m, n, f – соответственно, численные значения при критериях Грасгофа и Прандтля.

Проведенный анализ показал, что высокими показателями коэффициента теплоотдачи обладает вода, однако температура замерзания, равная 0 °С, не позволяет использовать ее в установках регазификации сжиженных газов, имеющих температуру кипения ниже 0 °С.

Водные растворы солей имеют низкую температуру замерзания (ниже 0 °С), однако инициируют интенсивную коррозию элементов теплообменных поверхностей.

Некоторые виды масел и кремнийорганические жидкости на основе силиконов, применяемые в качестве промежуточных теплоносителей в трансформаторах и других устройствах, имеют ряд несомненных достоинств: низкую температуру замерзания, высокую температуру кипения, хорошие электроизоляционные и антикоррозионные свойства, но, по сравнению с водой, отличаются значительно более низким коэффициентом теплоотдачи и высокой стоимостью.

Жидкометаллические промежуточные теплоносители, например, калий с температурой плавления 63,7 °С или сплав из 25% калия и 75 % натрия с температурой плавления минус 11 °С, имеют самые высокие коэффициенты теплоотдачи. Столь высокие показатели обусловлены более высокой теплопроводностью данного теплоносителя.



Так, для сравнения, жидкий сплав натрия 25% и калия 75% имеет коэффициент теплопроводности  $\lambda = 22,6$  Вт/м·К, а водный раствор этиленгликоля имеет  $\lambda = 0,3$  Вт/м·К.

Недостатком жидкометаллических ПТ является сильное окисление при соприкосновении с кислородом воздуха. Поэтому их контур должен быть герметичным, а пространство над ПТ заполнено инертным газом. В противном случае на поверхности теплообмена осаждается слой окислов и теплоотдача ухудшается в среднем в 1,8- 2,2 раза [1].

Сильное окисление при соприкосновении с кислородом воздуха и высокая стоимость жидкометаллических ПТ, составляющая 8,0 и выше долл/кг, не позволяют использовать их в качестве промежуточных теплоносителей в промышленных регазификаторах СУГ.

Наиболее полно, из рассмотренных жидких промежуточных теплоносителей, поставленным требованиям отвечают водные растворы высокоатомных спиртов с комплексными антикоррозионными, теплоинтенсифицирующими и другими добавками, например антифризы типа «Тосол А40М», «Лукойл», «Тосол-север-40П», «Console» [2]. Такие антифризы являются инертными жидкостями, как по отношению к испарительным устройствам, так и корпусу регазификатора, выполненному из углеродистой стали.

Проведенный анализ дает основание рекомендовать водные растворы высокоатомных спиртов типа «Тосол А40 М» в качестве промежуточного теплоносителя для установок по регазификации СУГ. Коэффициент теплоотдачи антифриза типа «Тосол А40М», «Лукойл» при разности температур между ПТ и наружной поверхностью испарительного трубопровода 35-40 °С составляет 370 Вт/м<sup>2</sup> К.

Интенсификация теплообмена в системе «антифриз - наружная поверхность испарительного трубопровода» может быть достигнута только за счет использования искусственной конвекции с помощью циркуляционного насоса.

Для жидких промежуточных теплоносителей типа вода и водные растворы спиртов величина коэффициента теплоотдачи от ПТ к стенке испарительного трубопровода определяется по уравнениям теплообмена для искусственной конвекции в ограниченном пространстве [1]:

$$Nu = 0,22 Re^{0,65} Pr_{ж}^{0,36} (Pr_{ж} / Pr_{с})^{0,25}.$$

Проведенный анализ показал, что в условиях искусственной конвекции, при рекомендуемых средних скоростях циркуляции жидкого ПТ в размере 10 м/с, коэффициент теплоотдачи составляет 1200 Вт/м<sup>2</sup> К. Из сравнения данных видно, что применение искусственной циркуляции позволяет увеличить коэффициент теплоотдачи антифриза с 370 до 1200 Вт/м<sup>2</sup> К.

Такое увеличение является явно недостаточным, поскольку составляющая внешнего теплообмена от ПТ к наружной поверхности испарительного трубопровода остается меньше составляющей внутреннего теплообмена от внутренней поверхности испарительного трубопровода к СУГ, равной 1360 Вт/(м<sup>2</sup>К) согласно [1] и продолжает определять величину коэффициента теплопередачи К.

*Интересной* возможностью повышения интенсивности внешнего теплообмена в электрических испарителях является применение в качестве промежуточного теплоносителя твердотельных заливок металлов с высокой теплопроводностью.

Оказывается, что максимальная тепловая проводимость (величина, обратная сопротивлению теплопередаче 1/R) достигается при использовании в качестве твердотельного ПТ заливок из алюминия и меди. При этом, величина тепловой проводимости увеличивается с уменьшением толщины слоя ПТ.

Из [3] следует, что для обеспечения качественной заливки расплава меди или алюминия в коккель или неразъемную форму необходимо обеспечить зазор между наружной поверхностью нагревательного элемента и наружной поверхностью испарительного трубопровода в размере 0,008 м. Учитывая это, примем указанный зазор равным 0,008 м.

В этом случае, применение твердотельного промежуточного теплоносителя из меди толщиной 0,008 м позволяет увеличить величину 1/R до 14400 Вт/м<sup>2</sup> К по сравнению с коэффициентом теплоотдачи при искусственной циркуляции антифриза, равным 1200 Вт/(м<sup>2</sup>К), а из алюминия - до 8950 Вт/м<sup>2</sup> К. Такое увеличение внешнего коэффициента теплоотдачи, равного 8950 Вт/(м<sup>2</sup>К), над внутренним, равным 1360 Вт/м<sup>2</sup> К, делает составляющую внутреннего теплообмена определяющей в величине коэффициента теплопередачи, что позволяет добиться значительного его увеличения.

Вместе с тем, применение алюминия позволяет дополнительно:

1) уменьшить массу ПТ в 2,3 раза, поскольку плотность меди  $\rho = 8930 \text{ кг/м}^3$ , а плотность алюминия  $\rho = 2700 \text{ кг/м}^3$ , что значительно снижает расходы на транспортировку, монтаж и ремонт промышленного регазификатора;

2) снизить температуру плавления с 1083 до 660 °С, что уменьшает энергоёмкость процесса плавки и даёт возможность заливки алюминием деталей из меди, латуни и других металлов.

Таким образом в качестве промежуточного теплоносителя для проточных промышленных регазификаторов рекомендуется использовать твердотельные промежуточные теплоносители на основе заливок из алюминия, наиболее полно отвечающих поставленным требованиям.

#### Список используемой литературы:

1. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи - М.: Энергия, 1977. - 320 с.
2. Будкин А. Тосол или антифриз? // За рулем. -1998. №7. - С. 96-97.
3. Могилев В.К., Лев О.И. Справочник литейщика: справочник для профессионального обучения рабочих на производстве - М.: Машиностроение, 1988. - 272 с.

УДК 621.1

### Определение эффективности теплообменных аппаратов

*С.А. Требунских*

*Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия*

*E-mail: cyt3@mail.ru*

Проанализированы существующие методы определения КПД теплообменников. Предложен энтропийный метод определения эффективности теплообменника. Продемонстрировано существенное расхождение между различными методами расчёта эффективности.

Существует несколько методов определения тепловой эффективности, или КПД, теплообменников, каждый из которых при одинаковых исходных данных даёт различное численное значение. Эти методы можно разделить на тепловые и эксергетические.

Простейший и наиболее часто применяемый в инженерной практике метод сводится к составлению теплового баланса и определению тепловых потерь в окружающую среду через наружные поверхности теплообменного аппарата. При таком подходе «балансовый» КПД теплообменника рассчитывается как отношение теплоты, воспринятой нагреваемым, или «холодным» теплоносителем, к теплоте, отданной греющим («горячим») теплоносителем:

$$\eta_{\text{ТБ}} = \frac{G_{\text{х}}(i_{\text{х вых}} - i_{\text{х вх}})}{G_{\text{г}}(i_{\text{г вых}} - i_{\text{г вх}})},$$

$$\eta_{\text{ТБ}} = \frac{G_{\text{х}} c_{p \text{ х}}(t_{\text{х вых}} - t_{\text{х вх}})}{G_{\text{г}} c_{p \text{ г}}(t_{\text{г вых}} - t_{\text{г вх}})},$$

где  $G$  – расход теплоносителя,  $c_p$  – его изобарная теплоёмкость,  $i$  – энтальпия,  $t$  – температура. Индексы «г» и «х» относятся соответственно к горячему и холодному теплоносителям, индексы «вх» и «вых» - к параметрам на входе в теплообменник и на выходе из него.

Балансовый КПД не учитывает преобразование высокопотенциальной теплоты греющего теплоносителя в низкопотенциальную теплоту нагреваемого, и в случае адиабатной изоляции равен 1.

Более сложный метод определения тепловой эффективности заключается в расчёте отношения фактически переданной теплоты к предельной, соответствующей полному использованию располагаемого температурного напора. В таком случае «предельный» КПД теплообменника определяется из следующих соотношений для противотока и прямотока соответственно:

$$\eta_{\text{П}} = \frac{1 - e^{-N(1-w)}}{1 - w e^{-N(1-w)}},$$

$$\eta_{\text{П}} = 1 - \frac{e^{-N(1+w)}}{1 + w},$$

где  $N = \frac{kF}{C_{\text{м}}}$  – число единиц переноса;  $w = \frac{C_{\text{м}}}{C_{\text{б}}}$  – отношение меньшего водяного эквивалента  $C_{\text{м}}$  к большему  $C_{\text{б}}$ ;  $k$  – средний коэффициент теплопередачи;  $F$  – площадь теплообмена.

При высоких значениях  $N$  «предельный» КПД стремится к 1 даже при значительном недогреве.

Эксергетические методы учитывают неравновесность протекающих процессов и заключаются в расчёте изменения эксергии теплоносителей и вычислении отношения этих изменений. Эксергия теплоносителя при данной температуре, если пренебречь составляющей по давлению, принимает вид

$$e = c_p(T - T_0) - T_0 \left( c_p \ln \frac{T}{T_0} \right),$$

где  $T$  – текущая температура тела,  $T_0$  – температура окружающей среды.

Согласно классическому методу, потоки эксергии «горячего» и «холодного» теплоносителей вычисляются по следующим формулам:

$$\begin{aligned} E_{\Gamma} &= G_{\Gamma}(e_{\Gamma \text{ вх}} - e_{\Gamma \text{ вых}}), \\ E_{\text{X}} &= G_{\text{X}}(e_{\text{X вых}} - e_{\text{X вх}}). \end{aligned}$$

Снижение эксергии греющего теплоносителя из-за потерь на необратимость выше, чем повышение эксергии нагреваемого теплоносителя, поэтому эксергетический КПД равен

$$\eta_E = \frac{E_{\text{X}}}{E_{\Gamma}}.$$

Другой метод, изложенный в [1], предлагает рассчитывать  $E_{\text{вых}}$  и  $E_{\text{вх}}$  как сумму эксергий теплоносителей на входе и выходе в теплообменник соответственно:

$$\begin{aligned} E_{\text{вх}} &= G_{\Gamma}e_{\Gamma \text{ вх}} + G_{\text{X}}e_{\text{X вх}}, \\ E_{\text{вых}} &= G_{\Gamma}e_{\Gamma \text{ вых}} + G_{\text{X}}e_{\text{X вых}}. \end{aligned}$$

Поскольку суммарная эксергия обоих теплоносителей на выходе ниже суммарной эксергии на входе, эксергетический КПД равен

$$\eta'_E = \frac{E_{\text{вых}}}{E_{\text{вх}}}.$$

Все изложенные методы при равных условиях дают совершенно различные численные значения эффективности теплообменника.

Рассмотрим простой теплообменник типа «труба в трубе», с греющим теплоносителем, протекающим по внутренней трубе. Для упрощения модели возьмём только цилиндрический участок, без учёта геометрических особенностей входа и выхода. Введём отношения температур

$$X_{\Gamma\text{X}} = \frac{T_{\text{X}}}{T_{\Gamma}}, \quad X_{\text{XO}} = \frac{T_{\text{X}}}{T_0}, \quad X_{\Gamma\text{O}} = \frac{T_0}{T_{\Gamma}}.$$

Локальный тепловой поток от греющего теплоносителя к нагреваемому через элементарный участок внутренней трубы с полным термическим сопротивлением  $R_{\Gamma\text{X}}$  (учитывающим площадь локального участка теплообмена):

$$Q_{\Gamma\text{X}} = \frac{1}{R_{\Gamma\text{X}}}(T_{\Gamma} - T_{\text{X}}).$$

Производство энтропии данным тепловым потоком:

$$dS_{\Gamma\text{X}} = \frac{1}{R_{\Gamma\text{X}}} \frac{(1 - X_{\Gamma\text{X}})^2}{X_{\Gamma\text{X}}}.$$

Если теплообменник не обладает адиабатной оболочкой, то у него будут тепловые потери в окружающую среду, сопровождающиеся дополнительным производством энтропии:

$$\begin{aligned} Q_{\text{XO}} &= \frac{1}{R_{\text{XO}}}(T_{\text{X}} - T_0), \\ dS_{\text{XO}} &= \frac{1}{R_{\text{XO}}} \frac{(1 - X_{\text{XO}})^2}{X_{\text{XO}}}. \end{aligned}$$

В [2] была предложен альтернативный метод учёта неравновесности. Описана модель энтропийной эффективности, суть которой сводится к вычислению текущего производства энтропии максимально возможного производства энтропии в данных условиях и производства неэнтропии, то есть

$$\begin{aligned} dS &= dS_{\Gamma\text{X}} + dS_{\text{XO}}, \\ dS_{\text{max}} &= \frac{1}{R_{\Gamma\text{X}}} \frac{(1 - X_{\Gamma\text{O}})^2}{X_{\Gamma\text{O}}}, \end{aligned}$$

$$dN = dS_{\text{max}} - dS.$$

Тогда энтропийная эффективность теплообменника выразится как

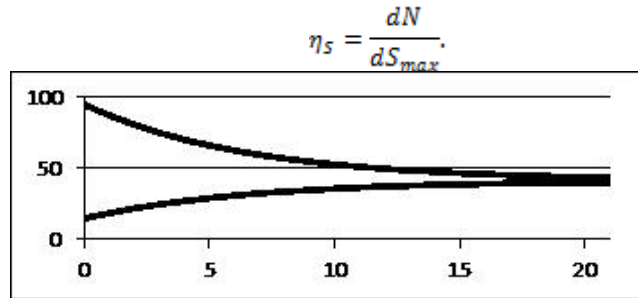


Рис. 1. Расчётное распределение температур (в градусах Цельсия) для прямоточного теплообменника типа «труба в трубе».

Был проведён численный эксперимент с прямоточным теплообменником, имеющим распределение температур по ходу движения теплоносителей, представленное на рисунке 1.

В качестве исходных данных были приняты следующие значения. Оба теплоносителя – водяные, под сравнительно невысоким давлением (до 4 бар). Расход греющего теплоносителя вдвое меньше нагреваемого (0,5 и 1 кг/с соответственно). Полное термическое сопротивление  $R_{гх}=0,005$ ,  $R_{х0}=1$  (С/Вт), таким образом потери теплоты в окружающую среду также учитывались.

Расчёт эффективности по различным методам позволил получить следующие кривые.

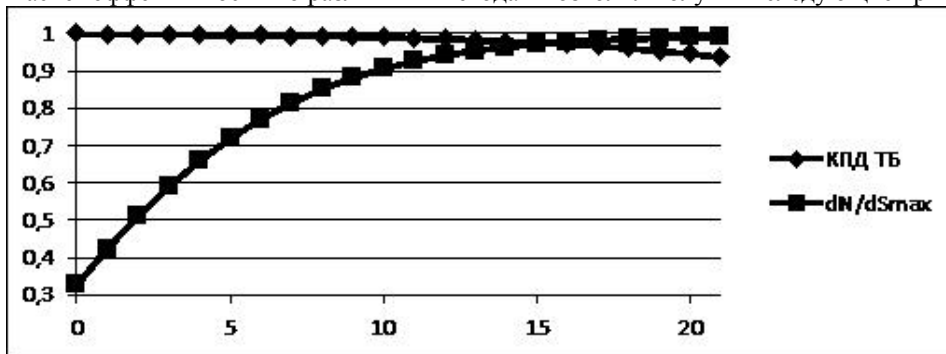


Рис. 2. Сравнение изменений мгновенных коэффициентов эффективности, полученных по различным методикам.

«Предельный» КПД теплообменника при заданных условиях равен 1 по всей длине теплообмена. «Балансовый» КПД снижается, поскольку с ростом температуры нагреваемого теплоносителя растут потери тепла в окружающую среду. Если тепловую изоляцию приблизить к адиабатной, «балансовый» КПД также будет равен единице. Увеличение энтропийной эффективности связано со снижением отношения температур, то есть с приближением процесса к равновесному по мере сближения температур нагреваемого и греющего теплоносителей.

Особенность эксергетического метода такова, что он не позволяет определить локальную эффективность процесса, а только конечный результат. Изменение итогового эксергетического КПД в сравнении с изменениями других итоговых коэффициентов представлено на рисунке 3.

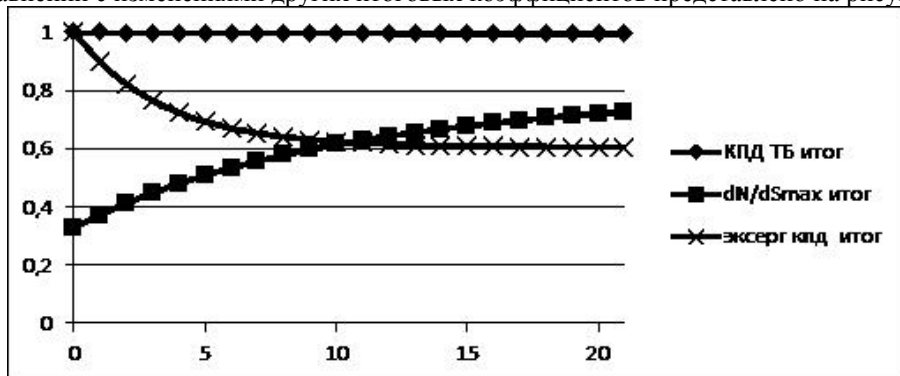


Рис. 3. Сравнение изменений итоговых коэффициентов эффективности, полученных по различным методикам.

Итоговый «балансовый» КПД при малых тепловых потерях, как и «предельный», практически равен 1, незначительно снижаясь по длине. Эксергетический КПД снижается, приближаясь к некоторому значению (в данном численном эксперименте это 0,6). Энтропийная эффективность, напротив, увеличивается от 0,33 до 0,73. Эксергетический КПД, определённый по второму методу, принципиально даёт только одно значение (расчётно полученное равно 0,45).

Тепловые методы определения эффективности не учитывают неравновесность реальных процессов и слабо применимы для случаев, когда потери теплоты принимают малые значения. Учёт неравновесности может производиться различными способами, во многом взаимоисключающими, и эти методы требуют более глубокого рассмотрения и доработки.

#### Список используемой литературы:

1. Кручинин М.И., Шадрин Е.М. Теоретические основы энерго- и ресурсосбережения. Эксергетический анализ теплообменных аппаратов: учеб. пособие / ГОУ ВПО Иван. гос. хим.-технол. ун-т. Иваново, 2007 – 123 с.
2. Требуных С.А., Батухтин А.Г. Энтропийная эффективность теплотребляющих объектов // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Наука и образование. – 2011. – № 2(123). – С. 91–99.

УДК 536.33:536.244

### Моделирование конвективного переноса тепла в открытой системе с радиационным источником нагрева

*В.И. Максимов<sup>1</sup>, Т.А. Нагорнова<sup>1</sup>, Г.Я. Мамонтов<sup>1</sup>, Н.И. Куриленко<sup>3</sup>*

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

*2 Тюменский государственный архитектурно-строительный университет, г. Тюмень, Россия*

*3 Томский государственный архитектурно-строительный университет, г. Томск, Россия*

*E-mail: Tania@tpu.ru*

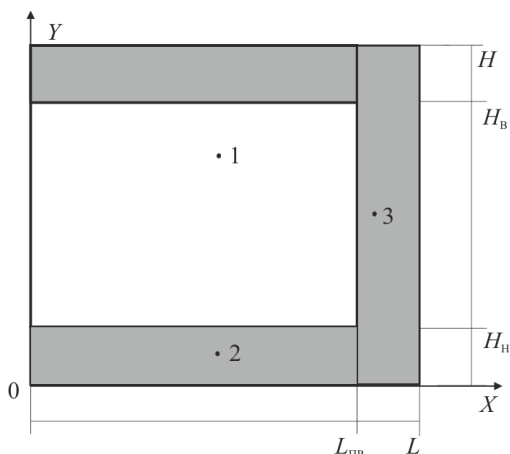
#### Введение.

Особенностью отопления производственных помещений является то, что они рассчитаны не только на создание комфортных рабочих условий для человека, но и на поддержание эффективного функционирования оборудования [1]. Часто в границах одного производственного помещения требуется создать несколько рабочих зон с разными условиями климатического комфорта. В этом случае целесообразным становится применение современных средств отопления – таких как инфракрасные обогреватели. В современной литературе отсутствуют результаты моделирования конвективных процессов теплообмена, протекающих в воздушной среде в крупногабаритных производственных помещениях. Обоснованный же выбор технологических решений по рациональному нагреву производственных помещений невозможен без анализа неоднородных и нестационарных температурных полей области нагрева. Поэтому, целью настоящего исследования является математическое моделирование теплопереноса в воздушном объеме, нагреваемом за счет подвода энергии по верхнему контуру от газовых инфракрасных излучателей.

#### Постановка задачи.

Рассматривается область прямоугольного поперечного сечения. На верхней границе  $H_B$  области расположен источник инфракрасного излучения. Интенсивность излучения равномерно распределена по поперечной координате  $X$  (рис. 1).

**Рис. 1.** Область решения рассматриваемой задачи: 1 – газ; 2,3 – элемент твердой стенки



Пространство  $0 < X < L_{PP}$  и  $H_H < Y < H_B$  заполнено воздухом, ограниченным снизу, сверху и справа ограждающими конструкциями из железобетона. Левая граница области решения представляет собой

линию условного раздела между нагреваемым воздухом и внешней средой. Источник радиационного нагрева в верхней части области решения не выделялся – принималось, что его толщина мала по сравнению с характерным размером по направлению  $Y$ . Воздух принимался оптически прозрачной средой. В качестве основного механизма теплопереноса в газе рассматривались турбулентная естественная конвекция, в ограждающих конструкциях – теплопроводность.

При постановке задачи предполагалось, что вся энергия инфракрасного излучателя поступает к границе  $H_H$ , разделяющей нижнее бетонное основание (2) и область нагрева (1).

#### Математическая модель и метод решения

В качестве базовой системы дифференциальных уравнений, описывающих процесс естественной турбулентной конвекции в рассматриваемой открытой области в режиме сопряженного теплопереноса, принята математическая модель [2-5], разработанная для описания процессов конвекции и теплопроводности в замкнутой прямоугольной области с теплопроводными стенками и локальным источником нагрева на нижней границе.

Математическая постановка задачи в безразмерных переменных включает следующие уравнения:

$$\frac{1}{Sh} \frac{\partial \Omega}{\partial \tau} + U \frac{\partial \Omega}{\partial X} + V \frac{\partial \Omega}{\partial Y} = \frac{1}{\sqrt{Gr}} \Delta \Omega + \frac{1}{2} \frac{\partial \Theta}{\partial X}, \quad (1)$$

$$\Delta \Psi = -2\Omega, \quad (2)$$

$$\frac{1}{Sh} \frac{\partial \Theta}{\partial \tau} + U \frac{\partial \Theta}{\partial X} + V \frac{\partial \Theta}{\partial Y} = \frac{1}{Pr \sqrt{Gr}} \Delta \Theta, \quad (3)$$

$$\frac{1}{Fo} \frac{\partial \Theta}{\partial \tau} = \Delta \Theta. \quad (4)$$

Начальные условия для системы уравнений (1–4):

$$\Psi(X, Y, 0) = \Omega(X, Y, 0) = 0, \quad \Theta(X, Y, 0) = 0. \quad (5)$$

Внешние границы области решения теплоизолированы:

$$\frac{\partial \Theta(X, Y, \tau)}{\partial \bar{n}} = 0. \quad (6)$$

На границах раздела твердых стенок и газа ( $L_{TP}$  и  $H_B$ ) задавались условия:

$$\frac{\partial \Psi(X, Y, \tau)}{\partial \bar{n}} = 0, \quad \frac{\partial \Theta_1(X, Y, \tau)}{\partial \bar{n}} = \lambda_{1,2} \frac{\partial \Theta_2(X, Y, \tau)}{\partial \bar{n}}, \quad (7)$$

$$\Theta_1(X, Y, \tau) = \Theta_2(X, Y, \tau),$$

Слева на линии раздела между нагреваемым воздухом и внешней средой задавались мягкие граничные условия [6].

$$\frac{\partial^2 \Psi(X, Y, \tau)}{\partial X^2} = 0, \quad \frac{\partial^2 \Theta(X, Y, \tau)}{\partial X^2} = 0, \quad (8)$$

На границе  $H_H$  учитывается радиационный источник нагрева

$$\frac{\partial \Psi(X, Y, \tau)}{\partial Y} = 0, \quad \frac{\partial \Theta_1(X, Y, \tau)}{\partial Y} = \frac{\partial \Theta_2(X, Y, \tau)}{\partial Y} + Ki, \quad (9)$$

$$\Theta_1(X, Y, \tau) = \Theta_2(X, Y, \tau),$$

где  $X, Y$  – безразмерные декартовы координаты;  $L$  – ширина области решения, м;  $\tau$  – безразмерное время;  $Ki = qL^3 / \lambda(T_H - T_0)$  – число Кирпичева;  $U, V$  – безразмерные скорости;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности твердой стенки, Вт/(м·К);  $\Theta$  – безразмерная температура;  $Gr = g\beta L^3(T_H - T_0) / \nu^2$  – число Грасгофа;  $\beta$  – температурный коэффициент объемного расширения,  $K^{-1}$ ;  $g$  – ускорение, создаваемое массовыми силами,  $m/c^2$ ;  $\Psi$  – безразмерный аналог вихря скорости;  $\Omega$  – безразмерный аналог масштаба вихря скорости;  $H$  – высота области решения, м;  $\nu$  – коэффициент кинематической вязкости,  $m^2/c$ ;  $\lambda_{1,2}$  – относительный коэффициент теплопроводности;  $Pr = \nu / a$  – число Прандтля;  $Fo = at_0 / L^2$  – число Фурье;  $a$  – коэффициент температуропроводности,  $m^2/c$ .

Уравнения (1–4) с соответствующими начальными и граничными условиями (5–9) решались методом конечных разностей на равномерной сетке. Для решения системы разностных уравнений был использован метод прогонки и схема переменных направлений. При решении задачи (1–9) использовался алгоритм [2-5], разработанный для численного решения задач естественной конвекции в замкнутых прямоугольных областях с локальными источниками энергии. При определении граничных условий для вектора вихря применялся метод Либмана [6,7]. Турбулизация течения нагретого воздуха описывалась в соответствии с основными положениями [6] изменением вязкости с ростом скорости движения воздуха. Расчет вязкости проведен в рамках модели Прандтля [7]:

$$v_t = l_m^2 \left| \frac{\partial \bar{v}_x}{\partial y} \right|,$$

$$l_m = k \cdot y,$$

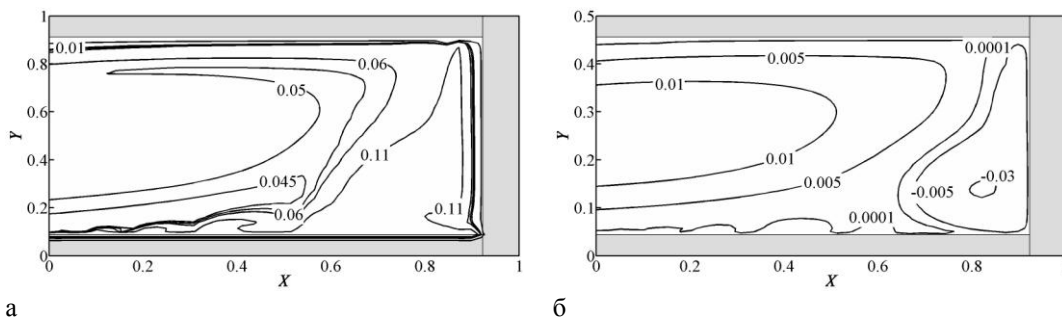
где  $l_m$  – путь смешения,  $k$  – универсальный коэффициент пропорциональности.

#### Анализ результатов моделирования

Численные исследования проведены при значениях масштаба времени равном  $t_0=0,1$  с. При решении поставленной задачи число Грасгофа принимало значения до  $10^{11}$ , что соответствует турбулентной конвекции.

На рис. 2 представлены результаты численного моделирования, иллюстрирующие основные закономерности теплопереноса в рассматриваемой системе отопления с использованием газовых инфракрасных излучателей.

Изотермы рис. 2, а иллюстрируют процессы подъема нагретых вблизи бетонного пола воздушных масс и их последующее охлаждение при движении вдоль относительно холодной стенки 3 (рис. 1). Более теплый воздух, поднимающийся в зоне на некотором расстоянии от стенки 3, в этом случае оттесняется холодным воздухом, опускающимся вдоль стенки, аккумулирующей тепловую энергию в своей нижней части за счет высокой объемной теплоемкости. В итоге формируется циркуляционное течение нагретого воздуха относительно основной части области вблизи бетонного пола, являющегося в рассматриваемых условиях источником подвода теплоты. При этом существенно неоднородное распределение температур очевидно обусловлено турбулизацией течения у нагретой горизонтальной поверхности (рис. 2).



**Рис. 2.** Поле температур (а) и изолинии функции тока (б) для модели естественной конвекции в открытой области с радиационным нагревом нижней границы раздела газа и твердой стенки для момента времени  $\tau=10000$  (а, б).

Смещение пика температур к правой границе объясняется поступлением холодного воздуха от левой (открытой) границы (рис. 2, а). Линии тока (рис. 2, б) иллюстрирует смещение нагретого воздуха в зону, расположенную за пределами области нагрева. Полученный результат показывает, что в таких случаях на практике целесообразным является ограждение по левой границе области отопления непроницаемой для воздушных потоков стенкой малой толщины с низкой теплопроводностью.

#### Основные выводы.

Результаты математического моделирования процессов теплопереноса в условиях подвода энергии при работе газовых инфракрасных излучателей позволяют сделать выводы о

существенной нестационарности процесса нагрева объема воздушных масс и ограждающих конструкций, а также о турбулентном режиме процесса конвекции в воздухе.

*Работа выполнена в рамках НИР Госзадания «Наука» (Шифр федеральной целевой научно-технической программы 7.3073.2011).*

#### Список использованной литературы.

1. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – С. 12.
2. Кузнецов Г.В., Шеремет М.А. Двумерная задача естественной конвекции в прямоугольной области при локальном нагреве и теплопроводных границах конечной толщины // Известия Российской Академии Наук. Механика жидкости и газа. – 2006. – № 6. – С. 29–39.
3. Кузнецов Г.В., Шеремет М.А. Сопряженный теплоперенос в замкнутой области с локально сосредоточенным источником тепловыделения // Инженерно-физический журнал. – 2006. – Т. 79. – № 1. – С. 56–63.
4. Кузнецов Г.В., Шеремет М.А. Об одном подходе к математическому моделированию тепловых режимов радиозлектронной аппаратуры и электронной техники // Микроэлектроника. – 2008. – Т. 37. – № 2. – С. 150–158.
5. Кузнецов Г.В., Шеремет М.А. Математическое моделирование тепломассообмена в условиях смешанной конвекции в прямоугольной области с источником тепла и теплопроводными стенками // Теплофизика и аэромеханика – 2008. – Т. 15. – № 1. – С. 107–120.
6. Пасконов В.М., Полежаев В.И., Чудов Л.А. Численное моделирование процессов тепло- и массообмена. – М.: Наука, 1984. – 288 с.
7. Белов И.А., Исаев С.А. Моделирование турбулентных течений: Учебное пособие, Балтийский государственный технический университет – СПб., 2001. – 108 с.

УДК 621.454.3

#### Влияние динамической неравновесности на радиационные характеристики и характеристики излучения гетерогенных продуктов сгорания высокоэнергетических установок

*В.А. Кузьмин, И.А. Заграй*

*Вятский государственный университет, г. Киров, Россия*

*E-mail: ZagrayIA@yandex.ru*

С помощью расчетного моделирования проведены исследования радиационных характеристик и характеристик излучения гетерогенных продуктов сгорания модельного ракетного двигателя на твердом топливе для условий среза сопла. Количественно установлено, что результаты расчетов с учетом динамической неравновесности отличаются от результатов равновесного течения газа и частиц. Сделан вывод о том, что для обоснования расчетной модели и правильной интерпретации экспериментальных результатов по тепловому излучению продуктов сгорания необходимо исследование влияния динамических неравновесностей в потоке.

Разработка двигателей и установок различного назначения предусматривает изучение процессов лучистого теплообмена. Эксперименты по исследованию инфракрасного излучения продуктов сгорания служат основой для создания расчетных моделей и методик. Частицы конденсата могут находиться в состоянии температурной и скоростной неравновесности с газообразными продуктами сгорания [1]. Поэтому для проведения исследований по тепловому излучению необходимо иметь исходную информацию не только об оптических свойствах вещества, дисперсности конденсированной фазы, концентрации частиц и составе газовой фазы, но также учитывать соотношение скоростей и температур частиц и газа.

С помощью численного моделирования были проведены исследования влияния динамической неравновесности на радиационные характеристики единичного объема (коэффициенты ослабления, рассеяния и поглощения), а также характеристики излучения (интенсивности, степени черноты) для условий среза сопла модельного ракетного двигателя на твердом топливе (РДТТ). Камера сгорания двигателя имела цилиндрическую форму с диаметром  $d_k = 260$  мм, а диаметр среза сопла составлял  $d_c = 80$  мм.



Основным компонентом конденсированной фазы продуктов сгорания модельного двигателя являются частицы оксида алюминия. Частицы конденсата в общем случае представляют полидисперсную систему. В качестве функции распределения частиц по размерам для среза сопла использовалось гамма-распределение [1, 2, 3]

$$f(r) = \frac{a^{b+1}}{b!} r^b e^{-ar}$$

с параметрами  $a = 1,6 \text{ мкм}^{-1}$  и  $b = 2,0$ .

Оптические константы  $n_1$  (показатель преломления) и  $n_2$  (показатель поглощения) являются первичными радиационными характеристиками вещества, определяющими его способность поглощать и рассеивать падающее излучение. Для расчетов использовалось аналитическое представление оптических констант  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в зависимости от длины волны  $\lambda$  и температуры  $T$  [1]:

$$n_1 = 1,747 + 0,0066 \cdot \lambda - 0,0068 \cdot \lambda^2 + 0,0003 \cdot T,$$

$$\lg n_2 = -2,19 + 0,089 \cdot \lambda^{0,95} - 0,00056(3200 - T)\lambda^{-0,45}.$$

Для определения радиационных характеристик была использована теория рассеяния Г. Ми о дифракции электромагнитных волн на частицах, имеющих сферическую форму. Спектральные радиационные характеристики единичного объема (коэффициенты ослабления  $\kappa_\lambda^*$ , поглощения  $\alpha_\lambda^*$  и рассеяния  $\beta_\lambda$ ) для полидисперсной системы сферических частиц рассчитываются по формулам [1,4]:

$$\kappa_\lambda^* = N \int_0^\infty \pi^2 K_{\text{осл}} f(r) dr, \quad \alpha_\lambda^* = N \int_0^\infty \pi^2 K_{\text{погл}} f(r) dr, \quad \beta_\lambda = N \int_0^\infty \pi^2 K_{\text{рас}} f(r) dr,$$

где  $K_{\text{осл}}$ ,  $K_{\text{погл}}$ ,  $K_{\text{рас}}$  – безразмерные коэффициенты ослабления, поглощения и рассеяния (зависят от параметров  $n_1$ ,  $n_2$  и  $\rho = 2\pi r/\lambda$ );  $N$  – числовая концентрация частиц.

Значение  $N$  выражается формулой [1]:

$$N = \frac{z\rho_z(T)W_z}{\langle V \rangle (1-z)\rho_v(T)W_v}.$$

Здесь  $z$  – массовая доля конденсата,  $\rho_v$  и  $\rho_z$  – плотности частиц и газовой фазы (зависят от температуры  $T$ ),  $W_v$  и  $W_z$  – скорости частиц и газа,  $\langle V \rangle$  – средний объем частиц, определяемый по формуле:

$$\langle V \rangle = \frac{4}{3} \pi \int_0^\infty r^3 f(r) dr.$$

Зависимость плотности жидкого оксида алюминия от температуры выше температуры плавления 2320 К определяется выражением [1]:

$$\rho_v = 5,632 - 1,127 \cdot 10^{-3} T \text{ г/см}^3.$$

С учетом излучения газа общий коэффициент поглощения  $\alpha_\lambda$  рассчитывался по формуле:

$$\alpha_\lambda = \alpha_\lambda^* + \alpha_{\text{газ}}.$$

Коэффициент поглощения газовой фазы  $\alpha_{\text{газ}}$  вычислялся по результатам работ [5, 6]. Коэффициент ослабления единичного объема гетерогенных продуктов сгорания вычислялся по формуле:

$$\kappa_\lambda = \alpha_\lambda + \beta_\lambda.$$

Для определения характеристик излучения (спектральной степени черноты  $\varepsilon_\lambda$  и интенсивности  $I_\lambda$ ) в работе использовался метод двухпотокового приближения (ДПП или метод Шустера-Шварцшильда). Решение уравнения переноса излучения методом ДПП позволяет находить спектральную излучательную способность (степень черноты):

$$\varepsilon_\lambda = (1 - \rho_\lambda^*) \frac{1 - e^{-H_\lambda L}}{1 + \rho_\lambda^* \cdot e^{-H_\lambda L}}, \text{ где } H_\lambda = \sqrt{\alpha_\lambda (\alpha_\lambda + 2\beta_\lambda)}, \quad \rho_\lambda^* = \frac{\alpha_\lambda + \beta_\lambda' - H_\lambda}{\beta_\lambda'}.$$

Здесь  $\beta_\lambda'$  – спектральный коэффициент рассеяния назад,  $L$  – толщина слоя.

Исходные данные для определения радиационных характеристик и характеристик излучения продуктов сгорания модельного РДТТ перечислены в таблице.

Графики полученных радиационных характеристик и характеристик излучения с учетом скоростной  $W_v/W_z$ , неравновесности представлены на рис. Различие в скоростях между газом и частицами в первую очередь отражается на количестве частиц в единице объема. С увеличением

скорости газа и уменьшением скорости частиц возникает задержка этих частиц в данном месте тракта истечения продуктов сгорания, вызывающая увеличение числа частиц в единице объема. Поэтому, скоростная неравновесность приводит к увеличению коэффициентов  $\kappa_\lambda$ ,  $\alpha_\lambda$  и  $\beta_\lambda$ .

Таблица. Исходные данные для расчета радиационных характеристик и характеристик излучения частиц модельного РДТТ

Давление $p$	$10^5$ Па
Температура конденсата $T_c$	2625 К
Массовая доля конденсата $z$	0,05
Плотность частиц конденсата $\rho_c$	$2,67$ г/см <sup>3</sup>
Молярная масса продуктов сгорания $\mu$	26 г/моль
Числовая концентрация $N$	$3,6 \cdot 10^{-8}$ 1/мкм <sup>3</sup>
Толщина слоя $L$	80 мм
Компоненты газовой фазы: H <sub>2</sub> O, CO, CO <sub>2</sub>	0,392; 0,193; 0,119
Температура газовой фазы $T_g$	2625 К
Плотность газа $\rho_g$	$1,11 \cdot 10^{-4}$ г/см <sup>3</sup>

Учет 10 % и 20 % скоростной неравновесности ( $W_u/W_g=0,9$  и  $W_u/W_g=0,8$ ) увеличивает коэффициент  $\beta_\lambda$  на 11 % и 25 % соответственно во всем спектральном интервале 0,3...6,5 мкм. Для полос поглощения 1,9; 2,7; 4,3...5,1 мкм газовой фазы, наблюдается меньшее увеличение коэффициентов  $\kappa_\lambda$ ,  $\alpha_\lambda$  и  $\varepsilon_\lambda$ . Влияние неравновесности ослабевает с увеличением поглощения в полосе. Интегральная степень черноты увеличивается на 3 % ( $W_u/W_g=0,9$ ) и 8 % ( $W_u/W_g=0,8$ ).

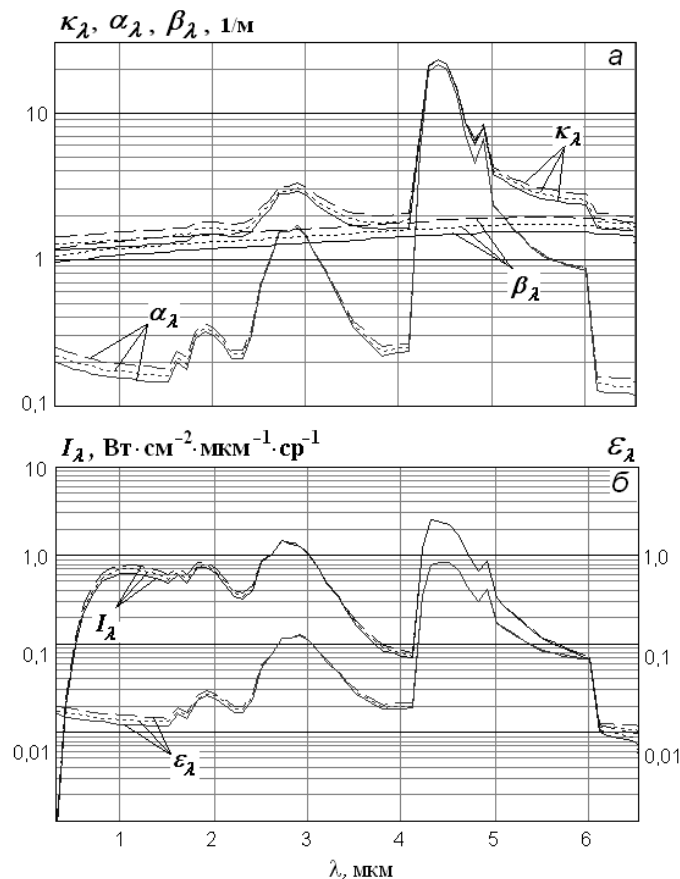


Рис. Радиационные характеристики (а) и характеристики излучения (б) с учетом динамической неравновесности для условий среза сопла модельного РДТТ:

— -  $W_c/W_g = 1$ . - - - -  $W_c/W_g = 0,9$ ; — — -  $W_c/W_g = 0,8$ .

Проведенное исследование спектрального характера излучения равновесного и неравновесного течений продуктов сгорания РДТТ в спектральном интервале 0,3...6,5 мкм подтвердило, что излучение не является серым. Анализ влияния динамической неравновесности на радиационные характеристики и характеристики излучения показал, что результаты отличаются от результатов равновесного течения. Поэтому, для обоснования расчетной модели и правильной интерпретации экспериментальных результатов по тепловому излучению продуктов сгорания необходимо учитывать влияние динамической неравновесности в потоке.

**Список используемой литературы:**

1. Кузьмин В.А. Тепловое излучение в двигателях и энергетических установках. – Киров: ООО «Фирма «Полекс», 2004. – 231 с.
2. Кузьмин В.А., Заграй И.А. Оптические и радиационные характеристики частиц в продуктах сгорания модельного двигателя // Материалы XXXI Всерос. конф. «Наука и технологии». – Миасс: МСНТ, 2011. – С.71-73.
3. Кузьмин В.А., Маратканова Е.И., Заграй И.А. Влияние присутствия газовой фазы на радиационные характеристики и характеристики излучения продуктов сгорания модельного ракетного двигателя [Электронный ресурс] // Общество, наука, инновации: Сб. матер. всерос. ежегод. науч.-техн. конф. / Вят. гос. ун-т; отв. ред. С.Г. Литвинец. – Киров, 2012. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). - (ЭТФ. Секция «Физика и теплотехника», статья №18)
4. Блох А.Г., Клабуков В.Я., Кузьмин В.А. Радиационные характеристики полидисперсных систем сферических частиц. – Горький: Волго-Вятское кн. изд-во, 1976. – 112 с.
5. Каменщиков В.А., Пластинин Ю.А., Николаев В.М., Новицкий Л.А. Радиационные свойства газов при высоких температурах. М.: Машиностроение, 1971. – 440 с.
6. Хмелинин Б.А., Пластинин Ю.А. Излучательные и поглощательные свойства молекул  $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $CO$  и  $HCl$  при температурах 300...3000 К. Тр. ЦАГИ, Вып.1656. Проблема физической газовой динамики. – М.: ЦАГИ, 1975. – С. 102-147.

## Секция 3

Энергетическая безопасность и  
энергосбережение

## Информационное обеспечение топливно-энергетического баланса

О.В. Белова

Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

E-mail: oksana\_ksyusha@mail.ru

Топливо-энергетический баланс объекта раскрывает многие свойства энергетического хозяйства и в большинстве случаев сохраняет в течении значительного времени состав, структуру и мобильность использования энергоресурсов несмотря на многие внешние и внутренние изменения. Так ежегодный прирост потребления ТЭР в регионе остается примерно постоянным (на уровне 1-2 % от спроса), а потребление электроэнергии в жилом доме остается неизменным в течение многих лет, несмотря на значительные изменения цен и тарифов [1].

Это позволяет предположить, что топливо-энергетический баланс обладает определенными устойчивыми корреляциями, изучение которых является целью настоящей работы. Знание этих внутренних взаимосвязей для объектов разного назначения позволит осуществлять энергосбережение на новой методической основе.

Топливо-энергетический баланс представляет собой систему сведений о добыче, производстве, потреблении и потерях топливно-энергетических ресурсов исследуемого объекта за определенное время и представленных в физических или условных единицах измерения [2]. В таблице 1 приведен топливо-энергетический баланс Томской области за 2009 год.

Таблица 1. Топливо-энергетический баланс Томской области в 2009 году.

№	Строка баланса	Нефть	Газ природный	Уголь	Дрова	НП	ЭЭ	Тепло	Всего
<b>1</b>	<b>Производство</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>6</b>	<b>0</b>	<b>789</b>	<b>1121</b>	<b>1916</b>
2	Отправлено на сторону	0	0	0	0	0	0	0	0
3	Получено со стороны	14	2696	657	0	0	28	0	3395
4	Остаток на складе	5	10	145	1	53	0	0	214
5	ДЭС	0	0	0	0	0	789	1121	1910
6	Котельные всего	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>7</b>	<b>Располагаемый ресурс</b>	<b>19</b>	<b>2696</b>	<b>802</b>	<b>5</b>	<b>51</b>	<b>818</b>	<b>1121</b>	<b>5510</b>
<b>8</b>	<b>Статистическое расхождение</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>145</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>-66</b>	<b>496</b>	<b>579</b>
9	Собственные нужды	0	0	0	0	0	24	0	24
10	Отпуск в сеть	0	0	0	0	0	794	1121	1914
11	Потери в сети	0	0	0	0	0	160	194	354
<b>12</b>	<b>Потребление</b>	<b>19</b>	<b>2696</b>	<b>657</b>	<b>5</b>	<b>51</b>	<b>634</b>	<b>926</b>	<b>4988</b>
13	ДЭС	0	901	290	0	16	0	0	1207
14	Котельные всего	5	326	13	1	8	0	0	353
<b>15</b>	<b>Конечное потребление</b>	<b>9</b>	<b>1469</b>	<b>354</b>	<b>4</b>	<b>27</b>	<b>700</b>	<b>431</b>	<b>2993</b>
16	Промышленность	6	1918	340	1	23	372	217	2877
17	Строительство	1	1	2	0	1	10	8	23
18	Сельское хозяйство	0	0	0	1	0	1	1	3
19	Транспорт	1	29	6	1	1	150	34	223
20	Сфера услуг и КБХ	0	0	1	0	0	25	95	121
21	Население	0	9	0	0	10	260	450	729
<b>22</b>	<b>Фактическое потребление</b>	<b>9</b>	<b>1957</b>	<b>349</b>	<b>3</b>	<b>35</b>	<b>818</b>	<b>805</b>	<b>3975</b>
23	Потребление с учетом энергетических нужд	14	3184	652	4	59	818	805	5534
<b>24</b>	<b>Статистическое расхождение</b>	<b>0</b>	<b>-488</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>-8</b>	<b>-118</b>	<b>-374</b>	

В ТЭБ содержатся сведения о разных видах энергоресурсов в потребляющей (промышленность, население) и производственной частях (ГРЭС, ТЭЦ, котельные), о собственном расходе и потерях ТЭР. Структура баланса (рис. 1) позволяет выявить соотношение разных энергоресурсов.

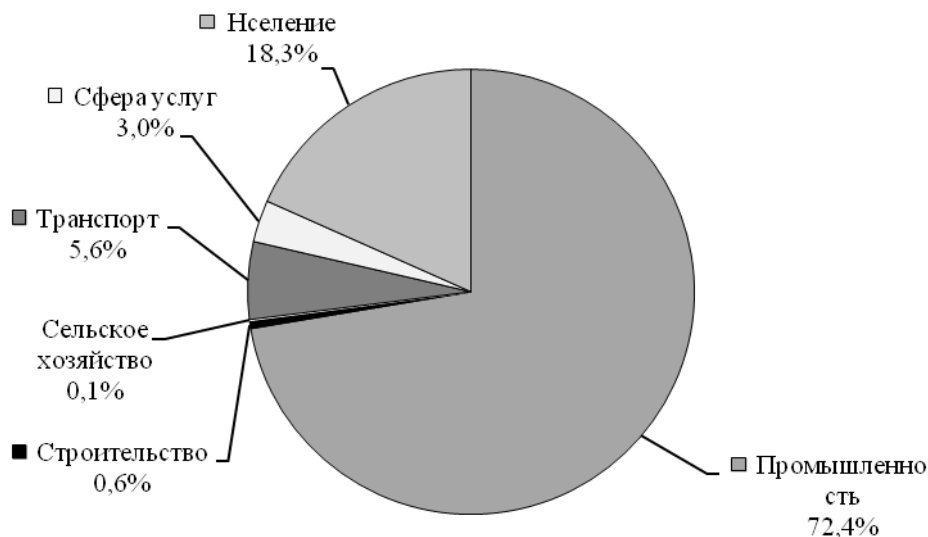


Рис.1. Структура топливно-энергетического баланса Томской области в 2009 г.

Обращает на себя внимание высокая стабильность доли энергоресурсов в структуре баланса (табл.2) [3].

Таблица 2. Доля ТЭР в структуре баланса.

Энергоресурсы	2005	2006	2007	2008	2009
Нефть	0,29	0,29	0,31	0,27	0,38
Газ природный	68,8	70,64	61,48	58,17	54,05
Уголь	5,14	5,27	8,88	10,31	13,17
Дрова	0,18	0,19	0,13	0,08	0,1
Нефтепродукты	0,71	0,73	1,48	1,88	1,02
Электроэнергия	10,64	8,25	11,28	12,13	12,71
Тепло	14,24	14,63	16,44	17,14	18,57
<b>Всего</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Устойчивость доли потребляемых энергоресурсов позволяет записать:

$$W = a \cdot W_{\text{э}} + b \cdot W_{\text{т}} + c \cdot W_{\text{г}} + \dots,$$

где  $W$  – общее потребление энергий т у.т;  $a, b, c, \dots$  – доля потребления соответственно электроэнергии, тепла, газа и др.

К сожалению, государственная система статического наблюдения не предусматривает сбора сведений по потреблению угля, тепловой энергии, нефтепродуктов и др. Если найти достоверные значения коэффициентов  $a, b, c, \dots$  – возможно восстановить баланс, пользуясь их приближенными значениями.

Возможно также составить балансы на короткие промежутки времени или для частей объекта. Для этого случая потребление электроэнергии можно определить так:

$$W_{\text{э}} = \left( \frac{W_{\text{э},\theta}}{T_{\theta}} \cdot \frac{\theta}{\theta_{\theta}} \right) \cdot T,$$

где  $W_{\text{э},\theta}$  – потребление электроэнергии в базовом периоде;  $T, T_{\theta}$  – продолжительность планируемого периода и базового соответственно;  $\theta, \theta_{\theta}$  – средняя продолжительность светового дня в планируемом и базовом режимах соответственно.

Потребление тепла:

$$W_T = \left( \frac{W_{T,б}}{T_б} \cdot \frac{\tau}{\tau_б} \right) \cdot T,$$

где  $W_{T,б}$  – потребление тепла в базовом режиме;  $\tau$ ,  $\tau_б$  – средняя температура наружного воздуха в планируемом и базовом периодах.

Вывод: Топливо-энергетический баланс позволяет построить развернутую информацию для управления и прогнозирования спроса на энергоресурсы.

#### Список используемой литературы:

1. Вольфберг Д.Б., Макаров А.А. Рациональное использование и экономия топливно-энергетических ресурсов// Современные проблемы энергетики/ Под ред. Д.Г. Жимерина. – М.: Энергоатомиздат, – 1984. – 194 с.
2. Литвак В.В. Основы регионального энергосбережения (научно-технические и производственные аспекты). – Томск: Изд-во НТЛ, – 2002. – 300 с.
3. Статистический ежегодник Томской области: Стат.сб. – Томск: Томскстат., – 2009. – 251 с.

УДК 87.03.07, 87.35.91

### Оптимизация сельскохозяйственного производства в различных районах Томской области на основе программного моделирования.

*Т.Ш. Фузела*

*ФГБУН Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск, Россия*

*E-mail: [fts10@yandex.ru](mailto:fts10@yandex.ru)*

В условиях недостаточности и заметного удорожания основных видов энергоресурсов проблема экономии энергии в сельскохозяйственном производстве должна решаться с учетом максимального использования возможностей сельскохозяйственных систем по частичному самообеспечению энергией, а также некоторыми другими компонентами, воспроизводимыми в собственном биологическом цикле. Для расчета энергии, производимой сельским хозяйством различных районов на территории Томской области, нами был использован метод программного моделирования, подробно описанный ранее [1]. Модель оптимизации функционирования сбалансированной агроэкосистемы, основанная на потоках вещества, энергии и информации, может быть использована как модель для проведения количественного и качественного анализа различных сельскохозяйственных систем. Разработанная программа «Agroном 1.0» адаптирована под природные условия Томской области и позволяет ускорить анализ, рассчитать большое количество вариантов функционирования. Ввиду развития объектно-ориентированного программирования в основу модели была положена не система матриц и векторов, характерная для классического линейного программирования, а система объектов с определенными свойствами и функциями. Краткий алгоритм расчета потоков энергии: вычисляются потребности различных отраслей исследуемого хозяйства, которые в большей степени зависят от запланированного выхода продукции; вычисляется фактический баланс источников энергии; все балансы сводятся в одно уравнение, в левой части которого все потребности, а в правой – все энергетические потоки. Это уравнение разрешается относительно суммы величин энергии и вещества (выраженных также в энергетических единицах), поступающих из внешних источников. Значение целевой функции, отражающей сумму потребленной внешней энергии, будет больше либо равным величине покупаемой энергии. В результате определяется оптимальный вариант использования как внешних, так и внутренних потоков вещества, а также эффективность использования различных ресурсов сельскохозяйственным производством. Оценка была проведена на основе ретроспективного анализа, применительно к тому, как бы функционировала сельхозсистема с 2005 по 2010 гг., если бы при её функционировании использовались отходы производства. Оптимизация проводилась с помощью оптимизации функционирования сельскохозяйственного производства с учётом использования вторичного продукта производства ( $E_{II} = E_{б/г\text{ сол}} + E_{б/г\text{ нав}}$ ), а также с учётом использования вторичного продукта ( $E_{II} = E_{б/г\text{ сол}} + E_{б/г\text{ нав}}$ ) и третичного продукта ( $E_{III} = E_{сол} \cdot m_{сол} + E_{нав} \cdot m_{нав}$ ) производства [1].

Выбор районов для анализа определяется пространственным распределением на территории Томской области, который сочетается с освоенностью и транспортной доступностью, а также сосредоточенностью на территории сельскохозяйственного производства. Поэтому для исследования были выбраны следующие районы: Томский, Асиновский, Бакчарский, Кожевниковский, Кривошеинский, Зырянский, Чаинский, Шегарский и Первомайский.

Исследование базировалось на статистических данных по сельскому хозяйству в период с 2005 по 2010 гг. по различным районам Томской области, которые были взяты из ежегодного статистического сборника.

Было выявлено, что максимальную энергетическую нагрузку имеют Томский ( $61,7-69,8 \cdot 10^{13}$  Дж), Кожевниковский ( $54,5-66,9 \cdot 10^{13}$  Дж) и Зырянский районы ( $21,1-28,8 \cdot 10^{13}$  Дж) (рис 1). Однако самые высокие значения по проценту использования таких важных ресурсов, как органические удобрения и корма имеет Томский район ( $44,5-62,3 \cdot 10^{13}$  Дж), Чаинский ( $7,7-9,3 \cdot 10^{13}$  Дж), Первомайский ( $10,1-16,4 \cdot 10^{13}$  Дж) и Асиновский ( $7,4-16,5 \cdot 10^{13}$  Дж) (рис.2). На основе полученных результатов можно сделать вывод, что в отдельные годы Томский (2005-2010), Асиновский (2007-2010) и Первомайский районы (2005-2008) способны более чем на 70% к самообеспечению энергией за счёт использования побочного продукта производства.

По результатам оптимизации потенциальные возможности использования побочных продуктов производства для самообеспечения энергией иногда превышают 50% для Чаинского и Кривошеинского районов, а в Шегарском и Бакcharском районах на 25%. Выявлено, что схемы функционирования производства Зырянского и Кожевниковского районов менее всего имеют приращение энергии (до 20%), хотя их природно-ресурсный потенциал среди районов области составляет значительный вклад.

Результат ретроспективного моделирования, проведенного для районов Томской области показал, что в отдельные годы имеет место получение дополнительной энергии за счет реализации побочных энергетических ресурсов. Как показано выше, на основе оптимизации системы можно было сократить затраты энергии отдельно по годам до 50%. Таким образом, при правильном использовании ресурсов система может дать резкое повышение экономичности использования энергии. Динамика распределения энергетических затрат по годам объясняется различием в объёме производства, структуре сельскохозяйственных площадей и хозяйствования.

Исследование показало, что с помощью нашей модели можно оптимально управлять производством и при этом сохранять ресурсы, а также выявлять новые пути повышения эффективности сельскохозяйственного производства, то есть пути снижения затрат энергии, удобрений и пр. на единицу производимой продукции.

Работа выполнена в рамках проекта VII. 63.1.3. фундаментальных исследований ИМСЭС СО РАН

#### Список используемой литературы:

1. Фузелла Т.Ш., Эколого-энергетический анализ агроэкосистем: оптимизация функционирования агроэкосистемы. – Germany. LAP Lambert Academic Publishing, – 2012. – 168 с.
2. Булаткин Г.А. Эколого-энергетические основы оптимизации продуктивности агроэкосистем. – ИФПБ РАН. – 2008. – 366 с.

#### Основные типы ИБП с двойным преобразованием энергии

*О.А. Иванов, С.А.Коробков*

*Московский государственный открытый университет, г.Москва, Россия*

*\*НИУ МЭИ, г.Москва, Россия*

*E-mail: [ivanov\\_o\\_a88@mail.ru](mailto:ivanov_o_a88@mail.ru)*

Описываются основные преимущества и недостатки трансформаторных и бестрансформаторных источников бесперебойного питания.

В последние десятилетия произошли революционные изменения в области электроэнергетики, силовой электроники. Ускоренное развитие техники подстегнуло к созданию все более совершенного оборудования. Но для эффективной работы этого оборудования необходимо наличие и бесперебойного качественного электропитания. Электронное оборудование, в частности медицинское, в процессе эксплуатации оказывается под воздействием различных электромагнитных помех, большая часть которых распространяется по электрическим сетям. Эти проблемы могут вызывать не только сбои в работе оборудования, но и необратимые процессы разрушения программного продукта и выхода из строя аппаратуры. А применительно к медицинскому приборному оборудованию вообще накладываются очень высокие требования к электропитанию, особенно к наличию высших гармонических составляющих. Но зачастую многие

производители и тем более покупатели данной аппаратуры не обращают должного внимания на условия работы установок.

Условно источники бесперебойного питания можно разделить на два типа: с использованием трансформатора и бестрансформаторные. В классической схеме онлайн ИБП на выходе IGBT-инвертора применяется трансформатор (рис. 1).

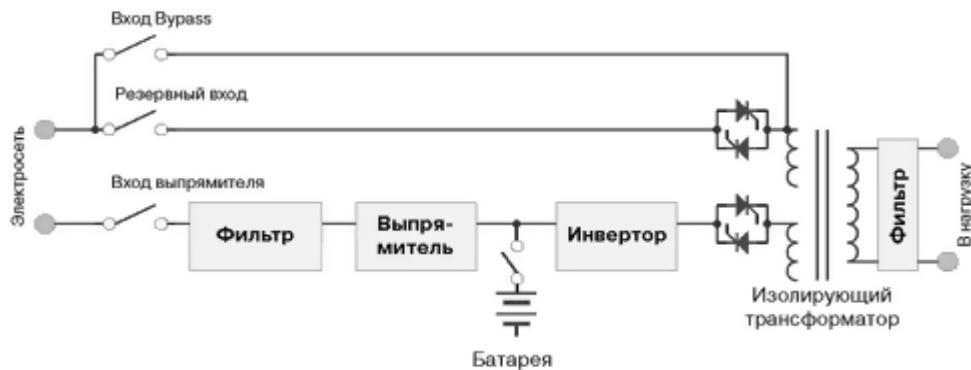


Рис.1 Блок-схема онлайн ИБП с трансформатором.

Трансформатор на выходе ИБП не только обеспечивает гальваническую развязку, но и гарантирует отсутствие постоянной составляющей в выходном сигнале (наличие такой составляющей вполне может вывести нагрузку из строя), а также придает повышенную "живучесть" выходным транзисторам и делает более простой и надежной схему инвертора. Еще одним преимуществом выходного трансформатора является возможность создания нейтрали. Для работы выпрямителя трехфазных трансформаторных ИБП не требуется наличие нейтрального проводника, а в цепи постоянного тока, как правило, включен один комплект АКБ требуемого напряжения и емкости. При этом батареи подключены непосредственно к цепи постоянного тока (через защитные предохранители). Поскольку выходной трансформатор одновременно обеспечивает повышение напряжения, инвертор может работать при пониженном напряжении постоянного тока, а трансформатор вместе с конденсаторами в цепи постоянного тока на входе инвертора образует пассивный фильтр. Кроме того, вторичная обмотка трансформатора содержит нейтральный вывод, таким образом, нейтраль входной сети становится полностью гальванически изолированной от нейтрали на выходе ИБП.

Применение трансформатора в выходном каскаде ИБП обуславливает больший вес таких ИБП и большие габаритные размеры. Как правило, такие ИБП требуют доступа для проведения обслуживания более чем с одной стороны, тем самым увеличивается сервисная зона, занимаемая оборудованием. Однако, в современных ИБП требуется только фронтальный доступ.

Появление бестрансформаторных схем связано со стремлением разработчиков уменьшить габаритные размеры и массу ИБП, а также снизить их стоимость. Инвертор бестрансформаторных ИБП должен обеспечивать более высокое выходное напряжение, поэтому в цепи постоянного тока устанавливаются специальные устройства, повышающие напряжение (бустеры). Из-за этого такие агрегаты иногда называют "ИБП с тройным преобразованием" (рис. 2).

Поскольку нейтральный проводник в бестрансформаторном ИБП является сквозным, то есть проходит с входа на выход, фактически цепь постоянного тока имеет два плеча – положительное и отрицательное. В каждом плече установлен комплект АКБ (как правило, 20 12-ти вольтовых блоков) и отдельное зарядное устройство. Фильтрация выходного сигнала осуществляется выходным LC фильтром.

По мере развития IGBT-транзисторов все более широкое применение стали находить варианты построения выпрямителей на базе биполярных транзисторов с изолированным затвором, что позволило более эффективно управлять характеристиками потребления тока из питающей сети, что обеспечивает наилучшие входные параметры (КНИ < 5%). Однако, это значительно повысило стоимость самих ИБП.

Таким образом можно сделать выводы. Для современных центров обработки данных требуется более эффективный ИБП. То есть источник бесперебойного электропитания, который будет иметь более высокой коэффициент полезного действия (КПД). Трансформатор по своей природе вносит дополнительные потери, а значит КПД у него будет, естественно, меньше чем у ИБП без трансформаторов.



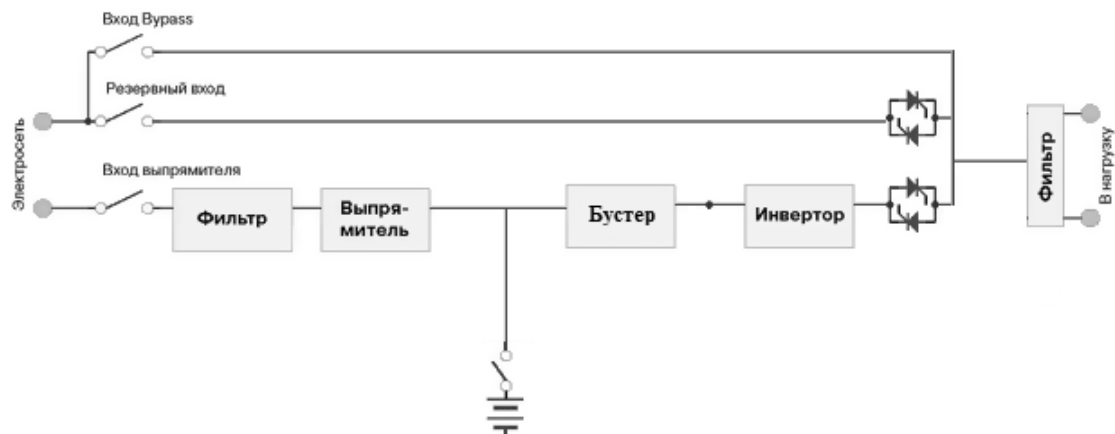


Рис.2. Блок-схема онлайн ИБП без трансформатора.

Один из серьезных доводов в пользу безтрансформаторных систем заключается как раз в том, что трансформаторы увеличивают энергетическую эффективность. При нелинейных нагрузках потери, создаваемые старыми трансформаторами, составляли более 2-3%. Благодаря появлению трансформаторов типа Tr1 (а также использованию высокого значения  $K$ , т.е.,  $K20$ ), этот показатель уменьшился до 1.5-2%. Однако не надо забывать, что в дата центре имеет большое значение уровень надежности. Один из аргументов поставщиков и производителей следующий – трансформаторные ИБП являются более устойчивыми и поэтому они более надежные.

УДК 621.37

### Экономический эффект использования методов прогнозирования электроэнергии и оценка потенциала энергосбережения неритмично работающих промышленных предприятий

*Т.Н. Кирилова*

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

*E-mail: [kirilova@sibmail.com](mailto:kirilova@sibmail.com)*

Российская энергетика, начиная с 2006 г., прошла сложный процесс структурного и экономического реформирования. Результатом реформы явилось создание нормативно-правовой базы, в рамках которой введены понятия оптового и розничного рынков электроэнергии, субъектов электроэнергетики и правила их взаимодействия в процессе производства, распределения и потребления электроэнергии.

Одним из главных аспектов реформы является механизм формирования рыночной стоимости электроэнергии и мощности для потребителей, исключая население. Таким образом, согласно Постановлению Правительства РФ от 04.05.2012 N 442 "О функционировании розничных рынков электрической энергии, полном и (или) частичном ограничении режима потребления электрической энергии" появилась легитимная возможность влиять на стоимость потребленной электрической энергии.

Еще одним основополагающим направлением развития российской энергетика на сегодняшний день является энергосбережение и повышение энергетической эффективности, главные тезисы которого установлены Федеральным законом № 261 от 23 ноября 2009 г. «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности».

Согласно ст. 2 данного закона энергосбережение – это реализация организационных, правовых, технических, технологических, экономических и иных мер, направленных на уменьшение объема используемых энергетических ресурсов при сохранении соответствующего полезного эффекта от их использования.

Крупные промышленные предприятия, в силу большого объема потребления электроэнергии, являются наиболее активными участниками рынка электроэнергии. С одной стороны они обладают необходимой технической и кадровой оснащённостью и способны обеспечить процесс почасового прогнозирования потребления электроэнергии и процесс его фактического соблюдения, что позволяет снизить стоимость покупаемой электроэнергии. С другой стороны процесс организации прогнозирования электропотребления напрямую связан с

оптимизацией технологического процесса и эффективного использования промышленного оборудования. Таким образом, на крупном промышленном предприятии, применение инструмента прогнозирования для уменьшения стоимости электроэнергии вызывает синергетический эффект, результатом которого является снижение объемов потребления электроэнергии.

Прогнозирование - это научная деятельность, направленная на выявление и изучение возможных альтернатив будущего развития и структуры его вероятных траекторий. Каждая альтернативная траектория развития связывается с наличием комплекса внешних относительно исследуемой системы (явления) условий.

В связи с вышесказанным было произведено прогнозирование потребления электроэнергии для промышленного предприятия и расчет экономического эффекта использования методов прогнозирования. Учитывая неритмичность работы промышленного предприятия и соответственно неравномерный график потребления электроэнергии, для повышения качества прогноза из общего потребления электроэнергии выделена постоянная и переменная (неритмичная) составляющие электропотребления.

Прогнозирование постоянной составляющей, обусловленной работой вытяжной и приточной вентиляции, электроосветительных установок, насосного оборудования и станочного парка предприятия, осуществлялось с помощью простейших статистических методов, а именно методом проинтегрированного скользящего среднего (АРПСС) и трендовым анализом.

Прогнозирование переменной (неритмичной) составляющей, обусловленной работой плавильной индукционной печи, как наиболее энергоемкой и неритмично работающей электроустановки, осуществлялось с использованием программный пакет Statistica и проводилось в 2 этапа:

1. Прогнозирование объема электропотребления на сутки с помощью нейронных сетей типа: многослойный перцептрон (МП) и радиальная базисная функция (РБФ).

2. Прогнозирование почасового суточного потребления с помощью нейронной сети временного ряда.

Процесс планирования электроэнергии, с одной стороны является организационной мерой, основанной на разработке статистической модели потребления электроэнергии для данного конкретного предприятия с использованием математических методов планирования и массива данных по потреблению электроэнергии за прошлые годы, с другой стороны, для организации адекватного процесса планирования необходимо полная инвентаризация станочного парка предприятия и оптимизация технологического процесса, результатом которых является повышение энергетической эффективности используемого оборудования.

Прогноз составлен на среднестатистическую календарную неделю второй декады месяца. Прогнозные значения составлены для 2009 г. в связи с тем, что электропотребление в 2009 г. имеет наибольшую величину, в последующие годы, в связи с экономическим кризисом производство становится очень нестабильным, напрямую зависит от сформированного портфеля заказов и наличия денежных средств для оплаты материалов и простой 50 % производства в течении месяца становится нередкостью, при этом до сих пор предприятие не вышло на докризисные объемы производства. Еще одним фактором влияющим на выбор периода прогнозирования явилось Постановлением Правительства Российской Федерации от 4 мая 2012 г. № 442, согласно которому утверждены Основные положения функционирования розничных рынков электрической энергии, определяющие порядок определения и применения гарантирующими поставщиками предельных уровней нерегулируемых цен на электрическую энергию (мощность) начиная с апреля 2012 года. Таким образом, расчет стоимости электроэнергии будет произведен согласно действующему на сегодня законодательству для фактического электропотребления июля 2009 г.

Согласно п. 97 ПП 442 от 04.05.2012 г., с 1 июля 2013 г. потребители с максимальной мощностью не менее 670 кВт осуществляют выбор ценовой категории самостоятельно посредством уведомления гарантирующего поставщика в течение 1 месяца с даты принятия решения об установлении тарифов на услуги по передаче электрической энергии в соответствующем субъекте Российской Федерации (при этом выбранная ценовая категория применяется для расчетов за электрическую энергию (мощность) с даты введения в действие указанных тарифов на услуги по передаче электрической энергии) и имеют право выбрать ценовую категорию с третьей по шестую.

В связи с тем, что прогноз выполняется для потребителя с максимальной мощностью не менее 670 кВт и учитывая п. 97 ПП 442 от 04.05.2012 г. производится 4 варианта экономического

расчета для 3,4,5 и 6 ценовых категорий. При этом в качестве исходных данных фактической и плановой объем электропотребления принимается за период с 13.07.2009 г. по 19.07.2009 г. (полноценная неделя второй декады июля 2009 г.) и стоимость электроэнергии для уровня напряжения 35 кВ (СН I) за период с 16.07.2012 г. по 22.07.2012 г. – аналогичная неделя за 2012 г.

В Таблице 1 приведена стоимость электроэнергии (мощности) с учетом прогнозирования для предприятия с неритмичным графиком нагрузки за период с 13.07.2009 г. по 20.07.2009 г. в ценах июля 2012 г., рассчитанную для 3,4,5 и 6 ценовых категорий.

Таблица 1. Стоимость электроэнергии для различных ценовых категорий.

Параметр	Стоимость электроэнергии (мощности), рубли без НДС			
	6 ЦК	5 ЦК	4 ЦК	3 ЦК
Итого	1 823 309,02	1 443 573,67	1 826 457,49	1 447 317,67
электроэнергия	580 039,65	1 259 821,86	583 188,11	1 263 565,87
мощность	1 243 269,30	183 751,80	1 243 269,37	183 751,80

Таким образом, экономически обоснованным является применение расчета стоимости электроэнергии (мощности) по 5 ценовой категории (для объемов покупки электрической энергии (мощности), в отношении которых за расчетный период осуществляются почасовое планирование и учет, а стоимость услуг по передачи электрической энергии определяется по тарифу на услуги по передачи электрической энергии в одноставочном выражении). В этом случае величина стоимости электроэнергии напрямую зависит от точности почасового планирования электроэнергии, т.е. от точности разработанных для прогноза статистических моделей.

Положительный результат прогнозирования почасовых объемов потребления электроэнергии предприятием с неритмичным графиком нагрузки подтверждается экономическим расчетом, и экономический эффект от использования разработанных моделей прогнозирования в самом малом приближении (при сравнении стоимости в 5 и 3 ценовых категориях) составляет около 195 тыс. рублей в год.

Таким образом, прогнозирование электропотребления, как организационное мероприятие по энергосбережению, не требующее финансовых вложений, приносит положительный экономический эффект.

При этом прогнозирование позволяет систематизировать параметры электропотребления предприятия, вести их контроль и учет, проводить анализ и оценку потенциала энергосбережения и в целом оптимизировать систему электропотребления, снизив тем самым не только затраты на энергоресурсы, но и фактическое потребление электроэнергии.

Следствием введения системы почасового планирования электропотребления на предприятии явились следующие организационные мероприятия:

1. Проведена детальная инвентаризация существующего оборудования, в результате которого выведена из эксплуатации часть неиспользуемого оборудования
2. Реконструирована система освещения в помещениях, где это было возможно. (Произведено секционирование системы освещения в цеховых помещениях и замена на энергосберегающие источники света)
3. Утверждена и регламентирована система почасового планирования начальниками каждого структурного подразделения.
4. Разработана система стимулирования в области энергосбережения, одним из положений которой явилась «Система поощрений (наказаний) за соблюдение (не соблюдение) планового потребления электроэнергии структурными подразделениями» с назначением непосредственных ответственных.

Таким образом, в результате реализации такого нетипового организационного мероприятия, как планирование потребления электроэнергии по часам суток, появилась возможность оценить потенциал энергосбережения всего предприятия в целом и разработать основные направления энергосбережения и повышения энергетической эффективности предприятия с неритмичным графиком нагрузки, учитывая положения действующего законодательства и сложившуюся экономическую ситуацию для предприятия.

Развитие в этом направлении позволит не только получить энергосберегающий эффект, но и снизить себестоимость продукции, за счет снижения энергетической составляющей, тем самым повысив конкурентоспособность производимой продукции. Данное обстоятельство является

немаловажным для предприятия машиностроительного комплекса в условиях вступления Российской Федерации во Всемирную торговую организацию и появления дополнительного конкурентного давления за счет снижения таможенных тарифов.

**Список используемой литературы:**

1. Постановление Правительства РФ от 04.05.2012 N 442 "О функционировании розничных рынков электрической энергии, полном и (или) частичном ограничении режима потребления электрической энергии»
2. Федеральный закон № 261 от 23 ноября 2009 г. «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности».

УДК 621.6.05

**Повышение энергоэффективности установок регазификации сжиженного углеводородного газа**

*Б.Н. Курицын, Н.Н. Осипова, С.С. Кузнецов*

*Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., г. Саратов, Россия*

*E-mail:st-kurator@mail.ru*

В статье приводятся результаты научных исследований по использованию комбинированной схемы регазификации сжиженного углеводородного газа в подземных резервуарных установках. Проведенные исследования показывают, что использование естественной испарительной способности резервуарных установок приводит к сокращению затрат в регазификацию сжиженного углеводородного газа в зависимости от климатической зоны эксплуатации до 59%.

В настоящее время на территории Российской Федерации имеется значительное количество регионов и областей, не имеющих природного сетевого газа: Алтайский и Красноярский края, Читинская, Амурская и Омская области, республики Карелия и Бурятия и т.д. В значительной степени сложившаяся ситуация обусловлена удаленностью этих регионов от газовых месторождений и магистральных газопроводов, отсутствием крупных промышленных центров и малой плотностью населения. Аналогичная ситуация сохраняется и на обозримую перспективу. Отсутствие сетевого газа и невозможность прокладки магистральных газопроводов в перспективе, предопределяют широкое развитие в этих регионах альтернативных сервисных источников топливно-энергетических ресурсов на базе сжиженного углеводородного газа (СУГ). Применение сжиженного углеводородного газа в качестве энергоносителя для технологических установок, а также бытовых и хозяйственных нужд, в полной мере отвечает социальным, экологическим и санитарно-гигиеническим требованиям потребителей.

Перед подачей потребителю сжиженные углеводородные газы, как правило, подвергаются регазификации. В отечественной и зарубежной практике наиболее широкое распространение получила искусственная регазификация СУГ. Для искусственной регазификации сжиженного газа резервуарные установки оборудуются специальным теплообменником – испарителем, использующим в качестве энергоносителя горячую воду, водяной пар, продукты сгорания СУГ, или электроэнергию [1].

Важным резервом снижения энергопотребления при регазификации в резервуарных системах снабжения сжиженным газом, является перевод резервуарных установок на комбинированный режим испарения СУГ, позволяющий многократно использовать естественную испарительную способность самих расходных резервуаров [2].

Принципиальная схема комбинированной регазификации сжиженного углеводородного газа представлена на рис. 1.

Схема работает следующим образом. В начальный период эксплуатации паровая фаза СУГ, подаваемая потребителю, генерируется в самом расходном резервуаре 1 за счет естественной теплоты окружающего грунтового массива и теплоемкости резервуарной установки. По мере отбора паров происходит снижение температуры жидкой фазы СУГ и равновесного давления паровой подушки (режим естественной регазификации). При достижении в резервуаре 1 минимального давления  $P=0,15$  МПа (абс.) клапан-переключатель 3 на паровой фазе частично перекрывается, образовавшийся на клапане-переключателе 3 перепад давлений обеспечивает отбор из резервуара 1 одновременно и паровой и жидкой фаз (режим комбинированной регазификации СУГ).

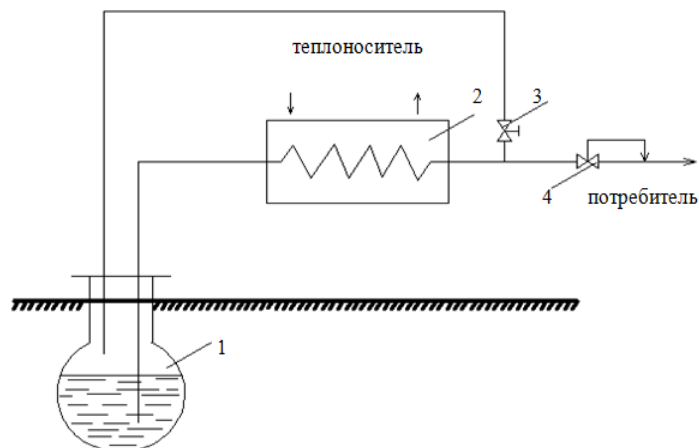


Рис. 1. Схема комбинированной регазификации сжиженного углеводородного газа:  
1 – расходный резервуар, 2 – проточный испаритель, 3 – клапан-переключатель, 4 – регулятор давления.

Для выявления эксплуатационных характеристик резервуарных установок при комбинированной регазификации СУГ были проведены теоретические и экспериментальные исследования [3, 4]. Результаты исследований по определению естественной испарительной способности подземных резервуаров СУГ приведены в таблице 1.

Таблица 1. Естественная испарительная способность резервуарных систем снабжения сжиженным газом при комбинированном отборе жидкой и паровой фаз.

Климатические зоны эксплуатации резервуарной установки	Доля естественной испарительной способности резервуарной установки %, при объеме резервуара, м <sup>3</sup>		
	3,0	3,8	4,7
умеренно-тёплая	47	51	59
умеренно-холодная	39	46	53
холодная	33	42	48

Как видно из таблицы 1, применение комбинированной регазификации сжиженного газа снижает энергопотребление испарительными установками на 33ч59%.

Перевод резервуарных установок на режим комбинированной регазификации СУГ требует дополнительных капитальных вложений в установку байпасного калапана-переключателя жидкой и паровой фаз. Однако эти капитальные вложения окупаются в течение короткого срока эксплуатации. Так, например, в резервуарных установках сжиженного газа, оборудованных электрическими испарителями срок окупаемости дополнительных капитальных вложений за счет ежегодной экономии электроэнергии, составляет не более 0,2 года.

#### Список используемой литературы:

1. Курицын Б.Н. Системы снабжения сжиженным газом. – Саратов: изд-во Саратовского университета, – 1988. – 196 с.
2. Курицын Б.Н., Кузнецов С.С. Энергосберегающие системы резервуарного снабжения сжиженного газа // XXV Международная научная конференция ММТТ-25.– Саратов: СГТУ, – 2012. – С. 333 – 335.
3. Курицын Б.Н., Кузнецов С.С. Исследование тепломассообмена в подземных резервуарах сжиженного газа // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона: сб. науч. тр. по материалам второй Всероссийской научно-практической конференции. – Саратов: СГТУ, – 2012. – С. 112 – 114.
4. Курицын Б.Н., Осипова Н.Н., Кузнецов С.С. Использование комбинированной регазификации сжиженного углеводородного газа для повышения экономичности эксплуатации резервуарных систем газоснабжения //VIII Mezinarodni vedecko-prakticka conference. – Прага, – 2012. – С. 108 – 109.

УДК 621.311.65

**Компенсация реактивной мощности в сетях с нелинейной нагрузкой****А.А. Минаева, В.И. Пантелеев, Е.В. Платонова***Политехнический институт, Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия***E-mail: Aleggendr@mail.ru**

Показана методика расчета сети с нелинейной нагрузкой на примере тяговой подстанции, позволяющая на основе анализа частотной характеристики входного сопротивления  $Z_{ex}=f(\nu)$  определять спектры токов и напряжений в элементах сети, а также оценивать уровни активных потерь и перегрузки компенсирующих устройств токами высших гармоник.

Наиболее распространенными устройствами компенсации реактивной мощности в настоящее время являются конденсаторные батареи (КБ), применение которых в тяговых сетях наряду с повышением коэффициента мощности ( $\cos \varphi$ ) вызывает затруднения в обеспечении требуемого ГОСТ 13109-97 качества напряжения по критерию несинусоидальности (коэффициента несинусоидальности напряжения  $K_{нсu}$ ) в районных электрических сетях напряжением 35(10) кВ, запитанных от обмоток среднего напряжения (СН) трансформаторов тяговых подстанций. Снижение качества напряжения сопровождается увеличением общего уровня активных потерь, что обусловлено появлением добавочных потерь от протекания токов высших гармоник во всех элементах сети. Потери от высших гармоник в целом могут быть соизмеримы с суммарными активными потерями и представляют собой значительный потенциал для повышения энергоэффективности.

Одним из недостатков применения КБ при компенсации реактивной мощности является вероятность возникновения резонансных явлений в сетях 27,5 кВ и 35 кВ тяговых подстанций. Резонансный контур образуется путем параллельного или последовательного соединения емкостных элементов КБ с индуктивными элементами (трансформаторы, питающие линии и т.д.). На резонансной частоте индуктивное сопротивление  $X_{L(n)}$  и емкостное сопротивление  $X_{C(n)}$  равны, то есть  $n\omega L=1/(n\omega C)$ , где  $X_{L(n)}=n\omega L$  – входное сопротивление сети в точке подключения КБ, сопротивление которой  $X_{C(n)}=1/(n\omega C)$ . Резонансные явления приводят к преждевременному выходу из строя самих КБ и к резкому увеличению активных потерь в сети.

Авторами были проведены исследования ПКЭ на четырех тяговых подстанциях переменного тока Абаканской дистанции электроснабжения Красноярской железной дороги, где тяговая сеть была выполнена традиционно. Одна из вторичных обмоток силового трансформатора питает тяговую нагрузку 27,5 кВ, а вторая - напряжением 35(10) кВ - питает районную сеть. В результате исследований было выявлено резонансные явления на каждой подстанции.

Это говорит о том, что на этапе проектирования подстанций из-за несовершенства методик расчета несинусоидальных режимов, применяемых при выборе параметров компенсирующих устройств (КУ), была неверно оценена требуемая мощность КБ, ее сопротивление и место подключения.

Предлагаемая в настоящей работе альтернативная практическая методика позволяет на основе анализа частотной характеристики (ЧХ) входного сопротивления сети  $Z_{вх}$  определять спектры токов и напряжений в элементах сети, а также оценивать уровни активных потерь и перегрузки КУ токами высших гармоник при выборе КБ и фильтрокомпенсирующих устройств (ФКУ) на подстанциях, имеющих нелинейную нагрузку.

Вид ЧХ типа  $Z_{ex} = f(\nu)$  зависит от узла расчетной схемы и ее параметров. Расчеты ЧХ для сложных разветвленных схем СЭ производится средствами Mathcad 2000 Professional и с помощью разработанной программы для расчета нормальных и резонансных режимов в системе Delphi, где на основе ввода паспортных данных элементов сети можно оценивать уровень высших гармоник.

В качестве примера использования предложенной методики приведем анализ качества напряжения и выбор варианта КУ для одной из тяговых подстанций Красноярской железной дороги (подстанция «Камышта»).

Однолинейная схема подстанции приведена на (рис. 1 (а)), а ее расчетная схема - на (рис. 1 (б))

В схему замещения для расчета ЧХ входного сопротивления  $Z_{ex} = f(\nu)$  включены:

$Z_{c\nu}$  - сопротивление питающей системы;  $Z_{TB\nu}, Z_{TC\nu}, Z_{Tl\nu}$  - сопротивления обмоток высокого, среднего и низкого напряжения трансформатора;  $Z'_{l\nu}$  - сопротивление обобщенной нагрузки на

стороне 35 кВ;  $Z_{КБv}$  и  $Z_{p v}$  - сопротивления конденсаторной батареи типа КЭК-1,05-75-2У3 мощностью 3,85 МВА и реактора РБКА-200, установленных в настоящее время на подстанции;  $Z_{ФКУv}$  - эквивалентное сопротивление рекомендуемого нами к установке ФКУ, в состав которого входит фильтры 5-й, 7-й, 9-й, 11-й гармоник и широкополосный фильтр, настроенный на 13-15-ю гармоники, суммарная мощность, генерируемая ФКУ, эквивалентна мощности, генерируемой конденсаторной батареей, установленной в настоящее время на подстанции;  $J_v$  - суммарный спектр тока, генерируемый тяговой нагрузкой.

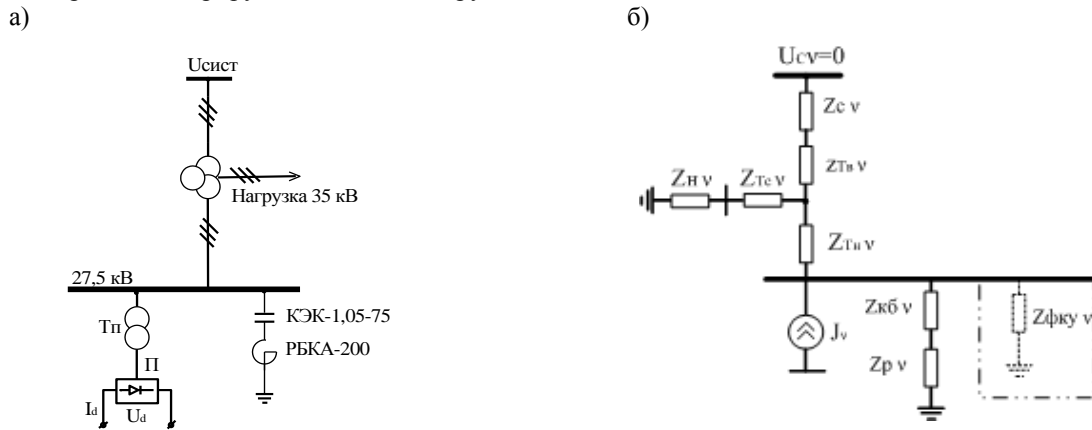


Рис. 1. Однолинейная схема и схема замещения подстанции «Камышта».

На (рис. 2) представлены ЧХ входного сопротивления сети относительно шин 27,5 кВ для случая отсутствия КУ, случая подключения КБ и реактора (действующая схема) и случая подключения ФКУ (рекомендуемая схема).

При отсутствии ФКУ

$$Z_{вхv} = \frac{Z_{1v} \cdot Z_{2v}}{Z_{1v} + Z_{2v}} + Z_{3v}$$

где

$$Z_{1v} = Z_{cv} + Z_{TBv} \quad Z_{2v} = Z_{TCv} + Z_{Hv} \quad Z_{3v} = Z_{THv}$$

При подключении КБ

$$Z_{вхv}(КБ) = Z_{4v} \cdot \frac{(Z_{1v} \cdot Z_{2v} + Z_{3v} \cdot Z_{1v} + Z_{3v} \cdot Z_{2v})}{(Z_{1v} \cdot Z_{2v} + Z_{3v} \cdot Z_{1v} + Z_{3v} \cdot Z_{2v} + Z_{4v} \cdot Z_{1v} + Z_{4v} \cdot Z_{2v})}$$

где

$$Z_{4v} = Z_{КБv} + Z_{pv}$$

и при подключении ФКУ

$$Z_{вхv}(ФКУ) = Z_{5v} \cdot \frac{(Z_{1v} \cdot Z_{2v} + Z_{3v} \cdot Z_{1v} + Z_{3v} \cdot Z_{2v})}{(Z_{1v} \cdot Z_{2v} + Z_{3v} \cdot Z_{1v} + Z_{3v} \cdot Z_{2v} + Z_{5v} \cdot Z_{1v} + Z_{5v} \cdot Z_{2v})}$$

где

$$Z_{5v} = Z_{ФКУv}$$

Вид ЧХ с включением на подстанции КБ (действующая схема) свидетельствует о резонансном усилении 7-й гармоники токов и напряжений вследствие появления полюса ЧХ на резонансной частоте.

Очевидно, что с включением КБ в качестве КУ имеет место усиление 5-й гармоники тока в 2,32 раза, 7-й гармоники тока - в 5,93 раза, а потери активной мощности на этих частотах превышают потери на основной частоте в 5,39 и 35,15 раза соответственно.

Суммарные потери от протекания токов всех гармоник в сети возрастают в 44,31 раза и практически равны величине активных потерь на основной частоте.

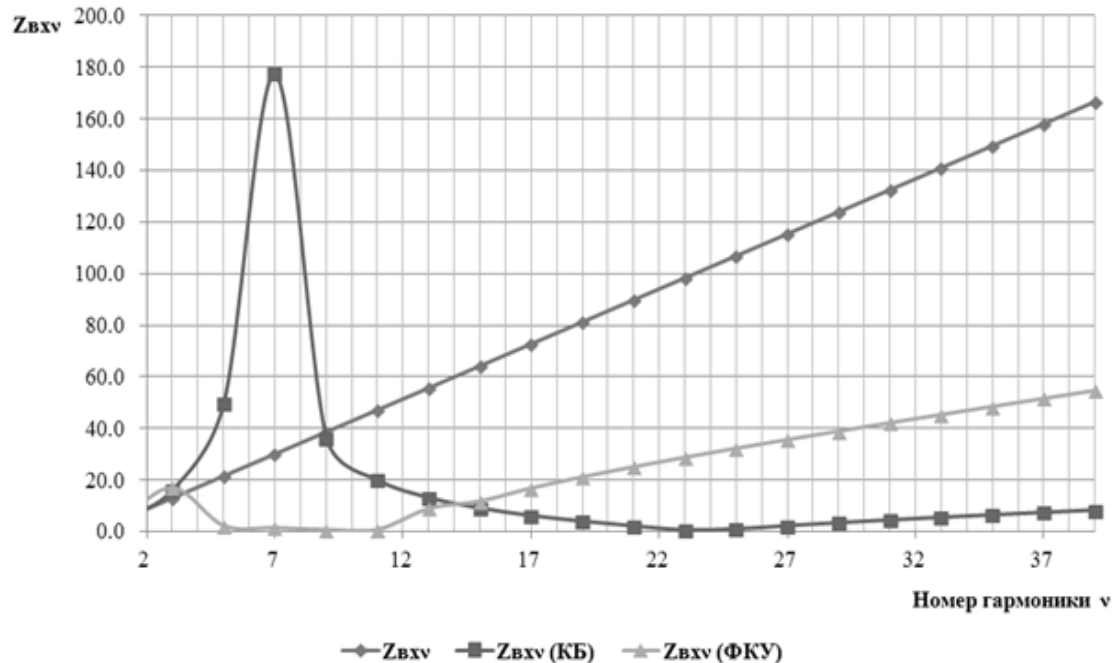


Рис. 2. Частотные характеристики входного сопротивления сети.

Рекомендуемое к установке ФКУ, как видно на рисунке 2, позволяет практически полностью исключить протекание в сети токов 5-й, 7-й, 9-й, 11-й гармоник и существенно снизить величины гармоник более высокого порядка. Несмотря на некоторое увеличение гармоник высокого порядка по сравнению с вариантом установки КБ в качестве КУ, суммарные потери активной мощности от протекания токов высших гармоник возрастают только в 3,92 раза и не превышают значений нормируемых ГОСТ 13109-97, что свидетельствует о существенно более высокой эффективности применения ФКУ в качестве КУ при той же генерируемой реактивной мощности.

#### Список используемой литературы:

1. Дьяконов В.П., Абраменкова И.В. MathCAD 2000 в математике, физике и в Internet», Нолидж, – 2001. – 592 с.
2. Жежеленко И.В. Показатели качества электроэнергии и их контроль на промышленных предприятиях. – М.: Энергоатомиздат, – 1986. – 168 с.
3. Иванов В.С. . Метод расчета несинусоидальности напряжения и исследование резонансных явлений на высших гармониках в сети внутрезаводского электроснабжения при работе вентельных преобразователей. Автореферат. – М.: МЭИ. – 1978.
4. Минина А.А., Е.В. Платонова Е.В. Исследование несинусоидальности напряжения на тяговых подстанциях переменного тока. Сборник материалов, – Томск: – Изд-во ТПУ, – 2010. – 345 с.
5. Минина А.А., Пантелеев В.И., Обеспечение электромагнитной совместимости при компенсации реактивной мощности на тяговых подстанциях переменного тока. Сборник материалов, –Тольятти: – ТГУ, – 2011. – 215 с.

УДК 621.31.006.91

#### Повышение эффективности работы ТТ в АИИС КУЭ

*Н.Е. Миронюк, А.А. Алексеев*

*ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет», г. Екатеринбург, Россия*

Энергосбережение, эффективность работы энергоэнергетических систем во многом зависят от того насколько правильно учитываются и контролируются выработка и потребление электроэнергии. А это в свою очередь связано с достоверными и надёжными результатами измерений, а следовательно с метрологическими характеристиками средств измерений (СИ) электроэнергии их надёжной работой, автоматизацией процессов измерения электроэнергии. Поэтому для решения задач измерения и учёта электроэнергии внедряются автоматизированные



информационно-измерительные системы коммерческого учёта электроэнергии (АИИС КУЭ). Эти системы аттестуются, для них разрабатываются методики измерений [1-2], на основании которых системам приписываются метрологические характеристики. Согласно этим методикам точность измерения в основном определяется классами точности СИ (измерительных трансформаторов тока (ТТ) и напряжения, счётчиков и т. д.), входящих в состав каналов АИИС. Поэтому, повышение точности (в разумных пределах), каждого из этих СИ, позволяет улучшить метрологические характеристики АИИС, повысить эффективность учёта электрической энергии.

Целью работы является повышение метрологических характеристик типовых трансформаторов тока в установившихся режимах без изменения их конструктивных параметров.

Рассмотрим причины происхождения систематических составляющих погрешностей ТТ, эквивалентная схема которого приведена на рис.1.

Из этой схемы следует, что вектор первичного тока  $I_1^*$  отличается от вторичного  $I_2$  на вектор тока намагничивания  $I_0$ , который задаёт уровень погрешностей ТТ. Эти погрешности подразделяются на основные и дополнительные. Основные погрешности определяют при номинальной нагрузке, синусоидальном первичном токе, размагниченном сердечнике и нормальных температурных условиях ( $20^\circ\text{C}$ ). Дополнительные погрешности при заданных конструктивных параметрах ТТ зависят от магнитного состояния сердечника (размагничен или нет), изменения вторичной нагрузки, относительно номинального значения и температуры окружающей среды относительно нормальных условий, несинусоидальности первичного тока[3]. Кроме того, учитывая метрологические характеристики эталонных средств поверки (калибровки), можно утверждать, что перечень основных значимых величин, влияющих на дополнительные погрешности ТТ, фактически на этом исчерпывается.

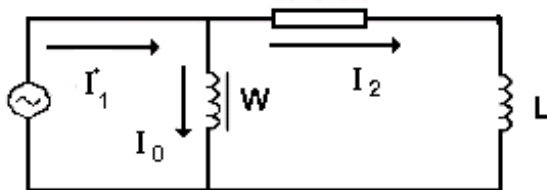


Рис.1.

На примере трансформатора ТОЛ-10 класса точности 0.5 показана возможность оценки основных и дополнительных погрешностей для каждой из перечисленных выше влияющих величин. В таблице 1 приведены составляющие погрешностей ТТ при номинальной нагрузке. В столбцах таблицы 3 приведены значения основных (2 и 3), дополнительных (столбцы 4-6) и пределы суммарных (7,8) погрешностей ТОЛ-10 при номинальной вторичной нагрузке с коэффициентом мощности 0,8. Верхний и нижний пределы суммарных погрешностей рассчитывались соответственно путём сложения и вычитания по модулю основных и дополнительных погрешностей. Усреднённые значения с обратным знаком между верхним и нижним пределами принимались за поправочные кривые токовой и угловой погрешностей в зависимости от значений первичного тока. Разность между ординатами точек кривых и предельными значениями представляют неисключенные систематические остатки погрешностей (НСП), которые согласно [4] относятся к случайным величинам со знаком  $\pm$ .

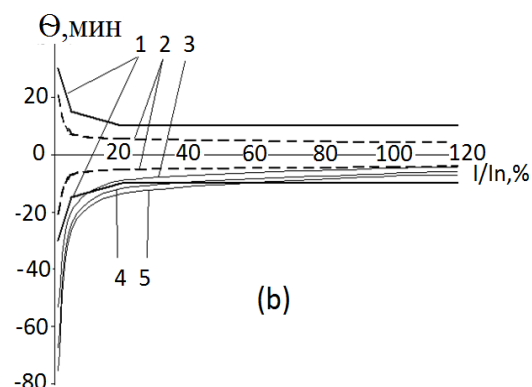
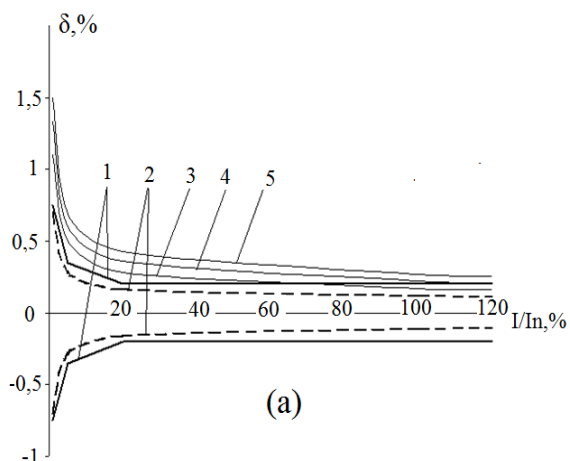
Таким же образом оценивались пределы верхней и нижней границ фактических погрешностей трансформатора ТОЛ-10 во всём диапазоне изменения вторичной нагрузки. Отличие заключается в том, что за основные принимались погрешности, обусловленные влиянием нагрузки и остаточной намагниченности сердечника, а за дополнительные – влиянием остальных величин. При построении кривых верхних и нижних границ в зависимости от кратности первичного тока аддитивно учитывались дополнительные погрешности, расширившие интервал между ними.

Оценка пределов суммарных погрешностей для ТОЛ-10 позволила улучшить его метрологические характеристики до уровня класса точности 0,5s. Точность ТОЛ 10 возможно повысить ещё на два класса, если диапазон вторичной нагрузки  $S_2=(2,5\text{ч}10)\text{BA}$  разбить на три поддиапазона:  $7,5\leq S_2\leq 10$ ;  $5\leq S_2\leq 7,5$ ;  $2,5\leq S_2\leq 5$ . В этом случае потребовалось шесть поправочных кривых по две в каждом поддиапазоне - для токовой и угловой погрешностей. Эти кривые приведены на рис. 2 (а, б). При правильно выбранном поддиапазоне (то есть, фактическая

вторичная нагрузка не должна выходить за пределы интервала соответствующего поддиапазона нагрузок) ТТ может работать по классу точности 0,2s. Количество таких поддиапазонов может быть любым и выбираться, исходя из технических условий или требований для ТТ.

Таблица 1. Составляющие погрешностей ТОЛ-10.

1	2				3				4				5				6				7				8			
	Основные погрешности								Дополнительные погрешности								Суммарные погрешности											
	При размагниченном сердечнике, синусоидальном токе и температуре 20 °С,				При намагниченном сердечнике с максимальной остаточной индукцией, синусоидальном токе и температуре 20 °С.				Пределы погрешностей ТТ при синусоидальном токе размагниченном сердечнике в интервале температур от -40 до +40 °С относительно погрешностей при температуре 20 °С				Пределы погрешностей ТТ при 20 °С и 30% третьей гармонической составляющей относительно погрешностей при синусоидальном токе				Допускаемые погрешности и рабочего эталона кл. точности 0.05				Нижний предел				Верхний предел			
Кратность первичного тока ( $I_1/I_{1н}$ ), %	$\delta$ , %	$\theta$ , мин	$\delta$ , %	$\theta$ , мин	$\delta$ , %	$\theta$ , мин	$\delta$ , %	$\theta$ , мин	$\delta$ , %	$\theta$ , мин	$\delta$ , %	$\theta$ , мин	$\delta$ , %	$\theta$ , мин	$\delta$ , %	$\theta$ , мин	$\delta$ , %	$\theta$ , мин	$\delta$ , %	$\theta$ , мин	$\delta$ , %	$\theta$ , мин	$\delta$ , %	$\theta$ , мин				
	1	-2,0	59	-2,30	69	$\pm 0,04$	$\pm 4,0$	$\pm 0,04$	$\pm 3,0$	$\pm 0,2$	$\pm 10$	-2,58	42	-1,82	86,0													
5	-0,80	14	-0,96	20	$\pm 0,02$	$\pm 1,1$	$\pm 0,03$	$\pm 2,0$	$\pm 0,1$	$\pm 5$	-1,11	6,9	-0,65	28,5														
20	-0,46	5,9	-0,59	10	$\pm 0,01$	$\pm 0,5$	$\pm 0,01$	$\pm 1,4$	$\pm 0,05$	$\pm 3$	-0,66	1	-0,39	14,9														
100	-0,29	3,0	-0,38	5,3	$\pm 0,01$	$\pm 0,4$	$\pm 0,01$	$\pm 0,6$	$\pm 0,05$	$\pm 3$	-0,45	-1	-0,22	9,3														
120	-0,27	2,9	-0,37	5,1	$\pm 0,01$	$\pm 0,4$	$\pm 0,01$	$\pm 0,5$	$\pm 0,05$	$\pm 3$	-0,44	-1	-0,20	9,0														



- 1 Границы погрешностей класса точности 0.2s
- 2 Погрешности ТТ после внесения поправок
- 3 Кривая вносимых поправок в интервале нагрузок 2,5-5,0 ВА

4 Кривая вносимых поправок в интервале нагрузок 5,0-7,5 ВА

5 Кривая вносимых поправок в интервале нагрузок 7,5-10 ВА

Рис. 2. Токовые (а) и угловые (б) погрешности ТОЛ-10.

#### Заключение

Для оценки систематических погрешностей ТТ требуются дополнительные устройства: генератор несинусоидального тока и устройство намагничивающее сердечник ТТ. После внесения в результат измерений оценённых поправок точность ТТ повышается на один класс.

Разбиение диапазона изменения вторичных нагрузок в пределах (0,25-1)Z<sub>n</sub> на поддиапазоны позволяет дополнительно снизить погрешности ТТ.

На примере трансформатора ТОЛ-10 показано, что после разбиения вторичной нагрузки на три поддиапазона и внесении в результат измерений корректирующих поправок его класс точности возрастает с 0.5 до 0.2S.

#### Список используемой литературы:

1. РД 34.11.333-97 Типовая методика выполнения измерений количества электрической энергии.
2. МИ 2808 ГСИ. Количество электрической энергии. Методика выполнения измерений при распределении небалансов на ОРЭ;
3. Миронюк Н.Е., Дидик Ю.И., Гилёв Ю.В., Бабкин В.В., Раскулов Р.Ф., Эткинд Л.Л. Влияние искажений синусоидальной формы кривых тока и напряжения на погрешности измерительных трансформаторов. – Электричество, – 2005, – № 2. – С. 31 – 35.
4. РМГ 29-99 ГСИ. Метрология. Основные термины и определения.

#### К вопросу о внедрении распределенной генерации: интерфейс с распределительной системой

*Я.Э. Шклярский, О.И. Цинкович, Е.О. Замятин*

*Горный университет, г. Санкт-Петербург, Россия*

*E-mail: [tsinkovich\\_o@mail.ru](mailto:tsinkovich_o@mail.ru)*

Рассмотрены проблемы интерфейса установок распределенной генерации, показаны возможные схемотехнические решения при построении микросетей, указаны достоинства структуры с одним преобразователем.

Распределенная генерация является важной частью концепции по созданию «интеллектуальных» сетей *Smart Grid* [1]. В более узком смысле под распределенной генерацией подразумевается создание микросетей (*microgrids*), в том числе с использованием возобновляемых источников энергии (далее ВИЭ).

Внедрение распределенной генерации вызывает ряд сложностей при проектировании и эксплуатации энергосистемы.

Во-первых, необходимо определить максимальный объем распределенной генерации (в кВт), не вызывающий аварийных ситуаций (перегрузок системы, провалов напряжения, перенапряжений) или неприемлемых колебаний показателей качества электроэнергии, а также обеспечить корректную работу средств РЗА сети и АСУ генерирующей установки. Правильный выбор алгоритмов управления и защиты позволяет «смягчить» ограничения и повысить мощность внедряемых установок распределенной генерации и оптимизировать режим их работы. Также необходимо отметить, что внедрение распределенной генерации приводит к двунаправленному потоку мощности: конечный потребитель может не только импортировать электроэнергию, но и поставлять ее. В связи с этим, генерирующая установка рассматривается в качестве «отрицательной нагрузки» [2].

Во-вторых, при использовании ВИЭ следует принимать в расчет переменный характер производства энергии. В зависимости от вида первичного источника, колебания могут происходить в суточном, недельном или сезонном масштабе. При этом, как в случае солнечной энергии, пик производительности установки может сильно не совпадать с пиком потребления.

В-третьих, важно выбрать технологию интерфейса источника энергии с распределительной системой, для того чтобы удовлетворить требования, предъявляемые к качеству энергии, а также обеспечить управляемость установки распределенной генерации. Также выбор интерфейса является ключевым шагом на пути к достижению возможности использовать различные источники энергии в режиме *plug-and-play*.

Например, в случае солнечной энергии использование модульных устройств силовой электроники для интерфейса с сетью увеличивает надежность и эффективность по сравнению с использованием централизованного устройства, в виду того, что солнечные панели в установке подвержены разному излучению, имеют место отличия в панелях даже одного производителя и т.п. [2]. Один из вариантов интерфейса представлен на рис. 1.

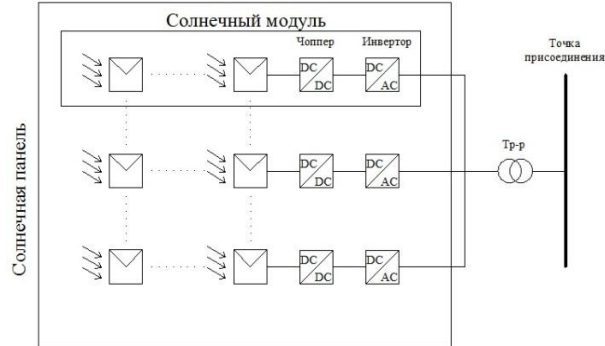


Рис. 1. Интерфейс солнечной панели по средствам модульных преобразователей.

Другой вариант, с одним инвертором на группу модулей, включающих солнечные элементы и  $DC-DC$  преобразователь, более подробно рассматривается в [3]. Там же приведены основные достоинства структуры с одним преобразователем на один солнечный модуль. К ним относятся:

- лучшая управляемость;
- возможность применять модули с различными характеристиками, не ставя под угрозу надежность и производительность целой установки;
- лучшая защита отдельных источников энергии;
- возможность функционирования при отказе источника энергии или преобразователя;
- снижение расходов на создание вторичных систем (управление, измерения, защита и т.д.), а также уменьшение мощности преобразователей.

В качестве  $DC-DC$  преобразователей рассматриваются вольтодобавочный, понижающий, промежуточный вольтодобавочный преобразователи и преобразователь Чука.

В [4] рассмотрена структура установки распределенной генерации (рис. 2), включающей накопитель энергии, который позволяет решить проблему разности динамических характеристик источников энергии и требований потребителя и обеспечить необходимое качество. Также использование накопителей энергии помогает достичь унификации в отношении применения источников энергии разной природы.

Токовременные диаграммы для данной структуры представлены на рис. 3.

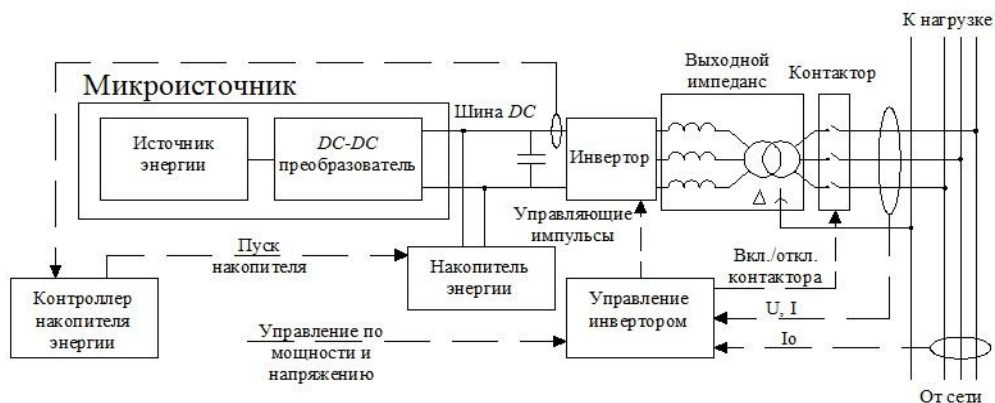


Рис. 2. Вариант структуры установки распределенной генерации.

В момент времени  $t_1$  резко возрастает нагрузка, микроисточник и накопитель обеспечивают необходимую мощность. На первой диаграмме видно, что входной ток инвертора резко возрастает с  $i_{11}$  до  $i_{12}$  в ответ на рост нагрузки. Выходной ток источника  $i_s$  возрастает с  $i_{11}$  до  $i_{12}$  с заранее заданной скоростью  $R_1 = di_s/dt$ , которая регулируется контроллером накопителя

энергии. Накопитель же обеспечивает ток, равный разнице между током нагрузки и источника. Потеря энергии накопителем при разряде показана на последней диаграмме. В момент времени  $t_2$  начинается процесс зарядки и источник обеспечивает энергией и нагрузку и накопитель. Ток зарядки  $i_{SM}$ , в период времени  $t_2-t_3$  ограничен значением  $-I_{SM(max)}$ , а в период времени  $t_3-t_4$  пропорционален недостатку энергии в накопителе  $\Delta E_{SM}$ . В момент времени  $t_4$  накопитель полностью заряжен. Нагрузка возвращается к первоначальному значению в момент времени  $t_5$ , ток источника  $i_s$  уменьшается со скоростью  $R_2=di_s/dt$ , которая во много раз выше чем  $R_1$  и зависит от метода снижения энергии микроисточника, например, тормозные резисторы. В идеальном случае, ток  $i_s$  должен уменьшаться с той же скоростью, чтобы избежать значительных перенапряжений в звене постоянного тока. Ток зарядки  $i_{SM}$  не равен нулю после снижения тока нагрузки в том случае, если период зарядки окончен.

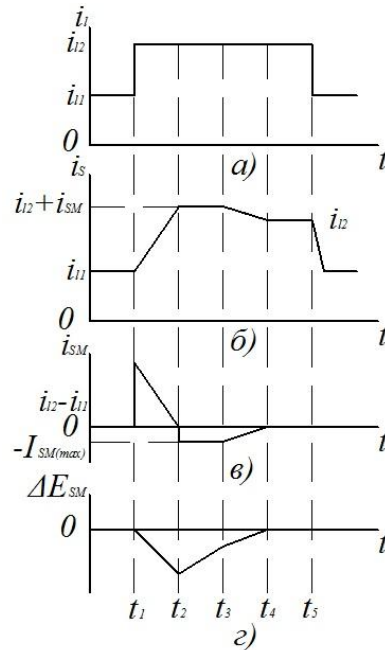


Рис. 3. Токвременные диаграммы работы установки распределенной генерации: а) ток нагрузки через инвертор; б) постоянный ток от источника; в) ток накопителя; г) разница между энергией накопителя и энергией в полностью заряженном состоянии.

Как видно, существует ряд схмотехнических решений относительно интерфейса между установками распределенной генерации и распределительной системой. Правильный выбор структуры позволяет повысить эффективность работы источника и установки в целом, что крайне важно при использовании ВИЭ.

#### Список используемой литературы:

1. IEC Smart Grid Standardization Roadmap [http://www.iec.ch/smartgrid/downloads/sg3\\_roadmap.pdf](http://www.iec.ch/smartgrid/downloads/sg3_roadmap.pdf)
2. Math H. Bollen, Fainan Hassan. Integration of Distributed Generation in the Power System. 2011.
3. Geoffrey R. Walker, Paul C. Sernia. Cascaded DC-DC Converter Connection of Photovoltaic Modules. IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, VOL. 19, NO. 4, JULY 2004.
4. H. Nikkhajoei and R.H. Lasseter. Distributed generation interface to the CERTS microgrid.

УДК 621.316.1.017

#### Модель определения потерь мощности и энергии на основе коэффициентов распределения с учетом комплексного регулирования режимных параметров

***В.С. Павлюков, С.В. Павлюков, Е.В. Чепухин***

*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 с учетом комплексного регулирования параметров режима. Представлены результаты экспериментальных исследований.

Развитие электроэнергетики в современном направлении и новые отношения между субъектами производства, распределения и потребления электроэнергии требуют разработок адекватных моделей для решения различных задач, в том числе и задачи определения потерь мощности и энергии, которые должны обеспечивать качественное и эффективное управление технологическими процессами в электрической системе [1].

Наиболее перспективное направление для разработок как линейных, так и нелинейных моделей поставленной задачи открывает универсальность свойств матрицы  $\mathbf{C} = \mathbf{C}' + \mathbf{jC}''$  коэффициентов распределения [2].

Рассмотрим моделирование режимной информации в виде вектора-функции графиков полных мощностей за некоторый дискретный интервал времени  $T$

$$\mathbf{s}(t) = \left[ \underline{s}_v(t) \right] = \left[ p_v(t) + \mathbf{j}q_v(t) \right], \quad (v = \overline{1, n} \text{ — число независимых узлов в схеме сети}) \quad (1)$$

или в виде узловых токов [3]

$$\mathbf{j}(t) = \left[ \underline{j}_v(t) \right] = \mathbf{j}'_v(t) + \mathbf{j}''_v(t). \quad (2)$$

Представим модель потерь на основе узловых токов в детерминированной форме  $\mathbf{J} = \left[ \underline{j}_v \right]$  [3], определяющую распределение комплексных токов  $\mathbf{i}_{kV}$  по ветвям  $kV$  схемы электрической сети по выражению

$$\mathbf{i}_{kV} = \mathbf{c}_{kV} \mathbf{j}_V = \mathbf{i}'_{kV} + \mathbf{j}''_{kV}, \quad (k = \overline{1, \hat{a}}; \hat{a} \text{ — количество ветвей в схеме}), \quad (3)$$

где  $\mathbf{i}'_{kV} = \mathbf{c}'_{kV} \mathbf{j}'_V - \mathbf{c}''_{kV} \mathbf{j}''_V$ ,  $\mathbf{i}''_{kV} = \mathbf{c}'_{kV} \mathbf{j}''_V + \mathbf{c}''_{kV} \mathbf{j}'_V$  — соответственно действительная и мнимая составляющие вектора токораспределения в схеме электрической сети.

Матричное выражение в комплексной форме для токораспределения по ветвям электрической схемы на основе(3) имеет следующий вид

$$\mathbf{I} = \mathbf{I}' + \mathbf{jI}'' = \mathbf{CJ}. \quad (4)$$

В развитии современных энергосберегающих технологий все более актуальной становится задача снижения потерь электроэнергии.

Действенной мерой снижения потерь электроэнергии может являться коррекция токораспределения (4) соответствующим изменением режимных параметров в ветвях и узлах одновременно, или только в ветвях или узлах. Допустим, используя последний подход, осуществим в матричном уравнении (4) корректировку вектора задающего узлового тока  $\mathbf{J}$  путем ввода матрицы-столбца в виде произведения  $\mathbf{Y}_{VR} \mathbf{E}_{VR}$ , в котором  $\mathbf{Y}_{VR} = \mathbf{G}_{VR} + \mathbf{jB}_{VR} = \left[ g_{VR_{kv}} \right] + \mathbf{j} \left[ b_{VR_{kv}} \right]$  — блок матрицы узловых проводимостей  $\mathbf{Y}$ , формируемый из проводимостей ветвей, соединяющих элементы с регулирующим эффектом с электрической схемой;  $\mathbf{E}_{VR}$  — вектор-столбец Э.Д.С. в ветвях электрической схемы, моделирующий режимные элементы векторного(продольно-поперечного) воздействия под нагрузкой на активные и пассивные параметры режима ( $\mathbf{U}$  — вектор напряжений,  $\mathbf{X}$ ,  $\delta$  — угол между векторами напряжений),

$$\mathbf{E}_{VR} = \mathbf{E}'_{VR} + \mathbf{jE}''_{VR} = \left[ e'_{VR_{kv}} \right] + \mathbf{j} \left[ e''_{VR_{kv}} \right].$$

Корректирующие инъекции, вызванные регулирующим эффектом (например, трансформацией в ветви  $kV$  или другими явлениями) будут иметь вид:

$$i'_{VR_{kv}} = g_{VR_{kv}} e'_{VR_{kv}} - b_{VR_{kv}} e''_{VR_{kv}}, \quad (5)$$

$$i''_{VR_{kv}} = g_{VR_{kv}} e''_{VR_{kv}} + b_{VR_{kv}} e'_{VR_{kv}}. \quad (6)$$

На основе метода наложения векторы-столбцы действительных и мнимых составляющих токов (4) с учетом выражений (5), (6), представим следующими формулами

$$\mathbf{I}' = \mathbf{C}' \mathbf{J}' - \mathbf{C}'' \mathbf{J}'' + \mathbf{G}_{VR} \mathbf{E}'_{VR} - \mathbf{B}_{VR} \mathbf{E}''_{VR}, \quad (7)$$

$$\mathbf{I}'' = \mathbf{C}' \mathbf{J}'' + \mathbf{C}'' \mathbf{J}' + \mathbf{G}_{VR} \mathbf{E}''_{VR} + \mathbf{B}_{VR} \mathbf{E}'_{VR}. \quad (8)$$

Данный подход определения токораспределения обеспечивает наглядность и адресность составляющих токов в каждой ветви схемы электрической сети от соответствующих регулируемых режимных параметров, переписав (7,8) в раскрытом виде[3].

Потери полной мощности в питающей сети при известном токораспределении можно определить из выражения

$$\Delta S = \left( \mathbf{I}^* \right)^T \text{diag}(\mathbf{Z}) \mathbf{I} = \text{Re}(\Delta S) + j \text{Im}(\Delta S) = \pi + j q, \quad (9)$$

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 (9) имеет вид

$$\begin{aligned} \pi &= \text{Re}(\Delta S) = \text{Re} \left[ \left( \mathbf{I}^* \right)^T \text{diag}(\mathbf{Z}) \mathbf{I} \right] = \\ &= \text{Re} \left[ \left( (\mathbf{I}')^T - j(\mathbf{I}'')^T \right) \text{diag}(\mathbf{R} + j\mathbf{X})(\mathbf{I}' + j\mathbf{I}'') \right] = (\mathbf{I}')^T \mathbf{R} \mathbf{I}' + (\mathbf{I}'')^T \mathbf{R} \mathbf{I}''. \end{aligned} \quad (10)$$

Учитывая формулы (7), (8), потери активной мощности (9) в блочно-матричном виде для схемы сети запишутся следующим образом:

$$\pi = \begin{bmatrix} \mathbf{J}' \\ \mathbf{J}'' \\ \mathbf{E}'_{VR} \\ \mathbf{E}''_{VR} \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} \beta_{11} & \beta_{12} & \beta_{13} & \beta_{14} \\ \beta_{21} & \beta_{22} & \beta_{23} & \beta_{24} \\ \beta_{31} & \beta_{32} & \beta_{33} & \beta_{34} \\ \beta_{41} & \beta_{42} & \beta_{43} & \beta_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{J}' \\ \mathbf{J}'' \\ \mathbf{E}'_{VR} \\ \mathbf{E}''_{VR} \end{bmatrix}, \quad (11)$$

где  $\beta_{11} = \beta_{22} = [\mathbf{C}']^T \mathbf{R} \mathbf{C}' + [\mathbf{C}']^T \mathbf{R} \mathbf{C}''$ ;  $\beta_{12} = \beta_{21} = -[\mathbf{C}']^T \mathbf{R} \mathbf{C}'' + [\mathbf{C}'']^T \mathbf{R} \mathbf{C}'$ ;  $\beta_{13} = \beta_{31}^T = \beta_{24} = \beta_{42}^T = [\mathbf{C}']^T \mathbf{R} \mathbf{G}_{VR} + [\mathbf{C}'']^T \mathbf{R} \mathbf{B}_{VR}$ ;  $\beta_{14} = \beta_{41}^T = -\beta_{23} = -\beta_{32}^T = -[\mathbf{C}']^T \mathbf{R} \mathbf{B}_{VR} + [\mathbf{C}'']^T \mathbf{R} \mathbf{G}_{VR}$ ;  $\beta_{34} = \beta_{43}^T = -[\mathbf{G}_{VR}]^T \mathbf{R} \mathbf{B}_{VR} + [\mathbf{B}_{VR}]^T \mathbf{R} \mathbf{G}_{VR}$ ;  $\beta_{33} = \beta_{44} = [\mathbf{G}_{VR}]^T \times \times \mathbf{R} \mathbf{G}_{VR} + [\mathbf{B}_{VR}]^T \mathbf{R} \mathbf{B}_{VR}$ .

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%), снижение общих потерь по активной мощности в режиме максимальных нагрузок составило от 19,46 МВт(без применения современной технологии регулирования) до 14,62 МВт(в условиях применения указанных технологий). Полученные данные для выбора устройств по[1] будут зависеть от экономической стороны, которая активизирует соответствующий элемент управления режимами электрической сети.

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 (12)  $\mathbf{B}$  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.

Для данной задачи узловые нагрузки необходимо определять при всех ожидаемых режимах внутри рассматриваемого интервала времени  $T$ . При краткосрочном прогнозировании узловых нагрузок использовался аппарат ИНС (искусственных нейронных сетей). Уточнение параметров и уменьшение погрешности проводилось на базе многослойной сети. В качестве активационной функции использовалась сигмоида [4]

$$f(x) = 1 / (1 + e^{-x}),$$

где  $x$  – комбинированный сигнал для нейрона скрытого слоя.

Обучение сети проводилось с помощью алгоритма обратного распространения ошибок. Выполнение действий алгоритма производилось, начиная со случайной генерации весов многослойной сети. Во время продвижения по сети от входа к выходу рассчитываются комбинированные весовые суммы входных сигналов для текущего скрытого слоя нейронов и перевод данных сигналов к следующему слою с помощью обработки их функцией активации приведенной выше. Для элементов выхода рассчитывается совокупный входной и выходной сигналы. Начиная с выхода, выполняется обратное движение через нейроны скрытых слоев, предварительно вычислив значение ошибки, сравнением реальных и целевых величин исследуемых переменных на выходе. Для коррекции весов в сети на обратном ходе использовалось значение среднеквадратичной ошибки для указанных переменных. Процесс обучения носит циклический характер в виде эпох, в ходе которых минимизируется ошибка для заданной переменной или вектора переменных. После завершения обучения весовые коэффициенты фиксируются и проверяется работа сети на тестовых данных.

Рассмотренные модели (10), (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 использовании новых современных средств управления режимами.

#### Список используемой литературы:

1. Кочкин, В.И. Новые технологии повышения пропускной способности ЛЭП. Управляемая передача мощности // Новости ЭлектроТехники. – 2007. – № 4. – С. 2 – 6.
2. 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.
3. 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.
4. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. – М.: ИД Вильямс, – 2006. – 1104 с.

УДК 614.833.5

#### Безопасность установок конфекционирования в производстве гранулированного полиэтилена высокого давления

*М.В. Василевский, Д.В. Волкова*

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

*E-mail: [vasmix40@mail.ru](mailto:vasmix40@mail.ru)*

В работе проводится анализ механизмов образования пожаровзрывоопасной пыли в пневмотранспортных линиях технологии конфекционирования гранулированного ПЭВД, предложены технические решения, повышающие эффективность обеспыливания гранул и воздуха, а также выделения волокнистой примеси.

Основным промышленным методом производства ПЭВД является свободнорадикальная полимеризация этилена в массе при температуре 200-320 °С и давлениях 150-350 МПа [1].



Производства ПЭВД состоят из установок синтеза и установок конфекционирования. Конфекционирование включает обезвоживание и сушку гранул полиэтилена, распределение по анализным бункерам и определение качества полиэтилена, формирование партий в товарных бункерах, смешение, хранение; загрузку полиэтилена в цистерны и контейнера; расфасовку в мешки; дополнительная обработка - получение композиций полиэтилена со стабилизаторами, красителями, наполнителями и другими добавками. Полиэтилен, поступающий в экструдер, содержит до 0,2% этилена. Наличие этилена в гранулированном полиэтилене может приводить к взрывам и загораниям на стадии конфекционирования и дополнительной обработки. Поэтому необходима более полная дегазация полиэтилена. На действующих производствах ПЭВД она осуществляется продувкой сжатым воздухом гранул полиэтилена в бункерах хранения. Это приводит к дополнительным энергозатратам, загрязнению окружающей среды и потере части этилена.

Пневмотранспортные установки являются основным элементом технологии конфекционирования гранулированных полимерных материалов. При пневмотранспортировании порошкообразных материалов с низкой температурой плавления на внутренних поверхностях трубопроводов часто образуются пленки из этих материалов. Такое явление наблюдается при транспортировании органических красителей, химических средств защиты растений, глюкозы, серы, порошков термопластичных полимеров. Оно объясняется выделением тепловой энергии при соударениях частиц материала со стенками трубопровода, которой оказывается достаточно для расплавления частиц при скоростях потока 5-10 м·с<sup>-1</sup> [2]. При транспортировке гранулированных материалов образуется примесь в виде стружки, волокон, пыли, которая ухудшает качество товарного продукта [3]. Эти примеси загрязняют продукт и воздух, выбрасываемый в атмосферу. При пневмотранспортировке полиэтилена по трубам происходит износ гранул о стенки трубопроводов с образованием волокон и пыли полиэтилена. Образование волокон происходит за счет трения гранул во время скольжения их вдоль гладкой поверхности стенки трубопровода, срыва образовавшейся пленки, зависит от времени удара до времени отскока от поверхности. Пыль образуется от выкрашивании поверхности гранулы при ударе. В технологии конфекционирования на ООО «ТомскНефтехим» для уменьшения образования волокон стенки трубопроводов линий пневмотранспорта выполнены шероховатыми или с нарезкой на внутренней поверхности, что резко снижает вероятность образования волокон, но приводит к повышенному пылеобразованию. Гранулированный полиэтилен в процессе транспортирования, перемешивания может приобрести электрический заряд, адсорбировать на поверхности пыль. Силы прилипания мелких частиц зависят от их размеров, влажности воздуха, степени электризации. Силы прилипания растут с увеличением времени контакта и достигают максимального значения за время более 1 минуты. Эти силы зависят от площади контакта, которая в свою очередь зависит от размера и формы частиц. Эффект отрыва частиц воздушным потоком с поверхности гранул зависит от скорости обтекания гранул, размера и формы частиц. При обтекании слоя прилипших частиц может происходить удаление верхних частиц, а при значительных инерционных силах, действующих на гранулу, и отрыв слоя.

Пыль, поступившая в бункер, за счет сил электризации сепарируется на стенки, накапливается на них, образует рыхлые сгустки, которые после заполнения полиэтиленом емкости переходят в материал.

Трудности, возникающие при очистке гранул от примеси, определяют особенности конструкций аппаратов, предназначенных для удаления примеси из полиэтилена. Обязательными условиями удаления примеси должны быть следующие: движение гранул в аппарате с малой концентрацией, придание гранулам значительных ускорений для отрыва частиц с последующим их удалением потоком обтекающего воздуха. Поэтому аппараты, предназначенные для очистки гранул, должны иметь достаточно большие размеры для рассредоточения гранул в объеме, должны иметь элементы для придания гранулам значительных ускорений воздухом (повороты, расширения, грохоты, ударные приспособления). Существующие системы очистки гранулированного полиэтилена не позволяют достаточно эффективно отделять примеси от гранулята и очищать воздух от волокнистых примесей. Для отделения пыли от гранулята все устройства разгрузки пневмотранспорта выполнены в виде аппарата "зигзаг", в котором гранулы за счет удара о стенку, резкого изменения направления движения и расширения сечения аппарата теряют скорость и выпадают из потока воздуха транспортирования в бункер, а запыленный воздух транспортирования поступает на узлы пылеочистки. Сечение в аппарате "зигзаг" выбрано таким образом, что скорость воздуха ниже скорости витания гранул и выше скорости витания пыли [4].

На рис. 1 показана схема аппарата, устанавливаемого на приемных бункерах технологии конфекционирования ООО «ТомскНефтехим».

Рис. 1. 1 – Патрубок вывода воздуха с пылью, 2 – патрубок ввода пневмотранспорта гранулированного полиэтилена с примесью, 3 – патрубок вывода очищенного гранулированного ПЭВД в приемный бункер.

Для улучшения обеспыливания и уменьшения уноса гранул на пылеочистку, внутри аппарата "зигзаг" установлены отбойные лопатки. На рис. 2 показана схема обеспыливания гранулированного полиэтилена и воздуха на ООО «ТомскНефтехим»

В приведенной схеме пневмотранспорта гранулята полиэтилена запыленный воздух нагнетается в циклоны с последующей доочисткой в рукавном фильтре (рис. 2). Пыль полиэтилена осажается на внешней поверхности рукавов. Периодически внутрь рукавов подается импульс продувочного сжатого воздуха, вызывая вибрацию рукавов. При этом пыль стряхивается с ткани рукавов и собирается в пылеприемном бункере фильтра. Анализ работы этой установки показал, что из-за зависания примеси в циклоне она выносятся в фильтр, приводя к его забиванию, создавая большое противодавление в системе. Установка неустойчива в работе, требует ручного обслуживания, повышенных трудозатрат.

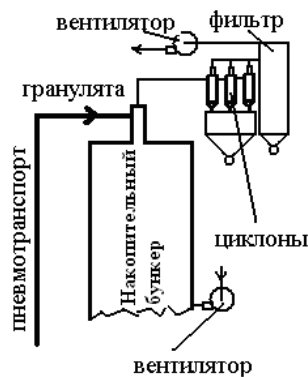
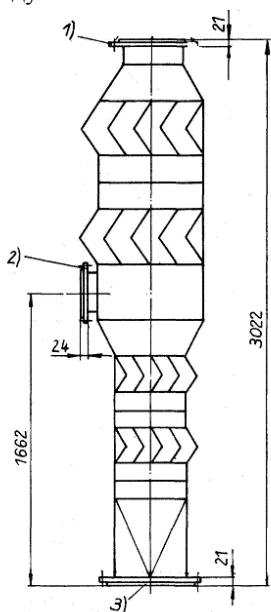


Рис. 2. Схема обеспыливания гранулированного полиэтилена и воздуха.

Предлагается метод очистки воздуха от наэлектризованной примеси, обладающий лучшими эксплуатационными характеристиками. Схема сепарации наэлектризованной полимерной примеси из воздушного потока показана на рис. 3 [5].

Пневмотранспортный поток которого воздух с примесью поступает в спиралевидный концентратор 1 (рис. 3). Часть пневмотранспортного потока (доли процента) с гранулятом, минуя накопительный бункер, направляется в концентратор 1, снабженный регулирующей заслонкой 3.

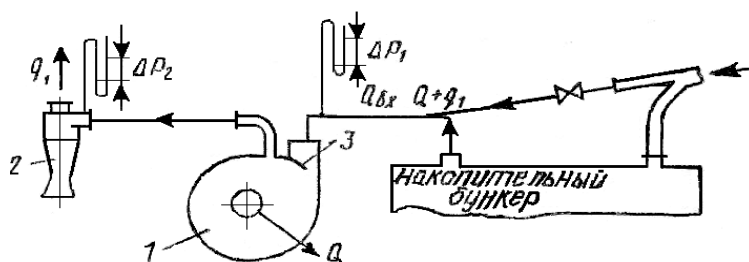


Рис. 3. Схема сепарации наэлектризованной полимерной примеси из воздушного потока [5].

Большая часть очищенного воздуха с расходом  $Q$  выходит из центрального патрубка концентратора 1. Незначительная часть воздуха с расходом  $q_1$  с повышенным содержанием частиц отводится в выносной циклон 2, где смесь примеси и гранул выделяется из потока. Очищенный воздух выбрасывается в атмосферу.

Скорость потока на входе в концентратор 1 регулируют заслонкой 3. Поток направляют со скоростью 20-25 м/с вдоль криволинейной поверхности концентратора. При скорости потока 20-25 м/с гранулы за счет сил упругости, Магнуса и центробежных сил интенсивно ударяются о

криволинейную поверхность концентратора, “размывают” жгуты, диспергируют сгустки примеси, которые входят в контакт с криволинейной поверхностью за счет электрических сил. При скорости потока выше 25 м/с наблюдается унос гранул в атмосферу из концентратора. Количество гранул должно быть таким, чтобы были охвачены все участки “обстрела” криволинейной поверхности и осуществлялось интенсивное взаимодействие с примесью, причем количество вводимых гранул зависит от содержания в примеси волокон, стружки, сгустков и их размеров.

По мере концентрирования примеси вдоль криволинейной поверхности концентратора, на поверхности образуется подстилающий слой из частиц примеси, который уменьшает рикошетирование гранулята, движущегося с незначительной амплитудой в прыжковом режиме. Подстилающий слой образуется при концентрации частиц примеси в отводимой части потока более 1 г/м<sup>3</sup>. При концентрации частиц примеси более 10 г/м<sup>3</sup> гранулы застревают в подстилающем слое, увеличивая трение слоя, ухудшается несущая способность потока вследствие его торможения частицами, эффективность сепарации уменьшается, вывод частиц затрудняется. Затрудняется также контакт частиц с поверхностью. Концентрация частиц в загрязненной части потока регулируется количеством отводимого из спирального концентратора в выносной циклон 2 воздуха, вместе с частицами примеси и гранулята. Регулирование осуществляется по показаниям манометров изменением входного сечения, путем перемещения заслонки 3. В выносном циклоне 2 вводимый с примесью и гранулами газовый поток закручивается, при этом частицы примеси и гранулята по периферии отводятся из сепарационной зоны, гранулы способствуют выводу примеси в приемник. Очищенный в выносном циклоне поток выводится в атмосферу, а примесь и гранулы отправляются на переработку. При этом наличие гранулята в примеси улучшает ее сыпучесть т.к. частицы больших размеров имеют меньшую поверхность соприкосновения и обладают большей подвижностью. Это облегчает истечение материала из расходных емкостей перерабатывающих машин, увеличивая их производительность. Контроль количества воздуха, сбрасываемого через центральный патрубок концентратора с расходом  $Q$  и выносного циклона с расходом  $q_1$ , ведется с помощью манометров по перепадам давлений  $\Delta P_1$  и  $\Delta P_2$  и известным коэффициентам гидравлического сопротивления. Количество воздуха с гранулятом подбирают таким образом, чтобы количество гранул было достаточным для нормального истечения примеси из выносного циклона 2. Предлагаемая система обеспыливания воздуха обладает лучшими эксплуатационными характеристиками, позволяет отказаться от рукавных фильтров, стабилизировать работу пневмотранспорта, осуществлять работу без использования дополнительных вентиляторов.

Одним из возможных источников зажигания внутри технологического оборудования разряд статического электричества. При перемещении порошкообразных материалов заряды могут возникать при трении и разделении отдельных частиц. Наиболее мелкие из них накапливают заряды одного знака (например, отрицательные), более крупные – заряды, равные по величине, но противоположные по знаку. Этот процесс происходит в массе дисперсного материала; при этом общий заряд всей массы остается равным нулю. Если перемещение частиц прекращается, то заряды рекомбинируют. В тех случаях, когда вещество перемещается в другую емкость или создаются условия для разделения гранул по величине, возникает разделение зарядов. Как показывают статистические данные, в установках пылеотделения происходит наибольшее число взрывов пыли. Этому способствуют следующие обстоятельства: в пылеуловителях скапливается самая мелкая, имеющая наименьшую влажность, пыль. Наиболее вероятные источники зажигания в пылеуловителях – разряды статического электричества, искры или раскаленные частица, поступившие из оборудования, через которое прошел поток. В тканевых фильтрах, как и в циклонах, скапливается самая взрывоопасная пыль. В процессе работы тканевые фильтры периодически очищают встряхиванием или подачей в фильтр струи воздуха. В обоих случаях при чистке фильтра образуется взрывоопасная аэрозоль.

Вероятными источниками зажигания для тканевых фильтров являются: тлеющие частицы, заносимые воздушным потоком из технологического оборудования, разряды статического электричества и самовозгорания пылевых отложений. Если минимальная энергия зажигания улавливаемой пыли сопоставима с энергией разряда статического электричества, которая в тканевых фильтрах может достигать 50 мДж, то необходимо принимать меры для обеспечения взрывобезопасности фильтра.

#### Список используемой литературы:

1. Полиэтилен высокого давления : научно-технические основы промышленного синтеза / А.В. Поляков, Ф.И. Дунтов, А.Э. Софиев, Н.Я. Тумаркин, Ю.Н. Кондратьев, Н.М. Домарева, А.Л. Гольденберг, В.М. Кобяков, В.С. Зернов. – Л.: Химия : Ленингр. отд-ние, – 1988. – 199 с.

2. Корольченко А.Я. Пожаровзрывоопасность промышленной пыли. – М.: Химия, – 1986. – 216 с.
3. Руководящие технические материалы. Пневмотранспорт сыпучих материалов (гранулированных и порошкообразных) взвесью, с поршневой структурой и сплошным потоком материала /МХП СССР, Томск: из-во Томск. ун-та. – 1987. – 188 с.
4. Анисимов Ж. А., Василевский М.В., Свищев Б.Г. Сравнительные характеристики аппаратов для очистки зерновых и гранулированных материалов от примесей. – В кн. Вопросы аэрогидромеханики тепломассообмена. Томск: Изд-во Томск. ун-та, – 1986, С. 24 – 29.
5. А.С. (СССР) 1554985 Способ сепарации из воздушного потока наэлектризованной полимерной примеси / Василевский М.В., Анисимов Ж.А., Свищев Б.Г., Кочетков Н.А., Гордеев В.К. // Б.И. – 1990, – № 13.

### Анализ методов проведения энергетической реформы в России

*М.А. Родин, Е.Ю. Юрченко*

*Южно – Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия*

*E-mail: [misha\\_rodin@mail.ru](mailto:misha_rodin@mail.ru)*

*[Ueu-esss@mail.ru](mailto:Ueu-esss@mail.ru)*

Проведение энергетической реформы в России. Определены основные направления и методы развития энергетики. Рассматривается в отдельности каждое из направлений, выясняются проблемы и другие возможные спорные моменты, которые возникают в ходе реализации каждого направления. На общем фоне производится анализ развития данной реформы.

В настоящее время мы наблюдаем, что всё в нашей стране подвержено большому количеству реформ, что ничего не стоит на месте, постоянно изменяется и движется вперед. Коснулось это и энергетической отрасли в России. Реформирование направлено на попытку вывода энергетики России на совершенно новый уровень развития, который не будет дублировать пережитки прошлого; повышения надёжности, качества и экономичности снабжения всех потребителей путём внедрения новых инновационных технологий, а также объединения всей энергетической системы интеллектуальной связью, создав единое целое[1, 2, 3]. Для этого определены приоритетные направления, связанные с переходом к энергоэффективной и интеллектуальной энергетической системе России, освоением новых территорий и развитием национальной электроэнергетики (рис.1). Делается акцент на повышении доступности и качества услуг для потребителей, создании клиентно-ориентированной энергетики, а также на достижении технологического лидерства в электроэнергетическом секторе.



Рис.1. Направления и методы развития

Для решения поставленных задач сделано уже не мало, и как показывает время, не всегда безошибочно. Ранее единая энергетическая отрасль была разделена на генерирующую, распределительную и сбытовую компании. Причем деление прошло не только по функциональному значению, но и по территориальному признаку. В итоге, на примере электросетевого комплекса установлена неэффективность разделения ФСК и МРСК, выделения ремонтных бригад в отдельную организацию.

В связи с реструктуризацией электроэнергетики меняется и рынок электрической энергии. Как известно, с 1 сентября 2006 года постановлением Правительства Российской Федерации введены новые правила функционирования оптового рынка электроэнергии (мощности). Возникает новая составляющая – рынок на сутки вперед (РСВ). Суть нового рынка заключается в том, что производится отбор ценовых заявок покупателей за сутки до реальной поставки электроэнергии с определением цен и объемов поставки на каждый час наступающих суток. В результате возникает достаточно гибкая система, которая несет в себе четкое соблюдение жестких требований к поставщикам электроэнергии, которые содержат в себе выдержку установленных параметров надёжности и качества электрической энергии. Появление рынка на сутки вперед также ведёт за собой появление балансирующего рынка, который занимается непосредственно расчётами и доведением до объектов графиков генерации в режиме реального времени. Он формирует некую систему «штраф или премия». Если возникли какие-то отклонения фактического потребления или выработки значений участники рынка «штрафуются», или «премируются», если эти отклонения являются следствием исполнения команды системного оператора. В итоге получается очень динамичная система, которая даёт её участникам прямую экономическую заинтересованность использовать все имеющиеся технологические возможности для выравнивания графика потребления, снижения технологических потерь в элементах сети [4, 5].

Кроме точности прогнозирования электропотребления, в настоящее время актуальна проблема замены физически устаревшего оборудования. Бесспорно, на многих энергетических объектах мы зачастую сталкиваемся с тем, что всё то, что уже давно должно быть списано и выведено из работы, работает и по сегодняшний день. Теперь напрашивается уже другой вопрос: «На что будем менять старый трансформатор, на ту же самую модель, только новую?». Вот мы и перешли от причины к следствию – модернизация морально устаревшего оборудования. Ведь необходимо идти в ногу со временем, а особенно в энергетике отставания не допускаются.

В энергетике есть много примеров повышения надёжности и безопасности электроустановок за счёт применения новых материалов: замена фарфоровой изоляции на полимерную, масляных выключателей на вакуумные и элегазовые, применение сверхпроводящих материалов в линиях электропередачи и накопителях энергии, силовая электроника. Немаловажно уточнить, будет ли это новое оборудование производиться внутри своей страны, или перениматься из-за рубежа. В связи с этим актуальными становятся ещё несколько направлений: совершенствование системы диагностики нового оборудования [6], корректировка нормативной документации. Если визуально оценить все ГОСТы, ОСТы, национальные стандарты, стандарты организаций и многие другие нормативно-технические документы, то можно обнаружить, что большинство из них уже далеко не «свежие» - 80-х и 90-х годов XX века. Электроэнергетика работает по жестким правилам, и от всей существующей в целом документации зависит надёжность и качество всей энергосистемы, а также безопасность потребителей. Применение старых норм на новое оборудование ведет к целому ряду противоречий. В настоящее время стандарты в электроэнергетике, разрабатываемые компаниями конкретно под свои нужды, носят локальный характер и не приведены в соответствие друг с другом. В результате такой самостоятельности и отсутствия согласованности и синхронизации с общей нормативной технической документации, проявятся проблемы, связанные с увеличением строительных и проектных рисков, снижение надежности и безопасности всей энергосистемы России. Одним из первых с данной проблемой столкнулось ОАО "Мосэнерго", которое занимается строительством энергоблока ПГУ-420 на ТЭЦ-26, генеральным подрядчиком проекта выступает французская компания Alstom. Данная компания выступает в России первым зарубежным подрядчиком полного цикла, то есть делает всё от разработки концепции до сдачи объекта в эксплуатацию. Когда специалисты из-за рубежа начали работу, то просто не знали с чего начать. Серьёзным препятствием для них стала запутанность российских технических стандартов, стандартов проектирования и нормативов по сертификации. В итоге французам пришлось решать труднейшую задачу, то есть соответствовать российским нормам и при всём этом не нарушать

концепцию строительства. Специалисты сделали вывод, что сдача объекта зависит не столько от хода строительства, сколько от получения соответствующих документов [7, 8].

Кроме этого, в связи со стремлением выйти на международный уровень появляется ещё одна проблема – несоответствие стандартов РФ нормам МЭК ([Международная Электротехническая Комиссия](#)). Например, по стандартам МЭК, мы не имеем паспорта на оборудование, а только протокол испытания. Чтобы получить сертификат, необходимо провести повторные испытания и завести паспорт. Причем вся техническая документация должна предоставлять на русском языке, а в общемировой практике стандартно используется английский. Это напоминает бесконечное число процедур, которые только замедляют процесс и уносят драгоценное время [8].

Кроме замены оборудования немаловажным является вопрос интеллектуализации управления сетевым объектом, связанный с концепцией Smart Grids, причем до сих пор точного определения этого понятия нет. Кто-то считает, что «умная сеть» – это частичное переоснащение уже существующих сетей и объединение их в единую информационную сеть, кто-то, что это полностью адаптивная и «самостоятельная» система, которая сама принимает решения по отключению и перераспределению потоков мощностей до потребителей. В России уже ведутся работы по данному направлению [9]: применение реклоузеров, средств телемеханики, умных счётчиков и вставок постоянного тока и др. Всё это сводится к тому, чтобы максимально снизить степень человеческой ошибки. При этом всю интересующую информацию можно будет получить из главного центра, который будет содержать в себе все данные по приближённым и даже достаточно удалённым объектам. Это достаточно глобальная задача, но вполне осуществимая.

Что же такое реклоузер? Он представляет собой автоматический пункт секционирования воздушных или комбинированных линий электропередачи трехфазного переменного тока частотой 50(60) Гц, в основном с номинальным напряжением 10(6) кВ и любым режимом работы нейтрали. Он представляет собой новое поколение коммутационного оборудования, которое объединило в себе все передовые технологии микропроцессорной релейной защиты и автоматики (РЗА) и коммутационной техники. К его функциям относятся автоматическое отключение поврежденных участков линии, АПВ, АВР, есть возможность самодиагностики и дистанционного управления данным аппаратом. Отличительными особенностями являются: надёжная система бесперебойного питания, отсутствие необходимости в его обслуживании, ведение журналов оперативных и аварийных событий в линии и малые массогабаритные показатели. В настоящее время реклоузер уже прекрасно зарекомендовал себя как надёжный и многофункциональный аппарат, применение которого значительно повысило надёжность электроснабжения потребителей и позволило автоматизировать процессы поиска и локализации повреждений на линии [10].

В 2010 году предприятие ОАО «Челябэнергосбыт» начало внедрение современных систем учёта электроэнергии. Преимущества умных счётчиков заключается в следующем.

Во-первых, это возможность гибкого планирования потребления электроэнергии.

Во-вторых, это контроль качества энергоресурса. Производится запись количества отключений напряжения и их продолжительность, что позволит абоненту предъявить иск бытовой компании.

В-третьих, – это управление потреблением. В периоды пикового потребления такой счётчик, оснащённый силовым реле, может временно отключать абонентов от сети в целях снижения нагрузки.

В-четвёртых, – это защита от неучтенного потребления. Современный «умный» прибор учёта постоянно фиксирует неучтённое электропотребление, попытки вскрытия счётчика, что ведёт к снижению коммерческих потерь [11, 12].

Несмотря на перечисленные положительные моменты необходимо отдавать отчёт в том, что переход от простой механики к телемеханике и полной автоматизации «умная сеть» должна быть устойчива к различным кибернетическим вмешательствам?! Любое проникновение или взлом отдельного сетевого объекта злоумышленниками ведёт к полному краху всей системы в целом. Поэтому вопрос энергетической безопасности здесь имеет весомое значение, так же как и повышения квалификации персонала. Сегодня данный вопрос часто освещается. Каждое предприятие заинтересовано в качестве образования и подготовки персонала, но, к сожалению, в связи с тем, что очень мало осталось научно-исследовательских институтов, уровень подготовки оставляет желать лучшего. В связи с этим появляется ещё одна задача – усовершенствование системы подготовки, переподготовки, аттестации и перееаттестации персонала.

Реформирование – очень серьёзный шаг. На основании анализа материала были выделены направления развития энергетики будущего. Но вместе с положительными сторонами, есть и

нежелательные моменты, над которыми необходимо работать, потому что энергетика не прощает ошибок.

#### Список используемой литературы

1. <http://www.fsk-ees.ru>
2. Федеральный закон № 35-ФЗ "Об электроэнергетике"
3. Министерство энергетики Российской Федерации. Типовой макет. Схемы и программы развития электроэнергетики субъекта Российской Федерации на 5-летний период, 2011 г.
4. <http://so-ups.ru>
5. Завидей В.И., Печенкин В.И., Каланчин С.В. Возможности применения тепловизионного контроля для диагностики технического состояния силовых трансформаторов // Информационно – аналитический журнал «Энергоэксперт» №6 (29) 2011
6. <http://www.rao-ees.ru/ru/>
7. <http://www.smartgrid.ru>
8. "Российская газета" – [Федеральный выпуск №5022 \(198\)](#)
9. Из сетей прошлого – в сети интеллектуальные // Информационно – аналитический журнал «Энергоэксперт» №6 (29) 2011
10. <https://www.tavrida.ru/>
11. <http://www.emis-kip.ru/ru/>
12. <http://esbt74.ru/>

#### Применение функций чувствительности к энергетическим задачам

*С.В. Шмидт, Д.Ю. Белова, Б.З. Калиев*

*Инновационный Евразийский университет, г. Павлодар, Казахстан  
schmidt.07@mail.ru*

Настоящая работа выполнялась в соответствии с научной программой повышения эффективности использования ресурсов Казахстана путем разработки математической модели и алгоритмов оптимального управления электроэнергетических систем, определенная как стратегическая задача РК в Послании Президента страны народу Казахстана «Казахстан 2030». Эта же программа входит в основу разработки глобальной энергоэкологической долгосрочной стратегии, подготавливаемый на базе исследований ученых России и Казахстана отмеченной в фундаментальном труде Нурсултана Абишевича Назарбаева «Стратегия радикального обновления глобального сообщества и партнерство цивилизации». Целью данной научной статьи является повышение эффективности управления качеством вырабатываемой электроэнергии путем совершенствования математической модели стационарных режимов. Анализ схем замещения дает возможность выявить закономерности, применение которых позволит повысить качественные показатели электроэнергии, эффективность эксплуатации и проектирования самой системы на основе совершенствования математической модели ее стационарных режимов.

Оптимизация состояния электрической системы является тонкой и трудоемкой задачей, решаемой на основе анализа и синтеза т.е. рабочих режимов. В промышленных условиях из-за ряда причин (изменение температуры, износ оборудования, снижение активности катализатора, снижение теплопроводности и т.п.) параметры системы управления постепенно изменяются, и их действительные значения всегда отличаются от расчётных. Проблема управления качеством электроэнергии с учетом влияния имеющихся регулирующих устройств в настоящее время решается на основе многократных расчетов, методом последовательного приближения. В рыночных условиях трудно согласиться с подобным подходом к расчету и оптимизации системы электроснабжения.

В данной работе получено решение выше отмеченных проблем путем совершенствования математических моделей с применением функций чувствительности таким образом, чтобы искомые параметры режима определялись непосредственно по независимым параметрам схемы замещения системы передачи и распределения электроэнергии.

Практическая ценность заключается в том, что применение функций чувствительности позволяет изменить методологию ведения режима, смысл которого заключается в обеспечении, в первую очередь, потребителей качественной электроэнергией с учетом надежных и экономических показателей питающих сетей системы электроснабжения, уменьшение неоправданных трудозатрат.

Функция чувствительности является одним из наиболее важных показателей качества частотно-избирательных цепей. Информация о чувствительности используется в различных целях:

1. Функция чувствительности является критерием для сравнительной оценки различных конфигураций электронных цепей.
2. Результаты анализа чувствительности используются для определения допусков на параметры элементов цепи.
3. Функция абсолютной чувствительности используются при оптимизации характеристик электронных цепей для расчета градиента целевой функции.
4. Чувствительность позволяет понять, как влияют вариации какого-либо параметра на характеристики цепи.

При проектировании систем управления и регулирования важно знать, как влияет на характеристики цепи изменение параметров элементов. Это влияние оценивают с помощью функций чувствительности. Функция относительной чувствительности  $H(j\omega)$  к вариациям  $a_i$ , определяется по формуле:

$$S_{a_i}^{H(j\omega)} = \frac{dH(j\omega)}{da_i} \frac{a_i}{H(j\omega)} \quad (1)$$

$H(j\omega)$  — функция цепи,  $a_i$  — параметр одного из компонентов этой цепи, изменяющийся под действием дестабилизирующих факторов.

Одним из наиболее эффективных методов анализа чувствительности является метод присоединенных схем. В соответствии с этим методом для расчета чувствительности характеристики цепи к вариациям всех элементов достаточно провести анализ двух идентичных по топологии схем — исходной и присоединенной.

Рассмотрим цепь, описываемую системой расширенных узловых уравнений:

$$[Y][V] = [J]. \quad (2)$$

Пусть  $[Y]$  и  $[V]$  являются функциями параметра  $a_i$ , а вектор правой части не зависит от этого параметра. Дифференцируя (1.2) по  $a_i$ , получим:

$$\frac{d[Y]}{da_i}[V] + [Y]\frac{d[V]}{da_i} = 0$$

Из последнего равенства определим вектор производных:

$$\frac{d[V]}{da_i} = -[Y]^{-1} \frac{d[Y]}{da_i}[V] \quad (3)$$

Формула (3) позволяет определить чувствительность всех элементов вектора  $[V]$  к вариациям параметра  $a_i$ .

Но на практике обычно требуется определить чувствительность какой-либо одной функции цепи, т.е. необходимо найти чувствительность одной переменной  $V_i$  к вариациям нескольких параметров  $a_i$ . Чтобы найти чувствительность  $V_i$ , умножим левую и правую части равенства (3) на единичный вектор  $[u_i]$ :

$$[u_i] \frac{d[V]}{da_i} = -[u_i][Y]^{-1} \frac{d[Y]}{da_i}[V]$$

Здесь символ  $t$  означает транспозицию. Перепишем последнее равенство в другой форме:

$$[u_i] \frac{d[V]}{da_i} = -\left\{([Y]^{-1})[u_i]\right\} \frac{d[Y]}{da_i}[V]. \quad (4)$$

При рассмотрении функций чувствительности во временной области независимые источники могут иметь произвольную форму тока и напряжения. Выбор времени анализа может быть произвольным, в том числе с самого начала переходных процессов, наступающих в цепи при включении источников. Следовательно, частные производные по параметрам элементов будут определяться от величин (токов и напряжений), представленных в виде функций времени. Пусть откликом на выходе цепи является напряжение  $u_{\text{вых}}(t)$ . Будем искать частные производные вида:

$$\frac{\partial u_{\text{вых}}(t)}{\partial R_i}, \frac{\partial u_{\text{вых}}(t)}{\partial C_i}$$



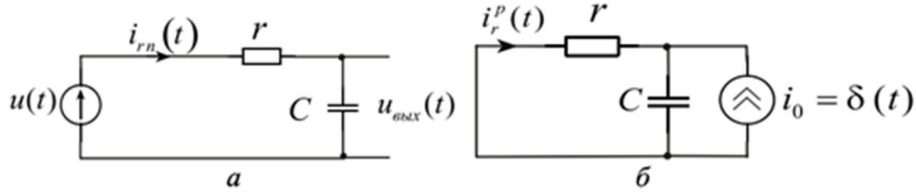


Рис. 1. Расчет чувствительности к вариации величины резистора г.

Ток при номинальных значениях параметров элементов, протекающий через г:

$$i_m = \frac{U}{r} e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Ток через тот же реактивный элемент в присоединенной схеме (рис. 1 б)

$$i_r^p(t-\tau) = -\frac{1}{rC} e^{-\frac{t-\tau}{\tau}}$$

Следовательно

$$\frac{\partial u_{\text{вых}}}{\partial r} = \int_0^t \frac{U}{r} e^{-\frac{t-\tau}{\tau}} \left(-\frac{1}{rC} e^{-\frac{t-\tau}{\tau}}\right) d\tau = -\frac{U}{r^2 C} t e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Результат, полученный методом присоединенной схемы, можно подтвердить непосредственным дифференцированием реакции цепи:

$$\frac{\partial u_{\text{вых}}}{\partial r} = \frac{\partial}{\partial r} \left[ U \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \right] = -\frac{U t}{r^2 C} e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Расчет чувствительности к вариации параметра емкостного элемента цепи (рис. 1 а). Как и в предыдущем случае, задаем приращением варьируемого параметра dC. Соответствующая схема с вынесением элементом dC представлена на рис 2 а. Ток через элемент dC:

$$di_c = dC \frac{du_c}{dt} \approx dC \frac{du_c}{dt}$$

Заменим элемент dC эквивалентным ему источником тока  $di_c$  (рис. 2 б).

На выходе цепи можно будет наблюдать отклик на воздействие источника возмущения  $di_c$ . Если поделить величину воздействия на константу dC, то отклик изменится на ту же величину. Таким образом отклик на выходе цепи будет численно равен производной  $du_{\text{вых}}/dC$  (рис 2. б).

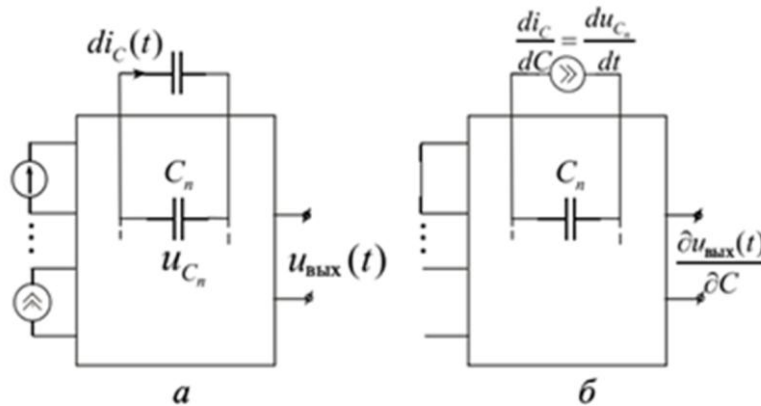
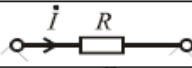
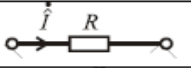
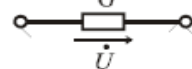

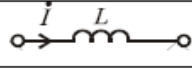

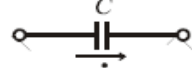
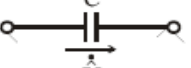


Рис. 2. Анализ чувствительности к вариации емкостного элемента.

В результате анализа можно получить выражения для расчета функций чувствительности к вариациям других элементов. Эти выражения приведены в табл.

Элемент	Схема	Присоединенная схема	Формула чувствительности
$R$			$\frac{\partial H(j\omega)}{\partial R} = -I\dot{\Phi}$
$G$			$\frac{\partial H(j\omega)}{\partial G} = U\dot{\Phi}$
$L$			$\frac{\partial H(j\omega)}{\partial L} = -j\omega I\dot{\Phi}$
$C$			$\frac{\partial H(j\omega)}{\partial C} = j\omega U\dot{\Phi}$

**Вывод:**

Действительные значения параметров управления электроэнергетическими системами практически всегда отличаются от расчетных. Данные изменения параметров могут привести к изменению статических и динамических свойств системы. Это обстоятельство желательно учесть заранее в процессе проектирования и настройки системы, что может быть осуществимо применением функций чувствительности, непосредственно метода присоединенных схем.

В данной работе выявлен способ оптимизации состояния электрической системы путем совершенствования математических моделей с применением функций чувствительности таким образом, чтобы искомые параметры режима определялись непосредственно по независимым параметрам схемы замещения системы передачи и распределения электроэнергии, что имеет важное перспективное теоретическое и практическое значение. При решении задачи оптимизации, электрических сетей энергосистемы с учетом вероятностного характера исходных данных, возникает необходимость выделения наиболее значимых факторов. При подходе к предельным по пропускным способностям режимам наибольшее влияние на точность расчета оказывает точность задания параметров схемы замещения.

Настоящая статья имеет большое значение для схемотехнического проектирования электрических схем и их оптимизации, для определения степени влияния параметров компонентов схемы на её выходные параметры, а также для прогнозирования разброса выходных параметров.

**Список использованной литературы:**

1. Ахметбаев Д.С. Моделирование стационарных режимов системы передачи и распределения электроэнергии. – Алматы. 2010. – С. 28-30.
2. Калиев Б.З. Материалы международной научно-практической конференции «Индустриально-инновационное развитие на современном этапе: состояние и перспективы». - Павлодар. 2009. - С. 18-20.

**Энергосбережение и повышение энергетической эффективности***О.С. Яшутина**Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

Существует образное выражение, что мы живем в эпоху трех «Э»: экономика, энергетика, экология. Не зря говорят: «Энергетика – хлеб промышленности». Чем более развиты промышленность и техника, тем больше энергии нужно для них. Существует даже понятие – «опережающее развитие энергетика». Это значит, что ни одно промышленное предприятие, ни один новый город или просто дом нельзя построить до того, как будет определён или создан заново источник энергии, которую они станут потреблять. Вот почему по количеству добываемой и используемой энергии довольно точно можно судить о технической и экономической мощи, а проще говоря – о богатстве любого государства.

Проблема обеспечения электрической энергией многих отраслей мирового хозяйства, постоянно растущих потребностей более чем шестимиллиардного населения Земли становится сейчас все более насущной. Основу современной мировой энергетики составляют тепло- и гидроэлектростанции. Однако их развитие сдерживается рядом факторов. Стоимость угля, нефти и газа, на которых работают тепловые станции, растет, а природные ресурсы этих видов топлива сокращаются. К тому же многие страны не располагают собственными топливными ресурсами или испытывают в них недостаток. В процессе производства электроэнергии на ТЭС происходит

выброс вредных веществ в атмосферу. Причем если топливом служит уголь, особенно бурый, малоценный для другого вида использования и с большим содержанием ненужных примесей, выбросы достигают колоссальных размеров.

Экономия энергии - это эффективное использование энергоресурсов за счет применения инновационных решений, которые осуществимы технически, обоснованы экономически, приемлемы с экологической и социальной точек зрения, не изменяют привычного образа жизни. Это определение было сформулировано на Международной энергетической конференции (МИРЭК) ООН. Энергосбережение в любой сфере сводится по существу к снижению бесполезных потерь энергии. Анализ потерь в сфере производства, распределения и потребления электроэнергии показывает, что большая часть потерь - до 90% - приходится на сферу энергопотребления, тогда как потери при передаче электроэнергии составляют лишь 9-10%. Поэтому основные усилия по энергосбережению сконцентрированы именно в сфере потребления электроэнергии. Основная роль в увеличении эффективности использования энергии принадлежит современным энергосберегающим технологиям. Энергосберегающая технология - новый или усовершенствованный технологический процесс, характеризующийся более высоким коэффициентом полезного использования топливно энергетических ресурсов (ТЭР). Внедрение энергосберегающих технологий в хозяйственную деятельность как предприятий, так и частных лиц на бытовом уровне, является одним из важных шагов в решении многих экологических проблем - изменения климата, загрязнения атмосферы (например, выбросами от ТЭЦ), истощения ископаемых ресурсов и др. Обычно предприятия внедряют следующие типы технологий, которые дают значительный энергосберегающий эффект:

1) Общие технологии для многих предприятий, связанные с использованием энергии (двигатели с переменной частотой вращения, теплообменники, сжатый воздух, освещение, пар, охлаждение, сушка и пр.).

2) Более эффективное производство энергии, включая современные котельные, когенерацию (тепло и электричество), а также тригенерацию (тепло, холод, электричество); замена старого промышленного оборудования на новое, более эффективное.

3) Альтернативные источники энергии.

Режим энергосбережения особенно актуален для механизмов, которые часть времени работают с пониженной нагрузкой - конвейеры, насосы, вентиляторы и т.п. Существует немало устройств, которые позволяют добиться уменьшения потерь при работе электрооборудования, основными из которых являются конденсаторные установки и частотно регулируемые приводы. Частотно регулируемые электроприводы со встроенными функциями оптимизации энергопотребления гибко изменяют частоты вращения в зависимости от реальной нагрузки, что позволяет сэкономить до 30-50% потребляемой электроэнергии. При этом зачастую не требуется замена стандартного электродвигателя, что особенно актуально при модернизации производств. Такие энергосберегающие электроприводы и средства автоматизации могут быть внедрены на большинстве промышленных предприятий и в сфере ЖКХ: от лифтов и вентиляционных установок до автоматизации предприятий. Российскими учеными разработана установка, при работе которой часть тепла, уходящего в трубу после сжигания на производстве природного газа, используется для выработки дополнительной энергии, способной дать освещение пяти шестнадцатиэтажных зданий.

Примером домов, которые в будущем позволят человеку жить в гармонии с природой, в то же время не лишая себя привычного комфорта, являются так называемые жилища нулевой энергии (zero energy house) или пассивные дома (passive house), объединяемые общим термином "энергоэффективные дома". "Энергоэффективным" будет считаться такой дом, в котором комфортная температура поддерживается зимой без применения системы отопления, а летом - без применения системы кондиционирования. Чтобы дом был энергоэффективным, при его строительстве должно быть сделано следующее: Применение современной тепловой изоляции трубопроводов отопления и горячего водоснабжения. Индивидуальный источник теплоэнергоснабжения (индивидуальная котельная или источник когенерации энергии). Тепловые насосы, использующие тепло земли, тепло вытяжного вентиляционного воздуха и тепло сточных вод. Солнечные коллекторы в системе горячего водоснабжения и в системе охлаждения помещения. Поквартирные системы отопления с теплосчетчиками и с индивидуальным регулированием теплового режима помещений. Система механической вытяжной вентиляции с индивидуальным регулированием и утилизацией тепла вытяжного воздуха. Поквартирные контроллеры, оптимизирующие потребление тепла на отопление и вентиляцию квартир. Ограждающие конструкции с повышенной теплозащитой и заданными показателями

теплоустойчивости. Утилизация тепла солнечной радиации в тепловом балансе здания на основе оптимального выбора светопрозрачных ограждающих конструкций. Устройства, использующие рассеянную солнечную радиацию для повышения освещенности помещений и снижения энергопотребления на освещение. Выбор конструкций солнцезащитных устройств с учетом ориентации и посезонной облученности фасадов. Использование тепла обратной воды системы теплоснабжения для напольного отопления в ванных комнатах. Система управления теплоэнергоснабжением, микроклиматом помещений и инженерным оборудованием здания на основе математической модели здания как единой теплоэнергетической системы. Есть и другие пути рациональнее использовать электроэнергию, причем не только на производстве, но и в быту. Так, уже давно известны "умные" системы освещения. Энергосберегающий эффект основан на том, что свет включается автоматически, именно когда он нужен. Выключатель имеет оптический датчик и микрофон. Днем, при высоком уровне освещенности, освещение отключено. При наступлении сумерек происходит активация микрофона. Если в радиусе до 5 м возникает шум (например, шаги или звук открываемой двери), свет автоматически включается и горит, пока человек находится в помещении. Такие системы освещения используют энергосберегающие лампы. Светодиодные светильники позволяют достичь существенной экономии электроэнергии по сравнению с традиционными источниками света лампами накаливания (до 80%) и люминесцентными лампами (свыше 40%). Эти светильники можно использовать в освещении самых разных объектов: подземных пешеходных переходов и автомобильных парковок, садово парковом освещении, уличном освещении, освещении в ЖКХ и аварийном освещении. Существуют и перспективные энергосберегающие проекты в транспортной отрасли. Американские инженеры подошли вплотную к производству легковых автомобилей, оснащенных насадками, преобразующими тепло выхлопных газов в электричество. Теплоэлектрогенератор, установленный на глушителе, преобразовывает часть тепла выхлопных газов в электричество, которое в дальнейшем может обеспечивать работу системы климат контроля, музыкальной системы и т.п. Немецкие ученые разрабатывают высокоэффективные энергосберегающие устройства, необходимые для автомобилей с гибридными двигателями. Устройство работает с помощью нефти на автостраде и на электричестве в городе, таким образом, используя сравнительно меньше энергии. У себя в доме каждый потребитель может экономить электроэнергию, придерживаясь следующих правил: Заменить лампы накаливания на современные энергосберегающие лампы. Выключать неиспользуемые приборы из сети (например, телевизор, видеомэгафон, музыкальный центр). На электроплитах применять посуду с дном, которое равно или чуть превосходит диаметр конфорки, не использовать посуду с искривленным дном. Стирать в стиральной машине при полной загрузке и правильно выбирать режим стирки. Своевременно удалять из электрочайника накипь. Не пересушивать белье, это дает экономию при глажке. Чаще менять мешки для сбора пыли в пылесосе. Ставить холодильник в самое прохладное место кухни. Использовать светлые шторы, обои. Чаще мыть окна, на подоконниках ставить небольшое количество цветов. Не закрывать плотными шторами батареи отопления.

Необходимо помнить, что наше общее будущее зависит от каждого из нас, именно наши элементарные действия во многом могут способствовать значительному энергосбережению.

#### **Список используемой литературы:**

1. Б.И. Врублевский «Основы энергосбережения». М: Гомель, 2003 г.
2. Л.В Шенец «Для решения проблем необходимо задействовать все резервы»// Журнал «Энергоэффективность», 2004 – октябрь – С.2-3.
3. С.С. Анисимова «Экономия и комфорт»// Журнал «Недра и ТЭК»- 2010. – № 11. – С.28–29.
4. <http://www.tpu.ru>

#### **Выбор когенерационных газотурбинных установок для схем теплоснабжения в системах ЖКХ**

*А.Б Дубинин, Ю.Е Николаев, Р.А. Дубинин.*

*Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А., г. Саратов, Россия  
ООО «Сименс», г. Москва, Россия*

*E-mail: [dubininsar@mail.ru](mailto:dubininsar@mail.ru)*

Рассмотрены особенности выбора когенерационных газотурбинных установок для теплоэнергоснабжения систем ЖКХ. Установлено, что объективным критерием энергоэффективности может служить относительная системная экономия топлива.

Энергоэффективность и энергосбережение входят в пять стратегических направлений приоритетного технологического развития России, названных Президентом РФ. В сфере энергосбережения и энергоэффективности в России существуют четыре основополагающих документа: «Энергетическая стратегия на период до 2030 года», Государственная программа «энергосбережения и повышения энергетической эффективности на период до 2020 года», Федеральный закон «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» №261-ФЗ от 23.11.2009, Федеральный закон «О теплоснабжении» №190-ФЗ от 27.07.2010. В этих документах регламентированы индикаторы энергосбережения и показатели энергоэффективности, а также рекомендованы целые комплексы мероприятий, направленных «на уменьшение объема используемых энергетических ресурсов при сохранении соответствующего полезного эффекта от их использования». Жилищно-коммунальное хозяйство (ЖКХ) является крупнейшим потребителем энергии, одной из самых затратных и энергонезэффективных отраслей экономики. На долю ЖКХ, которое потребляет более 20% энергоресурсов, приходится около 26% общего объема основных фондов РФ. В настоящее время в ЖКХ сложилась негативная ситуация: значительный износ основного и вспомогательного оборудования, кредиторская и дебиторская задолженность организаций ЖКХ, низкое качество жилищно-коммунальных услуг, низкая эффективность расходования ресурсов, недостаточное использование энергосберегающих технологий. Вместе с тем ЖКХ обладает очень высоким потенциалом энергосбережения. По оценкам Минэнерго РФ, потенциал энергосбережения в ЖКХ составляет 25-30% от общего потенциала энергосбережения (360 – 430 млн. тонн условного топлива). В настоящее время сформулированы 96 принципов и 12 правил энергосбережения /4/. Для систем ЖКХ в качестве основной меры по энергосбережению рассматривается модернизация схем теплоснабжения. В соответствии с законом о теплоснабжении каждое городское поселение с 31.12.2011 должно иметь утвержденную перспективную схему теплоснабжения, которая является важнейшей составляющей Программ комплексного развития систем коммунальных инфраструктур (ПКР).

Схема теплоснабжения разрабатывается на краткосрочную и долгосрочную перспективы и должна обеспечивать качественное теплоэнергоснабжение города с учетом потенциала энергосбережения. При этом предполагается не только замена или модернизация теплосетевого оборудования, но и выбор новых тепловых источников. Результатом всего комплекса работ является оценка энергоэффективности принятых решений, уровня требуемых капитальных вложений, прогнозирование тарифов, сроков окупаемости и т. д. Необходимо отметить, что в Федеральном законе «О теплоснабжении» однозначно указывается на «обеспечение приоритетного использования комбинированной выработки электрической и тепловой энергии для организации теплоснабжения», а также «развитие систем централизованного теплоснабжения». Это может рассматриваться как рекомендация органам местного самоуправления отказываться от строительства новых котельных, а планировать сооружение новых ТЭЦ, или использование существующих.

Оценить потенциал энергосбережения при комбинированной выработке в конкретных цифрах возможно только на основе системного подхода. При этом выбор источника должен быть научно обоснован. Вместе с тем фирмы-изготовители часто доказывают преимущества комбинированной выработки на основе сравнения только коэффициентов использования располагаемой теплоты топлива  $K_{um}$  альтернативных вариантов. Рекомендуются когенерационные технологии производства тепловой и электрической энергии на базе газотурбинных, газопоршневых и парогазовых установок, обеспечивающих экономию органического топлива и денежных затрат. Традиционные показатели термодинамической эффективности, учитывающие и первый и второй законы термодинамики, при этом часто не принимаются во внимание. В современных условиях оптимизация параметров энергетических установок для работы в системах ЖКХ практически исключается. Заводы-изготовители предлагают серийные установки различных уровней мощностей, отличающихся параметрами рабочего тела и схемными решениями. Предварительное сопоставление целесообразно проводить на основе системной относительной экономии топлива  $\bar{b}$ , равного отношению действительной абсолютной экономии топлива  $\Delta B$  в системе, где сооружается коммунальная ТЭЦ, к расходу топлива  $B$  самой когенерационной установкой /1/. Для когенерационных газотурбинных установок основными факторами, влияющими на величину  $\bar{b}$ , являются электрический КПД  $\eta_e$ , степень утилизации отработавших в турбине газов, коэффициент использования теплоты топлива  $K_{um}$

теплофикационной частью цикла, а также показатели замещаемых установок, вырабатывающих электроэнергию и теплоту отдельным способом. Перечисленные величины зависят как от параметров термодинамического цикла, так и технологической (тепловой) схемы когенерационной установки. Увеличение каждой из них приводит к росту относительной системной экономии. Вместе с тем ряде случаев увеличение электрического КПД может сопровождаться уменьшением степени утилизации и наоборот. Такое взаимное влияние может сказаться на выборе предпочтительного варианта. Характер и степень взаимосвязи должен определяться в зависимости от конкретных условий. В [2] показано, что оптимальные параметры и схемные решения, соответствующие максимуму системной экономии топлива, могут существенно отличаться от решений, определенных из максимумов известных критериев (эффективного, эксергетического КПД как цикла, так и установки). В частности, из условия максимума  $\epsilon$  может быть найдена оптимальная степень регенеративного подогрева воздуха в когенерационных ГТУ, а также оправданным предварительный подогрев воздуха перед компрессором.

На основе этого показателя построена шкала сравнительной эффективности когенерационных ГТУ различных фирм-изготовителей. В табл.1 приведены некоторые результаты сопоставления. Анализ приведенных результатов показывает, что величины  $K_{ит}$  сравниваемых установок отличаются незначительно, в то время как термодинамические параметры (температуры рабочего тела перед турбиной, степени повышения давления воздуха в компрессоре) и электрические КПД отличаются существенно. Также видно, что электрический КПД не всегда оказывает определяющее влияние на величину системной экономии топлива. Важное значение имеет степень утилизации отбросной теплоты, которая уменьшается с ростом степени повышения давления воздуха в компрессоре. Установлено, что определенные преимущества имеют газотурбинные установки с регенеративным подогревом воздуха, в частности, ГТУ-009М. Это объясняется не только более высокими значениями электрического КПД, но и более низкими по сравнению с безрегенеративными ГТУ степенями повышения давления. Это дает возможность использования топливного газа без дополнительных дожимающих компрессоров.

**Таблица 1.** Сравнение показателей когенерационных газотурбинных установок

ГТУ	Фирма-изготовитель	№ МВт	$\pi_k$	$t_3, ^\circ\text{C}$	$\eta_{э}$	$K_{ит}$	$\phi_{ух}$	$\bar{b}$
ГТЭ-10/95	«Мотор» Россия	10,0	9,25	920	0,280	0,843	0,800	0,170
ГТТ-15	«Машпроект» Украина	16,3	12,8	863	0,280	0,826	0,763	0,150
ГТУ-55-СТ20	«Энергоавиа» Россия	20,0	10,4	980	0,320	0,868	0,808	0,300
ТНМ 1304-11	MAN	10,76	11,3	975	0,300	0,861	0,800	0,280
Меркурий-50	Solar США	4,35	9,1	1165	0,42	0,865	0,758	0,372
LM-600	GE США	43,07	30,0	1430	0,40	0,901	0,829	0,371
ГТЭ-009М	«Энергомаш» Россия	9,0	6,8	950	0,356	0,800	0,62	0,370

Важным вопросом при сооружении коммунальных ТЭЦ является выбор оптимального количества и уровня единичной мощности устанавливаемых когенерационных установок, а также определение приоритетного графика нагрузки (тепловой или электрической) при работе по которому будет достигнут наибольший экономический эффект.

Различный характер суточных и годовых графиков электро- и теплоснабжения позволяют удовлетворить потребности в энергоносителях только когенерационными установками. Поэтому для покрытия пиковых частей тепловой нагрузки должны использоваться котельные, а

электрической – маневренные установки энергосистемы. Таким образом, рациональная схема энергоснабжения города должна включать когенерационные установки ТЭЦ, пиковые котельные и связи с энергосистемой для обеспечения переменной части электрического графика /3/.

Строительство новых ТЭЦ должно осуществляться с учетом возможности их присоединения к существующим тепловым и электрическим сетям, ограничений на масштабы вредных выбросов, наличия санитарно-защитных зон в жилых районах. Наиболее целесообразно их сооружать на площадках существующих котельных.

Достижимый эффект от сооружения когенерационных установок для энергоснабжения города или отдельных районов может быть рассчитан в денежном выражении по разности затрат двух вариантов: исходного, в котором осуществляется покупка электроэнергии от энергоснабжающей компании и топлива для производства теплоты котельными, и альтернативного, в котором закупается только топливо для сжигания в когенерационных установках. Расходы топлива пиковыми источниками теплоты и количество покупаемой электроэнергии для покрытия переменной части электрического графика в сравниваемых вариантах сохраняются постоянными и поэтому в затратах не учитываются. Исходя из отмеченного, экономия затрат на приобретение энергоносителей в рассматриваемых вариантах примет вид, руб/год:

$$\Delta Z = C_{\varepsilon} \mathcal{E}^G + C_T B_{КОТ}^G - C_T B_{КУ}^G \quad (1)$$

где  $C_{\varepsilon}$ ,  $C_T$  - тарифы на электрическую энергию и топливо;  $\mathcal{E}^G$  - годовой отпуск электроэнергии от когенерационных установок;  $B_{КОТ}^G$ ,  $B_{КУ}^G$  - годовые расходы топлива котельными и когенерационными установками.

Выражая составляющие уравнения (1) через удельные показатели и поделив экономию затрат на годовой отпуск тепловой энергии, получим

$$\Delta z = [y(C_{\varepsilon} - C_T b_{КОТ}) + C_T b_{КОТ}], \quad (2)$$

где  $y$  – удельная выработка энергии на тепловом потреблении когенерационной установки;  $b_{КОТ}$  - удельный расход топлива на отпуск теплоты в котельной;  $b_{КУ}$  - удельный расход топлива на производство электрической энергии когенерационной установкой.

Разработанные методики позволяют на основе системного анализа достаточно объективно выбирать источники комбинированной выработки электроэнергии и теплоты, а также разрабатывать оптимальную схему теплоснабжения и, по мере необходимости, вносить в нее конструктивные и технологические изменения. Окончательное решение принимается на основе технико-экономических расчетов. Информационной базой для выполнения работ являются анализ фактического состояния систем теплоснабжения, результаты энергоаудита и прогнозы перспективного развития города

#### Список использованной литературы:

1. Андрущенко А.И. Системная эффективность бинарных ПГУ-ТЭЦ//Теплоэнергетика.2000.№12.С.11-15.
2. Дубинин А.Б. Способы повышения энергетической эффективности газотурбинных ТЭЦ.// В сб. Повышение эффективности и надежности теплоэнергетического оборудования систем и комплексов. 1996. Саратов. СГТУ.С.61—71.
3. Николаев Ю.Е., Вдовенко И.А. Сравнительный анализ вариантов реконструкции городских систем теплоснабжения.// Промышленная энергетика.2009.№11.С.5 – 9.
4. Бродянский В.М. 12 правил энергосбережения, или что нужно делать для снижения потерь, связанных с несовершенством энергетических процессов// «Новости теплоснабжения», № 9(25), сентябрь 2002.С.52.

#### Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ его недостатки и изменения

*Л.Л. Булыга, Ю.А. Краснятов*

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

*E-mail: [kras@elti.tpu.ru](mailto:kras@elti.tpu.ru)*

Рассмотрен трехлетний опыт работы Федерального закона от 23.11.2009 № 261-ФЗ. В работе рассмотрены некоторые пробелы, которые не позволяют эффективно развивать работу в области энергосбережения. Рассмотрен ряд предложений для внесения в изменения этого закона.

Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ «О энергосбережении...» продолжил работу по дальнейшей организации и повышению эффективности энергосбережения в экономике Российской Федерации. Он упорядочивает государственное регулирование в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности, установив правовые, экономические и организационные основы стимулирования энергосбережения и повышения энергетической эффективности, устанавливает обязательное выполнение целого ряда мероприятий, направленных на повышение энергетической эффективности всех секторов экономики

Особый акцент в Законе «Об энергосбережении...», сделан в отношении государственного и муниципального секторов, а также в жилищном фонде. Особенно большое значение имеют положения Закона, регламентирующие проведение обязательных энергетических обследований, порядок и сроки их проведения, перечислены виды предприятий и организаций, которые в обязательном порядке должны пройти энергообследование. а также определяет наказания для лиц и организаций, нарушающих положения данного закона.

По сути закон №261-ФЗ от 23.11.2009 является продолжением и развитием закона РФ «Об энергосбережении» №28-ФЗ от 1996 г. Однако, как и большинство нормативно-правовых документов, ФЗ №261 не идеален и практика показывает его недостатки. Можно отметить несколько наиболее крупных недостатков.

Первое это то, что в Законе не четко проработана и сформулирована государственная политика в области энергосбережения, не указаны реперные точки энергоемкости продукции по отраслям экономики, к которым необходимо стремиться, а указана только величина, на которую необходимо снизить энергоемкость валового национального продукта к 2020 году (40%). Второй крупный недостаток закона - практически полное отсутствие в законе экологической составляющей и связи ее с энергосбережением. Третий недостаток – в Законе не прописан достаточно четко механизм осуществления контроля за выполнением его положений, а для четкой работы данного закона необходим жесткий контроль за выполнением его положений.

В связи с этим в Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ «Об энергосбережении...» постоянно дорабатывается и в него за два года (на 16.10.2012) тринадцатью законами внесено 41 изменение и дополнение [1;2] и еще несколько готовится к внесению. Анализ внесенных изменений и дополнений показывает, что некоторые поправки серьезны и необходимы. Так, например, из закона исключены две статьи (ст.32 и ст.46), а также исключены п.2 ст. 35, п.9 ст. 43 и п. 2 ст. 43. В некоторые статьи внесены необходимые изменения и дополнения, но большинство поправок носят мелкий уточняющий характер.

В связи с этим Минэнерго России представило концепцию изменений и дополнений в Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ «Об энергосбережении...», которая в частности содержит предложения по внесению следующих предложений в области энергетических обследований (ЭО) [3]:

- Конкретизация перечня объектов, подлежащих фактическому обследованию при ЭО юридических и физических лиц.
- Установление обязательности ЭО для организаций, ответственных за содержание многоквартирных домов.
- Установление упрощенного порядка проведения ЭО для организаций, затраты которых на энергоресурсы не превышают одного млн. руб. в год. Этим организациям предлагается самостоятельно составлять декларации по энергоэффективности вместо проведения обязательного ЭО.
- Продлить сроки проведения первого ЭО, установив в законе различные сроки в зависимости от вида деятельности организации и объема потребления энергоресурсов.
- Мин. энерго должно утвердить единые требования к порядку проведения ЭО, к программе энергосбережения, разрабатываемой по результатам энергетического обследования, к отчету о проведенном энергетическом обследовании, к порядку проверки качества проведения энергетических обследований саморегулируемой организацией в области энергетического обследования.
- Введение обязательного составления отчета о проведении ЭО (требования к отчету утверждаются МЭ). На основании отчета составляется энергопаспорт. Установление обязательности проверки в СРО энергопаспорта, составленного на основании данных отчета, и его соответствие федеральным требованиям.



- Создание единого координационного совета, который должен утверждать стандартные формы договоров (контрактов) на энергоаудит, типовые технические задания, принципы и методики ценообразования на энергоаудит, осуществлять информационно – методическое обеспечение деятельности участников рынка энергетического обследования, обобщать практику и готовить рекомендации по проведению ЭО и проверке их качества.

Эти и другие предложения должны пройти тщательное обсуждение как в СРО его членами, так и в министерствах и ведомствах. Кроме того, необходимо провести разработку и обсуждение других предложений, которые поступят как организаций проводящих энергообследования, так и от организаций, которые должны обследоваться.

**Список используемой литературы:**

1. <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=LAW;n=132518>
2. <http://base.garant.ru/12171109/>
3. <http://www.sro-vesti.ru/189-vazhno-kontsepsiya-izmenenij-261-fz>

УДК 620.92

**Решение проблемы энергосбережения в муниципальном учреждении образования**

*С.И. Новиков, Е.Ю. Симакова*

*Муниципальное казенное общеобразовательное учреждение  
вечерняя (сменная) общеобразовательная школа № 8, г. Томск, Россия*

В настоящее время остро стоит проблема повышения эффективности энергосбережения энергетических ресурсов. В связи с резким удорожанием стоимости энергоресурсов значительно увеличилась доля затрат на энергетические ресурсы в себестоимости продукции и оказания услуг.

Теплоснабжение МОУ «ВСОШ № 8» осуществляется по централизованному принципу (отопление от газовой котельной). В качестве основного топлива используется газ. Теплоносителем служит сетевая вода. Тепловые сети к школе проложены подземно. Тепловая сеть в здании изношена на 80 %. Учёт тепловой энергии отсутствует.

Обеспечение водой учреждения также осуществляется централизованно. Счётчики учёта потребления воды не установлены.

Налицо большие затраты в школе на электрическое освещение здания (рис. 1). Это обусловлено устаревшим технически и морально электрохозяйством школы, при этом требуется капитальный ремонт электропроводки в школе.

Отсутствие приборного учёта не стимулирует применение рациональных методов расходования теплоэлектроресурсов. Все это значительно увеличивает долю расходов из бюджета на содержание учреждений образования.

Учитывая перечисленные факторы и то, что помещение школы находится в безвозмездном пользовании, становятся очевидными не терпящие отлагательства энергосберегающие мероприятия.

С целью обеспечения энергосбережения в муниципальном общеобразовательном учреждении вечерняя (сменная) общеобразовательная школа № 8, разрабатывается программа сбережения энергоресурсов.

Основанием для разработки программы являются Федеральный Закон «Об энергосбережении» от 03.04.96 № 28-ФЗ [1], постановление Правительства РФ от 02.11.95 № 1087 «О неотложных мерах по энергосбережению» [2]; Закон Томской области [3] и постановление администрации г. Томска. Заказчиком и координатором программы выступает департамент образования администрации г. Томска.

Целями и задачами программы являются внедрение организационных, правовых, экономических, научно-технических и технологических мероприятий, обеспечивающих снижение потребления энергетических ресурсов и повышения энергетической безопасности школы, а также сокращение потерь тепловой и электрической энергии.

Для реализации программы определены сроки и этапы реализации мероприятий программы.

Первый этап (2011 год) – завершение формирования механизма управления работами по энергосбережению, формирование нормативно-правовой базы, выполнение первоочередных малозатратных, организационных и технических мероприятий.

Второй этап (2012-2013 годы) – реализация проектов, обеспечивающих получение наибольшего экономического, экологического и социального эффектов, корректировка целевых подпрограмм. Основным индикатором программы является снижение потребления энергетических ресурсов школы в 2011-2013 годах на 3 % по отношению к 2010 году.

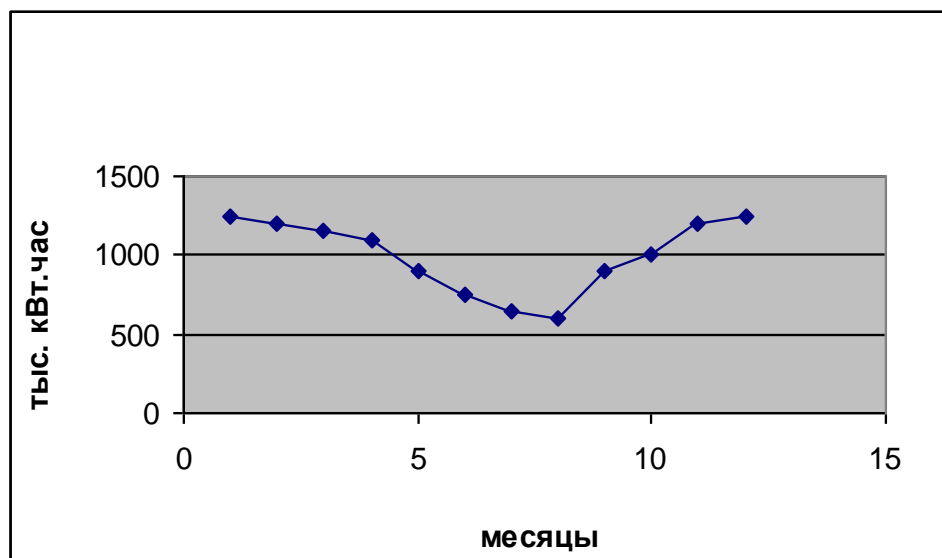


Рис. 1. Годовой ход электропотребления (усредненный по году).

Для этого разработан перечень основных мероприятий:

1. Анализ существующей ситуации.
2. Создание нормативно-правовой базы энергосбережения.
3. Организация комплексной системы учета энергоресурсов.
4. Внедрение современных энергосберегающих технологий.

Предполагается финансирование программы на 2011-2013 годы за счет средств финансирования по годам, внебюджетных, спонсорских средств, средств образовательного учреждения. Объемы финансирования программы на 2011-2013 годы за счет средств финансирования по годам из местного бюджета носят прогнозный характер и подлежат ежегодному уточнению и корректировке в установленном порядке.

Исполнение мероприятий, предусмотренных программой, позволит снизить потребления и затраты на энергетические ресурсы на 3 %.

#### Список используемой литературы:

1. Российская Федерация. Федеральный закон от 03 апреля 1996 г. № 28 ФЗ «Об энергосбережении». – М.: – 1996.
2. Постановление Правительства РФ от 02.11.1995 г. № 1087 «О неотложных мерах по энергосбережению». – М.: – 1995.
3. Закон Томской области от 28.01.1997 г. «Об основах энергосбережения на территории Томской области топлива и энергии» – Томск, – 1997.

УДК 662.764; 66.011

#### Паровая бескислородная газификация углей севера кузнецкого бассейна

*Е.И. Казакин, А.Р. Богомолов\*, Е.Ю. Темникова*

*Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово, Россия*

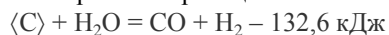
*\* Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, г. Новосибирск, Россия*

*E-mail: [kei.htf@kuzstu.ru](mailto:kei.htf@kuzstu.ru), [barom@kuzstu.ru](mailto:barom@kuzstu.ru), [teu.pmahp@kuzstu.ru](mailto:teu.pmahp@kuzstu.ru)*

Показана возможность получения в процессе бескислородной паровой газификации газа, по составу пригодного для использования в качестве сырья для химической промышленности. Установлено, что скорость конверсии увеличивается с повышением температуры процесса и расхода водяного пара.

Одним из перспективных направлений переработки угля, как альтернативы нефти и газу, является его газификация с получением в качестве продукта топливного газа или синтез-газа. Методами газификации можно получать горючие газы практически любого состава: водород, оксид углерода (II), метан, их смеси в различных соотношениях, которые могут быть использованы как сырье для химической промышленности или в качестве топлива для энергетических установок любого назначения.

Примером давно известного, но далеко не исследованного и перспективного, способа газификации может рассматриваться паровая бескислородная газификация, заключающаяся в инфильтрации через слой топлива перегретого водяного пара или водяного пара через раскаленный слой топлива. При этом протекает реакция:



Согласно этой схеме процесса может быть получен синтез-газ практически не содержащий примесей, что позволяет организовать технологический процесс производства среднекалорийных топливных (10–15 МДж/нм<sup>3</sup>) или технологических газов с высоким содержанием водорода и оксида углерода. Получаемый газ может быть использован в качестве сырья для производства метанола или жидкого топлива (по Фишеру – Тропшу) и водорода для топливных элементов или производства аммиака.

Следует отметить, что однозначного мнения по вопросу о механизме процесса паровой газификации нет [1-4]. В работе [4] рассмотрено более десятка моделей, описывающих паровую газификацию. Такое обилие моделей, видимо, указывает на то, что на процесс газификации оказывают влияние множество факторов. Анализ публикаций однозначно позволяет установить только положительное влияние температуры и давления на скорость конверсии угля и качественно оценить их воздействие на степень, скорость конверсии сырья и на состав продуктов. Это подтверждается экспериментальными результатами разных исследователей, в том числе и авторов данной работы (табл. 1).

Газ, получаемый при традиционных способах газификации, содержит значительное количество CO<sub>2</sub>, что снижает эффективность процесса. Этот недостаток минимизирован в способе обработки топлива (в стационарном или кипящем слое) водяным паром, предварительно нагретым до нужной температуры. Такая организация процесса к тому же позволит экономить до 20% угля, т.к. не требует сжигания части его для поддержания необходимой для протекания процесса температуры.

Таблица 1. Состав газообразных продуктов газификации различных углей.

Угольное месторождение	Shin-Yubari [4]	Shin-Yubari [4]	Ирша-Бородинское [3]	ш. «Березовская», (Кузбасс)
T, К	1070	1070	1130	1100
P, МПа	0,34	1,0	0,1	0,1
Степень конверсии углерода, %	58	58	близка к 100%	близка к 100%
[CO], %	13,0	15,0	30,8	31,4
[H <sub>2</sub> ], %	58,0	58,0	35,7	62,0
[CO <sub>2</sub> ], %	20,0	18,0	18,0	6,5
[CH <sub>4</sub> ], %	9,0	9,0	1,4	0,1

Нами проведены исследования влияния параметров газифицирующего агента (водяного пара) на эффективность процесса, которую определяли по скорости конверсии углерода твердого топлива. В качестве сырья использовали штыб угля шахты «Березовская». Характеристики использованного сырья следующие: доля влаги W<sup>a</sup> = 1,08%, выход летучих веществ V = 19,27%, зольность A = 9,59%. Исходные угли подвергались предварительной карбонизации (удаление летучих веществ) путем прогрева при температуре 600°C в течении 30 минут. Для исследований использовали частицы класса крупности от 3 до 4 мм.

При проведении процесса непрерывно регистрировали температуру пара, подаваемого в реактор, температуру внутри слоя газифицируемого сырья, температуру продуктов на выходе из образца, расход пара, подаваемого в реактор и концентрации компонентов получаемого газа (CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, O<sub>2</sub>). По завершении эксперимента определяли степень конверсии:

$$\tilde{O}_e = \frac{m_0 - m_\tau}{m_0} \cdot 100\%,$$

где:  $m_0$  – исходная масса образца;  $m_\tau$  – масса образца по окончании эксперимента.

Скорость процесса  $k$ , собственно и характеризующая эффективность процесса, определяли как отношение степени конверсии ко времени проведения газификации:

$$k = \frac{X_e}{\tau}$$

Как было отмечено ранее, перегретый водяной пар в нашей установке выполняет роли и реагента и теплоносителя. Поэтому от количества пара, подаваемого в реактор должны зависеть температура в зоне реакции и, следовательно, скорость конверсии углерода. Если же учесть использование пара как реагента, то избыток пара (или увеличение его количества) должен приводить к увеличению скорости химических реакций с его участием и степени конверсии сырья, что и было подтверждено экспериментальными результатами (рис. 1).

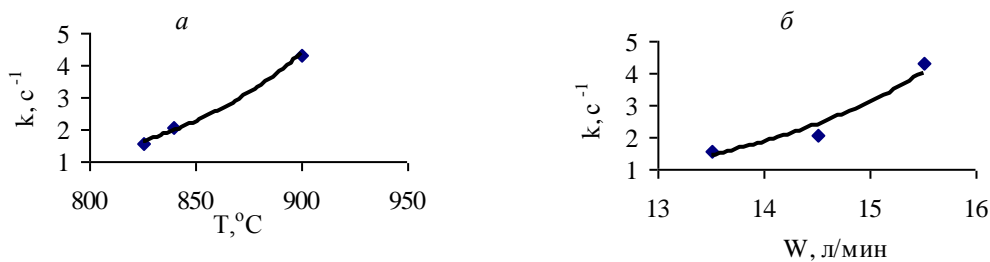


Рис. 1. Влияние температуры в слое сырья (а) и расхода  $W$  перегретого водяного пара (б) на скорость конверсии углерода

Из рисунка 1а видно, что с увеличением температуры процесса в слое от 825 до 900°C скорость процесса увеличивается в 3 раза. Увеличение расхода водяного пара (скорости инфильтрации в плотном слое, рис. 1б) с 13,5 до 15,5 л/мин при одинаковой температуре процесса газификации позволяет повысить скорость газификации также почти в 3 раза.

На рис. 2 приведены характерные результаты исследования кинетики газовыделения в процессе газификации карбонизированного угля.

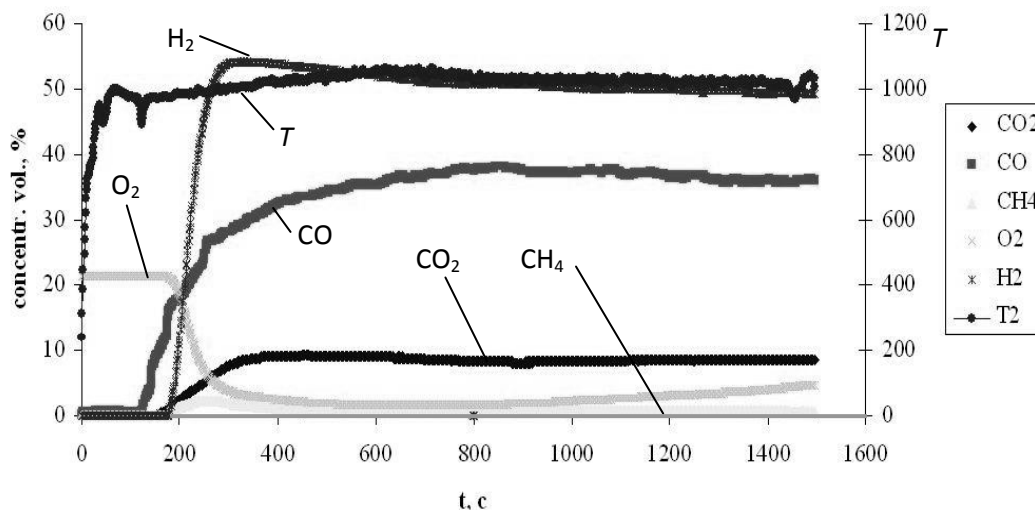


Рис. 2. Зависимость выхода газообразных продуктов газификации от времени

По экспериментальным данным рассчитаны значения констант скорости и энергии активации процесса (табл. 2).

Таблица 2. Константы скорости и энергия активации процесса газификации

T, К	$\tau$ , с	$m_0$ , г	$m$ , г	$k_S \cdot 10^4$ , с <sup>-1</sup>	$E_a$ , кДж/моль
1033	900	1,0156	0,9324	0,96	43,6
1273	900	1,0551	0,8444	2,5	

**Заключение**

На основе проведенных исследований, можно сделать вывод, что для эффективного использования твердого топлива, не только как энергетического сырья, но и как перспективного сырья для химической промышленности, следует подробно исследовать методы паровой газификации, позволяющие получать топливный и технологический газ с минимальным количеством балластных примесей.

**Список используемой литературы**

1. Глуценко, И. М. Теоретические основы технологии горючих ископаемых / И. М. Глуценко. – М.: Металлургия, 1990. – 296 с.
2. Баскаков, А. П. О механизме паровой газификации / А. П. Баскаков, А. М. Дубинин, В. Г. Тупоногов, Д. В. Филиппов // Промышленная теплоэнергетика. – 2008, № 4. – С. 40-42.
3. Дубинин, А. М. Паровая бескислородная газификация углей / А. М. Дубинин // Промышленная теплотехника. – 1990, Т. 12, № 2. – С. 97-100.
4. Sharma, D. K. Modeling the Steam Gasification Reactions for Reactor Design / D.K. Sharma // Energy Sources. – 2011, Part. A., 33. – P. 57-71.

## Секция 4

## Проблемы ядерной энергетики

УДК 230.1+621.039.009

**От православия к феномену ядерной энергии:  
заимствование фрагментов методологии антропосоциального толкования****Е.В. Комлева***Институт философии и политологии, Технический университет, г. Дортмунд, Германия*

Нельзя сказать, что гуманитарные науки, философия, теология, литература и искусство XX века оставили амбивалентный феномен ядерной энергии (основные понятия - [http://narfu.ru/aan/archive/AaN\\_2012\\_5.pdf](http://narfu.ru/aan/archive/AaN_2012_5.pdf)), как важную часть бытия, без внимания (см., например, три мои статьи по адресу <http://e-conf.nkras.ru/konferencii/econf/filos.html>). Но этого внимания явно мало. И, пожалуй, недостает примеров, индивидуальных и коллективных, “высшей пробы” по таланту “исполнителей”. Нет достойной методологической базы и полноты смотрения. Такая база может формироваться через фундаментальные аналогии, которые необходимо выбрать. Полезным обещает быть социокультурное сопряжение феномена ядерной энергии и религии. Прежде всего - подход от постулатов и богословских достижений христианства и Православия. Обозначим лишь предпосылки и контуры такого подхода от богословского толкования Православия к толкованию ядерной энергии в социокультурном пространстве. Мы не будем затрагивать вопросы веры в Бога. Аналогично, в какой-то мере, учебным курсам “Основы православной культуры”. Будем направляемы лишь спецификой методологии Православия и, в контексте сопряжения феноменов, основными вопросами “зачем?”, “почему?” и “как?”

**ВСЕЛЕНСКОЕ И ЦИВИЛИЗАЦИОННОЕ РОДСТВО**

У ядерного и религиозного феноменов много общего в базисе и пограничных темах. Ядерной энергии присущи элементы вечности по сравнению с жизнью человечества, а также прямой “вклад” в реальность его существования. Что в сфере социальных явлений имеет хоть как-то схожие параметры времени и значимость для осмысления генезиса человека и проявления людей как цивилизации? Конечно же, прежде всего, религия, а также ее мировоззренческая составляющая. Христианство и Православие ориентируют человека на вечность, рассматривают ключевые проблемы в таком ракурсе. Они дают нормы, иногда парадоксальные, земной (внешней и внутренней) жизни людей – добра и зла, чтобы иметь достойную перспективу будущего.

Человек принадлежит двум мирам - материальному и духовному. С одной стороны, мы - дети энергии и вещества звезд. Мы состоим из молекул, атомов и атомных ядер, то есть ядерная энергия не только вне, но и внутри нас. В прямом и переносном смыслах. С другой, - “Бог - Отчужденный”. Уже начало жизни, как известно, трактуют именно эти две концепции.

**ЗАЧЕМ НУЖНО?**

Согласно христианству и Православию, мир устроен так, что есть рай и ад. Человечество должно выбирать между ними. С полным осознанием и того, и другого. Ядерная энергия деяниями людей может на Земле обеспечить либо одно, либо другое. Познание ядерной энергии (в антропосоциальном контексте) и овладение ей имеют обнадеживающий смысл только в единстве с глубоким пониманием сути человека и общества как основы действий в ядерной сфере.

Православие приводит к мысли, что наше нынешнее, так называемое нормальное, состояние глубоко ненормально по существу. Потенциал человека велик, но нельзя, чтобы человек “неочищенный” проявлял себя в полной силе. Богоподобная природа человека с огромным потенциалом глубоко повреждена. Как следствие, политическое и научно-техническое развитие человечества вопреки первоначальным благим намерениям привело к возможности краха земной цивилизации. В глобальном плане необходимо очеловечить человечество, победить внутреннее зло в человеке, чтобы не случались все новые и “совершенные” “Содомы” и “Гоморры”. Причем апологеты Православия (например, профессор-богослов А. Осипов) доказывают это вполне светски, научно, логично, исторично, на фактах [1]. Добавим, что далеко не все ладно с чистотой души и у профессионалов ядерного дела. А это - !?!?

Хотя у Православия пока нет однозначного, на все случаи “ядерной” жизни мировоззренческого “рецепта”, оно располагает общечеловеческим опытом, который формировался тысячи лет. Опыт этот и истина Откровения (если принять таковое за факт)

позволяют черпать из них многое вновь и вновь. И это хороший базис при грядущем соосмыслении, совместно атеистами и верующими, ядерного феномена и человечества. Непродуктивно упорствовать и блокировать продвижение, сосредоточившись исключительно на анализе истинности и правомочности религии. Целесообразно методологически учиться у мировоззрения, которое "во веки веков". Поэтому в предстоящем сотрудничестве предпочтительны каноны и апологеты религии. Хотя без внимания не должны быть оставлены и доводы критиков религии, особенно когда они мотивируют всестороннее обсуждение вопросов методологии.

Мы не призываем критиковать религию или примитивно подстраиваться под ее каноны. Мы ищем для духовно-гуманитарной рефлексии ядерного феномена достойные интеллектуальные ракурсы и ресурсы, основания, позиции, концепции, принципы, подходы. И тут богатейший опыт религии как особого рода мировоззрения и устойчивого социального явления никак нельзя не использовать. При тщательности и корректности обращение к этому феномену возможно без ущерба для религиозных каноников и без нареканий со стороны светских философов. Потому что христианство, в изначальном смысле, если не считать его Откровением, – это некая гениальная "задумка", пример пути, который только и может дать результат позитивного изменения гибнущего мира через изменение человека.

Богословом в духовно-гуманитарном осмыслении феномена ядерной энергии и формировании приемлемого социоядерного будущего, думается, должна быть отведена важная роль. Особенно православным. База – оставшаяся, на фоне радикальных изменений (искажений первоначальной сути) других ветвей христианства, ориентация Православия на внутренний мир человека, на его духовное самосовершенствование. Лишь Православие еще имеет шанс не увлечься исключительно омирщением и социализацией, не отойти от первоначальной и главной задачи христианства – видеть глубинный корень всех бед и радостей, потерь и благ, земного и вечного, индивидуального и общечеловеческого бытия. В итоге – сохранить стремление к полноте очищения души, внутреннего мира человека.

#### ПОЧЕМУ ВОЗМОЖНО?

Апологеты Православия "идут" в народ научно-технической сферы. Патриарх Московский и Всея Руси Алексий II писал: "Без упования на Господа... невозможен подлинный успех в области ядерной энергии" [2]. Наука и религия методологически во многом не являются абсолютными антагонистами. В глобальной проблеме возможности познания мироздания (в познании микромира и мегамира особенно.) их взгляды сходятся – адекватно познать нельзя. Наука и религия не только не антагонистичны, но и морально-нравственно начинают сближаться.

Протоиерей Д. Кирьянов отмечает: "С момента возникновения во второй половине XX века междисциплинарной области исследований «наука и религия» сформировалось множество концептуальных подходов... соотношения науки и религии". Рассматривалась даже "программа «критического реализма» как моста между наукой и религией", а также - методологические параллели [3]. Достаточно известно к тому же, на большем уровне обобщения, что христианство, например, методологически взаимодействовало и взаимодействует с различными нехристианскими культурами.

Различные религии уже высказывались по поводу ядерного оружия [4]. Адекватная религиозная оценка "мирного атома", видимо, впереди. Обращение к достижениям мыслителей религиозной философии, практическому опыту Церкви и религиозных средств массовой информации может дать многое. Русская Православная Церковь, например, считает, что "внедрение" незыблемых духовных ценностей в научно-техническое творчество далеко выходит за национально-государственные рамки, непосредственно относясь к поискам оснований для строительства общечеловеческой цивилизации в новом тысячелетии [5].

Всемирный Русский Народный Собор провел в Сарове слушания "Ядерные вооружения и национальная безопасность России" и "Проблемы взаимодействия Русской Православной Церкви и ведущих научных центров России". Знаковым событием в процессе сближения подходов естественных наук и религии к познанию мира явилось присвоение в 2010г Патриарху Кириллу степени почетного доктора НИЯУ МИФИ.

Профессор-богослов А. Осипов в 1991-99 годы был сопредседателем резонансной ежегодной Международной Конференции "Наука. Философия. Религия" в Объединённом институте ядерных исследований. Он более двадцати лет успешно читал лекции и дискутировал в аудитории физиков-ядерщиков, напоминая об ответственности ученых, в 2011г. получил в Дубне почетную награду ОИЯИ за выдающиеся достижения в богословии и многолетнее сотрудничество

с этим институтом. Он же при толковании догмата Святой Троицы как удачные аналогии неоднократно использует концепты “человек” и “атом” [1].

#### ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ СОПРЯЖЕНИЯ

Назовем лишь некоторые возможные ракурсы:

космизм/вселенность;

Троица;

единение с человеком;

всечеловечность (“и иудей, и эллин...”);

“по делам и мыслям нашим...”;

вера в свое дело, идейная твердость, святоотеческие традиции.

#### СОВРЕМЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ: ПРАГМАТИКА “ТОЧЕК РОСТА”

В России есть два ядерно-религиозных центра - Саров и Сергиев Посад. Высказано предположение о третьем [6].

Главный вопрос атомной энергетики сегодня не технологический, а психологический, сказал, подводя итоги состоявшегося в рамках Петербургского экономического форума – 2012 “круглого стола” “Атомная энергетика: год после Фукусимы”, генеральный директор Росатома С. Кириенко (<http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=3854>). Атомная энергетика в России умрет без поддержки общественности, заявил журналистам первый заместитель гендиректора Росатома А. Локшин в кулуарах седьмого международного общественного форума-диалога “Атомная энергия, общество, безопасность - 2012” ([http://www.ria.ru/atomtec\\_news/20120905/743554229.html](http://www.ria.ru/atomtec_news/20120905/743554229.html)). Говоря, скорее всего, о сиюминутных частностях, чиновники, не ведая того, что называется, “попали в яблочко”.

Осмысление ядерного феномена и укоренение в социуме ядерного техно в значимых для цивилизации, легитимных и безопасных масштабах, как и религии (по крайней мере – христианства), глобально должно иметь цель не погубить человека, а спасти его. Ядерный пример, экзаменованный в координатах канонов Православия и в контексте социоядерного антропного принципа и социокультурной парадигмы ([http://narfu.ru/aan/archive/AaN\\_2012\\_5.pdf](http://narfu.ru/aan/archive/AaN_2012_5.pdf); <http://www.dialog21.ru/biblio/komleva.htm>), послужит формированию общей социоядерной ментальности, индивидуальной и государственной. Созданию цивилизованных мировоззренческих и социально-гуманитарных оснований мудрого развития других амбивалентных относительно всего человечества наук и технологий, число которых впредь будет лишь множиться. В совокупности это может способствовать консолидации человечества перед лицом глобальных вызовов, грозящих ему уничтожением. А также выработке механизма осознания всеобщей сопричастности и социальной ответственности человечества за свою судьбу.

Более ранняя попытка постановки темы обозначена в предыдущих моих публикациях (<http://noc.chgaki.ru/?page=conf>; Религия и феномен ядерной энергии: контуры социокультурного сопряжения. Специальный диплом за статью на конкурс научных работ “Ответственность религии и науки в современном мире”, ноябрь 2005 г., Библейско-Богословский Институт святого апостола Андрея, Москва; <http://helion-ltd.ru/komleva-sp-11-2008/>; <http://helion-ltd.ru/philosophical-base/>; <http://www.voskres.ru/economics/komleva.htm>; <http://e-conf.nkras.ru/konferencii/econf/filos.html>; <http://www.lawinrussia.ru/node/164207>; <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/10627.html> и др.). Она соответствует тенденции общего усиления гуманизации и гуманитаризации естественнонаучной и технической сфер.

Благодарю за поддержку исследований и ценные комментарии профессора Brigitte Falkenburg.

#### Список используемой литературы:

1. Осипов А.И. Аудио-лекции ([http://www.aosipov.ru/audio/audio\\_obschii\\_spisok\\_lectsij.html](http://www.aosipov.ru/audio/audio_obschii_spisok_lectsij.html)).
2. Приветствие Патриарха Московского и Всея Руси Алексия II участникам слушаний “Ядерные вооружения и национальная безопасность России” (<http://pravсаров.nne.ru/content/publication/461/552/486/518.html>).
3. Кирьянов Д.В. Наука и религия: многообразие методологических подходов // Труды Тобольской Духовной семинарии, выпуск 2. – Тобольск: Тобольская Духовная семинария, 2011. – С. 117-134.
4. Ethics and weapons of mass destruction: religious and secular perspectives / edited by S.H. Hashmi and S.P. Lee. - Cambridge, 2004. - 533 p.
5. Доклад Патриарха Алексия II на Юбилейном Архиерейском Соборе РПЦ, 2000г.
6. Комлева Е.В. Антропосоциоядерный феномен // Век глобализации. – 2011, №2. – С. 140-149.



УДК 621.039

**Анализ аварийной ситуации течь первого контура на третьем энергоблоке Кольской АЭС****И.И. Коростелева, А.Г. Коротких***Томский политехнический университет, г. Томск, Россия***E-mail: korosteleva1990@yandex.ru**

Проведен расчетный анализ аварии «течь первого контура в сочетании с отказом системы аварийной подпитки» и распространения водорода в герметичных помещениях Кольской АЭС. По результатам расчетного анализа разработаны рекомендации по предотвращению взрывоопасных ситуаций.

Стратегия развития топливно-энергетического комплекса России в первой половине XXI века предусматривает увеличение доли атомной энергетики в структуре генерирующих мощностей. В период 2010–2020 годов планируется ежегодный ввод в эксплуатацию АЭС суммарной установленной мощностью до 2000 МВт. Большая часть вводимых АЭС будет оснащена реакторами типа ВВЭР (водо-водяной энергетический реактор).

Анализ программных документов Правительства России по развитию атомной энергетики показывает, что в ближайший период необходимо решить задачу выбора и обоснования конфигураций новых проектов АЭС с ВВЭР, прежде всего, определения технических решений и мер повышающих безопасность новых проектов.

Одними из требований по обеспечению безопасности являются «Правила обеспечения водородной взрывозащиты на атомной станции» [1]. Они устанавливают основные принципы взрывозащиты и требования к взрывозащите, реализуемые при проектировании и эксплуатации с целью предупреждения и ослабления проектных и запроектных аварий (ЗПА), сопровождающихся взрывом водородсодержащих смесей.

В связи с этим на Кольской АЭС возникает необходимость провести анализ возможных аварийных ситуаций с образованием больших концентраций водорода в герметичных помещениях (ГП), для установления соответствия современным нормам по обеспечению водородной взрывозащиты.

Основными источниками водорода на внутрикорпусной стадии аварии являются пароциркониевая и паростальная реакции, возникающие вследствие взаимодействия элементов (фрагментов) активной зоны и внутрикорпусных устройств с теплоносителем. При этом различные сценарии аварий отличаются скоростями и количеством выхода водорода.

В данной работе представлены результаты расчете сценария аварии «течь первого контура диаметром 100 мм в сочетании с отказом системы аварийной подпитки» на третьем энергоблоке Кольской АЭС [2]. Моделирование сценариев аварий необходимо для разработки методов управления водородной ситуацией.

Расчет производится с помощью интегрального кода СОКРАТ [3], который включает в себя: код РАТЕГ, предназначенный для моделирования теплогидравлических процессов в реакторной установке (РУ) ВВЭР, программный пакет СВЕЧА – для моделирования процессов разрушения активной зоны при тяжелых ЗПА, код ГЕФЕСТ, предназначенный для моделирования теплофизических явлений в расплаве активной зоны и внутрикорпусных устройств, код КУПОЛ-М – для расчета термодинамических параметров среды в объеме защитной оболочки АЭС с ВВЭР при авариях с потерей теплоносителя.

Уравнения, используемые интегральным кодом Сократ при моделировании аварий:

- 1) Уравнение неразрывности для кислорода и циркония:

$$\frac{\partial C_j}{\partial \tau} = - \frac{\partial(f_o^j \cdot r)}{(r \cdot \partial r)}; \frac{\partial(r \cdot v_f)}{\partial r} = 0,$$

где  $f_o^j(r, \tau, t)$  – полный поток кислорода в j-ом слое,  $1/m^2 \cdot c$ ;  $C_j(r, \tau)$  – концентрация кислорода в j-ом слое,  $1/m^2$ ;  $r$  – радиус слоя, м;  $v_f$  – скорость смещения несжимаемой решетки циркония j-ого слоя, м/с;

- 2) Нестационарное уравнение теплопроводности:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \nabla^2 t + \frac{q_v}{c\rho},$$

где  $a$  – коэффициент температуропроводности,  $m^2/c$ ;  $q_v$  – тепловой поток,  $Вт/m^3$ ;  $c$  – удельная теплоёмкость,  $Дж/кг \cdot К$ ;  $\rho$  – плотность,  $кг/m^3$ ;  $\tau$  – время, с;  $t$  – температура, К.

Системы обыкновенных дифференциальных уравнений сохранения импульса:

$$\frac{dM}{d\tau} = \frac{d}{d\tau} \sum_k m_k = \sum_k (\sum_j G_j - \sum_i G_i^{con} - \sum G_{bub}^{con})_k,$$

$$P = \sum_k \rho^k R^k t = \sum_k P^k,$$

$$V \rho_m c_m \frac{dt}{d\tau} = -\sum_n (\rho_m c_m v S)_n (t - t_n) - \sum_m (\alpha F)_m (t - (t_w)_m) + J_v(r_v) + V \frac{dP}{d\tau},$$

где  $M$  – масса парогазовой смеси, кг;  $m_k$  – масса  $k$ -ой компоненты парогазовой смеси, кг;  $G_j$  – изменение массы  $k$ -ой компоненты парогазовой смеси за счет перетечек и внешних источников, кг/с;  $G_i^{con}$  – изменение массы  $k$ -ой компоненты парогазовой смеси за счет конденсации, кг/с;  $G_{bub}^{con}$  – изменение массы  $k$ -ой компоненты парогазовой смеси за счет объемной конденсации, кг/с;  $R$  – газовая постоянная смеси газов, Дж/(кг·К);  $V$  – объем, м<sup>3</sup>;  $c_m$  – теплоемкость парогазовой смеси, Дж/(кг·К);  $\rho_m$  – плотность парогазовой смеси, кг/м<sup>3</sup>;  $v$  – скорость среды, м/с;  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $F$  – величина, характеризующая сопротивление канала, соединяющего смежные боксы;  $t_w$  – температура стенки, °С;  $r_v$  – теплота фазового перехода, Дж/кг.

Исходные данные для моделирования кодом СОКРАТ:

1) реактор: тепловая мощность – 1375 МВт, номинальное давление в 1 контуре 12,26 МПа, расчетное давление в 1 контуре – 13,72 МПа, расход воды через реактор – 41800 м<sup>3</sup>/ч, температура воды на входе в реактор 268 °С, температура воды на выходе из реактора – 297 °С, средний подогрев теплоносителя – 29 °С, перепад давления на реакторе 0,34 МПа, высота корпуса – 11,8 м, максимальный диаметр корпуса 4,27 м, общее количество кассет в активной зоне – 349, количество твэл в рабочей кассете – 126, количество твэл в кассете аварийных регулирующих кассет (АРК) – 126, тип кассеты – чехловая шестигранная, размер чехла 143 мм, длина рабочей части кассеты – 2420 мм, длина кассеты АРК – 2320 мм, масса топлива в рабочей кассете – 120,2 кг, масса топлива в кассете АРК – 120,2 кг;

2) парогенератор: тепловая мощность – 229 МВт, паропроизводительность – 452 т/ч, давление генерируемого пара – 4,61 МПа, температура генерируемого пара – 258,8 °С, температура питательной воды при номинальной мощности – 223 °С, температура питательной воды при отключении ПВД – 158 °С, поверхность теплообмена – 2500 м<sup>2</sup>;

3) компенсатор давления: внутренний объем – 38 м<sup>3</sup>, объем пара в номинальном режиме – 16 м<sup>3</sup>, внутренний диаметр – 2400 мм, высота корпуса – 9200 мм, толщина стенки корпуса в цилиндрической части – 140 мм.

Результаты расчета сценария аварии «течь первого контура диаметром 100 мм в сочетании с отказом системы аварийной подпитки» представлены на рис. 1 и в табл. 1–2.

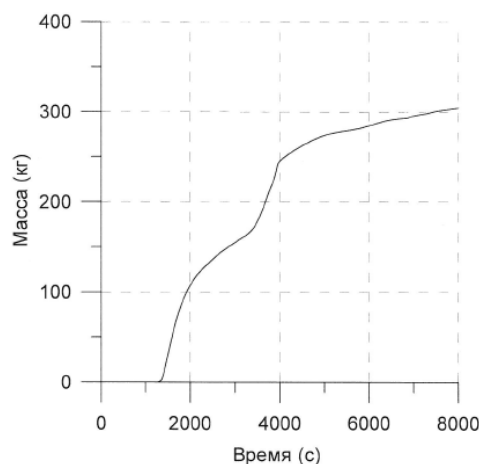


Рис. 1. Интегральный выход водорода в течь эквивалентным диаметром 100 мм.

Согласно расчетным данным начало интенсивной генерации водорода происходит при  $\tau = 1184$  с и при  $\tau = 8000$  с достигает максимального значения.

Таблица 1. Основные события аварийного процесса.

Основные этапы развития аварии	Время, с
Исходное событие – течь 1-го контура $d = 100$ мм	0
Срабатывание аварийной защиты	9,6
Отключение турбогенераторов	19,6
Начало выбега ГЦН	22
Начало осушения активной зоны	19
Начало разогрева активной зоны	580
Начало генерации водорода	1184
Полное осушение активной зоны	1238
Превышение температуры оболочек твэл проектного предела (1473 К)	1250
Начало выхода материалов разрушенной части активной зоны и элементов внутрикорпусных устройств в нижнюю камеру реактора	2922
Превышение температуры плавления топлива в разрушенной области активной зоны ( $T > 2850$ К)	1355
Окончание расчета	8500

Таблица 2 – Основные данные по выходу водорода

Параметр	Количество
Наработка водорода	308 кг
Пиковая скорость генерации водорода	0,25 кг/с

Анализ результатов расчета показал, что в отсутствие мер по подавлению водорода и управлению авариями невозможно выполнение всех требований обеспечения водородной безопасности в герметичных помещениях.

К основным требованиям относятся:

1. исключение детонации и дефлаграции водородосодержащих смесей в помещениях, расположенных в объеме, ограниченном герметичным ограждением, при проектных авариях;
2. детонация водородосодержащих смесей исключается, а дефлаграция допускается при условии, если локализирующие системы безопасности выполняют функции, определенные проектом атомной станции.

Таким образом, концепция обеспечения водородной безопасности для сценариев типа малая течь предусматривает выполнение сочетания следующих мер: применение системы пассивных каталитических рекомбинаторов водорода и мер по инертзации среды паром путем управления спринклером.

При выборе мест размещения рекомбинаторов рекомендуется равномерное по объему контейнента распределение мощностей рекомбинаторов. Выбираем 37 рекомбинаторов типа РВК-2 производительностью 0,32 г/с при концентрации водорода 5 %. К моменту образования максимальных концентраций система пассивных каталитических рекомбинаторов снизит количество водорода на 140 кг, что обеспечит выполнение требований водородной безопасности в конкретных условиях тяжелых аварий на АЭС.

#### Список используемой литературы:

1. Правила обеспечения водородной взрывозащиты на атомной станции. – М.: Госатомнадзор России, – 2002. – 20 с.
2. Учебный материал для обучаемого. Система удаления водорода из герметичных помещений системы локализации аварий 3 блока Кольской АЭС. – М.: 2010. – 19 с.
3. Системный тяжелоаварийный код СОКРАТ/В1. Руководство пользователя. – М.: АНО ЦАБ ИБРАЭ РАН, – 2010. – 8 с.

**Система соотношений, используемая для замыкания уравнений двухжидкостной модели, применяемой для анализа развития аварий в реакторах с жидкометаллическим охлаждением**

**М.Е. Кузнецова, А.А. Бутов, И.С. Вожаков, И.Г. Кудашов, Э.В. Усов, С.И. Лежнин, Н.А. Прибатурин**

*Институт проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук, Новосибирский Филиал, г. Новосибирск, Россия*

**E-mail: [kuznetsovamarina89@gmail.com](mailto:kuznetsovamarina89@gmail.com), [usovev@ngs.ru](mailto:usovev@ngs.ru)**

Разработана система соотношений, описывающих межфазные взаимодействия при течении двухфазного жидкометаллического теплоносителя. Проведена верификация предложенных соотношений. Теоретически исследовано влияние неконденсируемых газов на теплообмен при фазовых переходах.

Численный анализ развития аварий в ядерных энергетических установках позволяет получить детальную картину происходящих во время аварии процессов. Основной сложностью моделирования течения жидкометаллического теплоносителя в реакторе в аварийном режиме является его двухфазность.

Правильность расчета процессов, происходящих в двухфазном потоке, определяется тем, насколько точно модельные соотношения для механического и теплового взаимодействия фаз описывают реально происходящие процессы. Механизмы межфазного трения определяются режимами течения. В пузырьковом режиме течения трение рассчитывается как трение жидкости о сферический паровой пузырь, в дисперсно-кольцевом – как сумма сил трения сферических капель в паровом потоке и парового ядра о пленку жидкости, в дисперсном – трение газа о сферические капли.

Режим	Коэффициент межфазного трения
Пузырьковый режим $0 < \alpha \leq 0.3$	$F_{i\_bub} = -C_0 C_{bub} V_{gf}$ $C_0 = 1,2 - 0,2 \sqrt{\rho_g / \rho_f}$ $C_{bub} = 0,75 C_{db} \alpha \rho_f / D_{bub}$ $C_{db} = \begin{cases} 240, & Re_{bub} < 0,1031 \\ 24 \cdot (1 + 0,15 Re_{bub}^{0,687}) / Re_{bub}, & Re_{bub} < 989 \\ 0,44, & Re_{bub} > 989 \end{cases}$ $V_{gf} =  V_g - V_f $ $Re_{bub} = D_{bub} \rho_f V_{gf} / \mu_f$
	$F_i = F_d + F_{an}$ $F_d = A_d \left( \frac{C_d \cdot 0,796 \cdot R_d \cdot \rho_g \cdot (V_g - V_d)^2}{4 \cdot D_d} \right) \frac{1}{V_g - V_f}, \quad C_d = \frac{24}{Re_d} (1 + 0,1 Re_d^{0,75}),$ $Re_d = \frac{D_{bub} \rho_g (V_g - V_d)}{\mu_g / (1 - \alpha_d)^{2,5}}, \quad V_g - V_d = D_d \left[ \frac{(g \Delta \rho)^2}{\mu_g \rho_g} \right]^{1/3} \alpha_d (1 - \alpha_d)^{1,5}, \alpha_d = E^* \frac{\alpha_f V_f}{\alpha_g V_g}$ $D_d = We_{cr} \sigma_f / \rho_g (V_g - V_f)^2, \quad D_d < 0,9 \cdot D_h \quad A_d = 6 \alpha_f E^* / D_d$ $E^* = [1 - (1 - 1/E)(V_d / V_f)]^{-1}, \quad E = th(7,25 \cdot 10^{-7} Re^{0,25} We^{1,25}),$ $We = \rho_g (\alpha V_g)^2 D_h / \sigma \cdot ((\rho_g - \rho_f) / \rho_g)^{1/3} \quad Re = \rho_f (1 - \alpha) \cdot V_f D_h / \mu_f$
Дисперсно-кольцевой режим $0.7 \leq \alpha \leq 0.999$	$F_{an} = C_{an} \rho_g V_{gf} A_{i\_film} / 2, \quad A_{i\_film} = 4 \sqrt{\alpha + (1 - \alpha) E^*} / D$ $C_{an} = \begin{cases} 64 / Re_{gl}, & Re_{gl} < 500 \\ 0,2 \cdot \left( 1 + 150 \frac{1 - (\alpha + (1 - \alpha) E^*)}{1 + \sqrt{\alpha + (1 - \alpha) E^*}} \right), & Re_{gl} > 1500 \end{cases}$ $Re_{gl} = V_{gf} D_{hyd} \rho_g \sqrt{\alpha + (1 - \alpha) E^*} / \mu_g$
	$C_d = \frac{24}{Re_d} + \frac{4}{Re_d^{1/2}} + 0,4$
Дисперсный режим $0.9999 \leq \alpha < 1$	

Рис. 1. Коэффициент межфазного трения.

В переходном, между пузырьковым и дисперсно-кольцевым, режиме используется логарифмическая интерполяция коэффициента межфазного трения ввиду отличия коэффициентов на четыре порядка.

Сила межфазного трения для режима, переходного между дисперсным и дисперсно-кольцевым, аппроксимировалась линейно.

Процесс межфазного теплообмена определяется значением коэффициентов теплоотдачи жидкость - межфазная поверхность и межфазная поверхность - пар.

Для нахождения коэффициента теплоотдачи на межфазной границе для жидких металлов необходимо знать коэффициент теплоотдачи от жидкости, определяемый скоростью межфазного теплообмена и коэффициент теплоотдачи, обусловленный процессами теплопереноса в приповерхностном слое.

Коэффициент теплоотдачи существенно зависит от структуры течения. На данный момент рекомендуется выделять 3 режима межфазного теплообмена: пузырьковый, кольцевой и закризисный. В пузырьковом режиме коэффициент теплоотдачи на межфазной границе в жидкости определяется двумя возможными механизмами: конвекция при обтекании потоком жидкости пузырька и перенос тепла, связанный с ростом пузырька. В кольцевом - коэффициентом теплоотдачи тонкой пленки за счет теплопроводности. В закризисном режиме коэффициент теплоотдачи выбирается таким, чтобы удержать жидкость при высоких паросодержаниях на линии насыщения. Выражения для коэффициентов теплоотдачи приведены на рис. 2.

Режим теплоотдачи	Коэффициент теплоотдачи
Общий вид	$h_{if} = \frac{h_{if}^{in} h_{if}^{\Gamma}}{h_{if}^{in} + h_{if}^{\Gamma}} \quad h_{if}^{\Gamma} = \sqrt{\frac{M_{Na}}{2\pi R}} \cdot (H_f - H_g)^2 \cdot M_{Na} \cdot \frac{P}{R \cdot T_s^{2,5}}$
Пузырьковый режим $\alpha \leq 0.3$	$h_{if}^{in} = h_{if}^{conv} + h_{if}^{therm} = (Nu^{them} + Nu^{conv}) \cdot K_f / D_{bub}$ $Nu_{conv} = 2 + 0,396 \cdot Pe^{0,5}$ $Nu_{them} = \frac{12}{\pi} \cdot \frac{\rho_f}{\rho_g} \cdot \frac{C_p^f}{H_g - H_f} (T_f - T_s)$
Кольцевой режим $0.3 < \alpha < 0.957$	$h_{if}^{in} = h_{if}^{an} = \frac{k}{D_{hyd} (1 - \sqrt{\alpha})}$
Закризисный режим $\alpha \geq 0.957$	$h_{if}^{in} = h_{if}^{an} = \frac{k}{D_{hyd} (1 - \sqrt{\alpha})}$

Рис. 2. Коэффициенты межфазного теплообмена.

Во всех двухфазных режимах температура пара удерживается на линии насыщения за счет задания коэффициента теплообмена межфазной поверхности - пар равным  $10^8$  при температуре пара большей температуры насыщения. В режиме, переходном от двухфазного течения к одному пару, используется линейная интерполяция коэффициента теплоотдачи по паросодержанию.

Для подтверждения корректности выбранных моделей было проведено сравнение результатов расчета кодом СОКРАТ-БН, в который были внедрены описанные выше модели, с экспериментальными данными из [1].

На рис. 3 (точки – эксперимент, треугольники – расчет кодом СОКРАТ-БН) видно хорошее согласие рассчитанных значений величины перегрева с экспериментальными данными.

В ядерных реакторах на быстрых нейтронах с жидкометаллическим теплоносителем над теплоносителем имеется газовая подушка из инертного газа, играющая роль защитной атмосферы, которая в случае разгерметизации контура должна минимизировать взаимодействие теплоносителя с окружающей средой. Через некоторое время (по мнению некоторых исследователей – порядка 100 часов) достигается равновесие между теплоносителем и газовой подушкой, и в соответствии с законом Генри в теплоносителе устанавливается равновесная концентрация газа. Таким образом, в теплоносителе всегда растворено некоторое количество неконденсируемых газов, которые могут высвободиться в паровые полости при кипении теплоносителя.

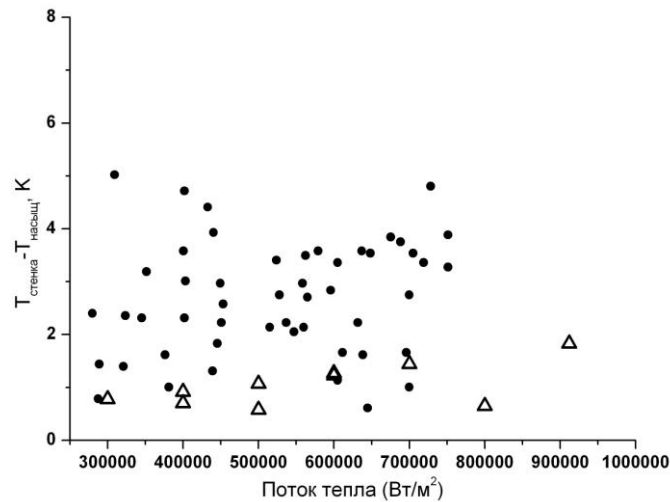


Рис. 3. Сравнение с экспериментальными данными [1].

Исследования [2] показывают, что интенсивность теплообмена в процессе конденсации сильно зависит от чистоты паров. В данной работе представлены результаты теоретического исследования влияния неконденсируемых газов на межфазный массообмен и, как следствие, на межфазный теплообмен при конденсации паров жидких металлов в кольцевом режиме течения. Получено выражение для коэффициента межфазного массообмена как функции массовой доли неконденсируемого газа в газовой фазе. Показано, что межфазный массообмен определяется скоростью диффузии пара.

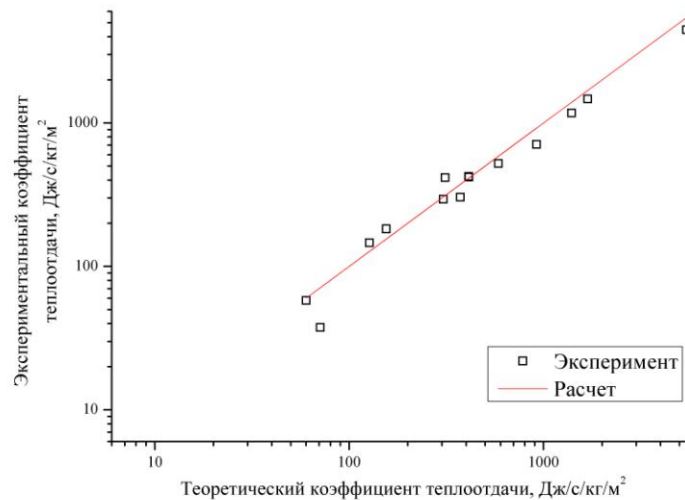


Рис. 4. Сравнение с экспериментальными данными [3].

Полученный коэффициент массообмена был верифицирован по экспериментальным данным [3] по конденсации паров калия в присутствии аргона. На рис. 4 представлены экспериментальные и теоретические коэффициенты теплообмена. Видно хорошее согласие рассчитанного коэффициента теплоотдачи с полученным в эксперименте.

#### Список используемой литературы:

1. Зейгарник Ю.А. Литвинов В.Д. Экспериментальное исследование теплообмена и потерь давления при кипении натрия в вертикальной трубе// Теплообмен – V. – 1975. – Т. 3. – Ч. 1 – С. 147 – 156.
2. Ивановский М.Н, Милованов Ю.В. Тепло и массоперенос. – М.: Наука и техника, 1968. – 387 с.
3. Kroger D.G , Rohsenow W. M. Condensation heat transfer in the presence of a non-condensable gas//Int. J. Heat Mass Transfer. – 1968. – V. 12. – P. 15 – 26.

**Состояние и перспективы ядерной энергетики****М.Е. Минькович***Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия****E-mail: shelkopryadina@mail.ru***

В статье произведена оценка состояния в ядерной энергетике. Приведен анализ тенденций развития данной отрасли. Рассмотрены вопросы экологической безопасности.

Значительный рост мирового энергопотребления в XXI веке неизбежен, особенно в развивающихся странах. Глобальное потребление энергии, по всей видимости, удвоится к середине века, даже если исходить из очень низких темпов роста. Этот рост зависит от развития мировой экономики, роста населения и стремления к более равномерному распределению потребления энергии по регионам мира.

В ближайшие десятилетия углеводородное топливо будет продолжать служить главным источником энергии, однако освоенные его месторождения исчерпываются, а введение в оборот новых требует все больших инвестиционных затрат. Следствием этого должны стать постепенные изменения в инфраструктуре производства энергии, обусловленные как экономическими (повышение цен и их изменчивость), так и природоохранными факторами, а также дальнейшим развитием технологий новых видов топлива.

В последнее время большое внимание в международных дискуссиях уделялось экологическим последствиям использования ископаемого топлива. Введение глобальных ограничений на выбросы парниковых газов и региональные ограничения на другие загрязнители атмосферы серьезно повлияют на структуру эволюционирующей мировой энергетике и потребуют значительных дополнительных инвестиций для сдерживания роста выбросов.

Позитивному решению этих проблем будет способствовать развитие ядерной энергетике. Чтобы в глобальном масштабе существенно повлиять на производство энергии, обеспечить энергетическую безопасность и ослабление парникового эффекта, производство ядерной энергии должно быть увеличено к середине века в 4-5 раз от ныне достигнутого. Наличие ядерных мощностей такого масштаба поднимает очень важные вопросы ресурсной обеспеченности дешевым топливом, обращения с отходами и распространения ядерного оружия. Очевидно, что при дальнейшем развитии ядерной энергетике необходимо обеспечить также экономическую приемлемость и соблюдение критериев технической безопасности. Крупномасштабное развитие ядерной энергетике предполагает ее использование в большем числе стран, чем в настоящее время. Это, учитывая связанные с ядерной энергетикой проблемы безопасности и нераспространения, ставит дополнительные задачи в ее развитии.

Говоря об экономической приемлемости ядерной энергетике, следует помнить, что она занимает свою нишу среди производителей энергии. В настоящее время во многих странах она обеспечивает базовую электрическую нагрузку, а в России, кроме того, высвобождает для экспорта дополнительные объемы органического топлива. В перспективе ядерная энергия будет постепенно замещать природный газ в производстве тепла для технологических процессов, и в конечном счете обеспечит производство водорода из воды, что сохранит природное органическое сырье для неэнергетического применения. Кроме того, в перспективе будет освоено опреснение морской воды с использованием ядерной энергии.

В мире имеется достаточное количество ядерных материалов для обеспечения потребностей ядерной энергетике в топливе на многие десятилетия вперед, даже при работе в открытом цикле. Однако в дальнейшем она неизбежно столкнется с ограниченностью ресурсов дешевого урана. В связи с этим придется неминуемо реализовать замыкание топливного цикла и расширенное воспроизводство топлива при использовании в качестве сырья урана и тория. Внедрением таких инновационных ядерных технологий проблемы ресурсов ядерного топлива могут быть вообще сняты.

Исключительную важность имеет проблема обращения с большими объемами руды при добыче урана, отработанным топливом и высокорadioактивными отходами. Сюда относятся работы по эффективным методам переработки отработавшего топлива, по сжиганию наиболее опасных актинидов и, возможно, долгоживущих продуктов деления.

Если обратиться к истории, станет ясно, что ещё с конца 1960-х годов начался бум ядерной энергетике. В это время возникло две иллюзии, связанных с ядерной энергетикой. Считалось, что энергетические ядерные реакторы достаточно безопасны, а системы слежения и

контроля, защитные экраны и обученный персонал гарантируют их безаварийную работу, а также считалось, что ядерная энергетика является «экологически чистой», т.к. обеспечивает снижение выброса парниковых газов при замещении энергетических установок, работающих на ископаемом топливе.

Иллюзия о безопасности ядерной энергетике была разрушена после нескольких больших аварий в Великобритании, США и СССР, апофеозом которых стала катастрофа на чернобыльской АЭС. Катастрофа в Чернобыле показала, что потери при аварии на ядерном энергетическом реакторе на несколько порядков превышают потери при аварии на энергетической установке такой же мощности, использующей ископаемое топливо. В эпицентре аварии уровень загрязнения был настолько высок, что население ряда районов пришлось эвакуировать, а почвы, поверхностные воды, растительный покров оказались радиоактивно зараженными на многие десятилетия. При этом в отношении чернобыльского выброса многое остается неизвестным, и риск здоровью населения от аварийных выбросов этой АЭС существенно занижен, т.к. в большинстве стран СНГ отсутствует хорошая медицинская статистика. Рядом исследователей США было установлено, что с мая по август 1986 года, наблюдался значительный рост общего числа смертей среди населения, высокая младенческая смертность, а также пониженная рождаемость, связанные не исключено с высокой концентрацией радиоактивного йода-131 из чернобыльского облака, накрывшего США.

За четыре летних месяца возросло количество смертей от пневмонии, разных видов инфекционных заболеваний, СПИДа по сравнению со средним числом смертей за этот период в 1983-85 годах. Все это с высокой статистически достоверной вероятностью связано с поражением иммунной системы чернобыльскими выбросами.

Такой же точной статистики нет и для большинства других стран, исключая Германию. На юге Германии, где чернобыльские выпадения были особенно интенсивными, младенческая смертность возросла на 35%.

Однако опасность ядерной энергетике лежит не только в сфере аварий и катастроф. Даже без них около 250 радиоактивных изотопов попадают в окружающую среду в результате работы ядерных реакторов. Эти радиоактивные частицы вместе с водой, пылью, пищей и воздухом попадают в организмы людей, животных, вызывая раковые заболевания, дефекты при рождении, снижение уровня иммунной системы и увеличивают общую заболеваемость населения, проживающего вокруг ядерных установок.

Департамент общественного здравоохранения штата Массачусетс с 1990 года установил, что у людей, живущих и работающих в двадцатимильной зоне АЭС «Пилигрим», около города Плимут, в 4 раза выше заболеваемость лейкемией, чем ожидалось. Статистически заметное увеличение случаев заболеваний лейкемией и раком обнаружено в окрестностях АЭС «Троян» в городе Портленд, штат Орегон. Заболеваемость лейкемией детей в поселке около британского ядерного центра в Селлафилде в 10 раз выше, чем в среднем по стране, и, несомненно, связана с его работой. Это стало известно в 1990 году, а недавно официально подтверждено Британским комитетом по радиологии.

Даже когда АЭС работает нормально, она обязательно выбрасывает изрядное количество радиоактивных изотопов инертных газов. Также как радиоактивный йод концентрируется в щитовидной железе, вызывая ее поражение, радиоизотопы инертных газов, в 70-е годы считавшиеся абсолютно безвредными для всего живого, накапливаются в некоторых клеточных структурах растений хлоропластах, митохондриях и клеточных мембранах. После установления этого факта, остается слово «инертные» всегда употреблять в кавычках, поскольку, конечно же, они оказывают серьезное влияние на процессы жизнедеятельности растений.

Радиоизотопы «инертных» газов вызывают и такой феномен как столбы ионизированного воздуха (свечки) над АЭС. Эти образования могут наблюдаться с помощью обыкновенных радиолокаторов на расстоянии в сотни километров от любой АЭС. Кто сможет утверждать, что все это никак не сказывается на состоянии и качестве окружающей среды, на миграционных путях птиц и летучих мышей, на поведении насекомых?

Одним из основных выбрасываемых инертных газов является криптон-85 бета-излучатель. Уже сейчас ясна его роль в изменении электропроводности атмосферы. Количество криптона-85 в атмосфере (в основном за счет работы АЭС) увеличивается на 5 % в год. Уже сейчас количество криптона-85 в атмосфере в миллионы раз выше, чем до начала атомной эры. Этот газ в атмосфере ведет себя как тепличный газ, внося тем самым вклад в антропогенное изменение климата Земли.



Нельзя не упомянуть и проблему другого бета-излучателя, образующегося при всякой нормальной работе АЭС, трития, или радиоактивного водорода. Доказано, что он легко связывается с протоплазмой живых клеток и тысячекратно накапливается в пищевых цепочках. Кроме того, надо добавить загрязнение тритием грунтовых вод практически вокруг всех АЭС. Ничего хорошего от замещения части молекул воды в живых организмах тритием ждать не приходится. Когда тритий распадается (период полураспада 12,3 года), он превращается в гелий и испускает сильное бета-излучение. Эта трансмутация особенно опасна для живых организмов, так как может поражать генетический аппарат клеток.

Еще один радиоактивный газ, не улавливаемый никакими фильтрами и в больших количествах производимый всякой АЭС, углерод-14. Есть основания предполагать, что накопление углерода-14 в атмосфере ведет к резкому замедлению роста деревьев. Такое необъяснимое замедление роста деревьев, по заключению ряда лесоводов, наблюдается, чуть ли не повсеместно на Земле. Сейчас в составе атмосферы количество углерода-14 увеличено на 25% по сравнению с до атомной эрой.

Но главная опасность от работающих АЭС - загрязнение биосферы плутонием. На Земле было не более 50 кг этого сверхтоксичного элемента до начала его производства человеком в 1941 году. Сейчас глобальное загрязнение плутонием принимает катастрофические размеры: атомные реакторы мира произвели уже много сотен тонн плутония - количество более чем достаточное для смертельного отравления всех живущих на планете людей. Плутоний крайне летуч: стоит пронести образец через комнату, как допустимое содержание плутония в воздухе будет превышено. У него низкая температура плавления - всего 640 градусов по Цельсию. Он способен к самовозгоранию при наличии кислорода.

Обычно, когда говорят о радиационном загрязнении, имеют в виду гамма-излучение, легко улавливаемое счетчиками Гейгера и дозиметрами на их основе. В то же время есть немало бета-излучателей (углерод-14, криптон-85, стронций-90, йод-129 и 130). Существующими массовыми приборами они измеряются недостаточно надежно. Еще труднее быстро и достоверно определять содержание плутония, поэтому если дозиметр не щелкает, это еще не означает радиационной безопасности, это говорит лишь о том, что нет опасного уровня гамма-радиации.

Наконец, важнейшей причиной экологической опасности ядерной энергетики и ядерной промышленности в целом является проблема радиоактивных отходов, которая так и остается нерешенной. На гражданских ядерных энергетических реакторах, работающих во всем мире, ежегодно образуется большое количество низко-, средне- и высокорadioактивных отходов. К этой проблеме отходов прямо примыкает проблема вывода выработавших свой ресурс реакторов.

Радиоактивное загрязнение сопровождает все звенья сложного хозяйства ядерной энергетики: добычу и переработку урана, работу АЭС, хранение и регенерацию топлива. Это делает атомную энергетику экологически безнадежно грязной. С каждым десятилетием открываются все новые опасности, связанные с работой АЭС. Есть все основания считать, что и далее будут выявляться новые данные об опасностях, исходящих от АЭС.

#### **Список используемой литературы:**

1. Бабаев Н.С., Дёмин В.Ф., Ильин Л.А. Ядерная энергетика, человек и окружающая среда. – М.: Энергоатомиздат, – 1984. – 312 с.
2. Калинин Б.А. Материаловедческие проблемы экологии в области ядерной энергетики. – М.: МИФИ, – 2010. – 346 с.
3. Атомная энергетика в структуре мирового энергетического производства в XXI веке // Энергия. – 2006. – Т. 316. – №1. – С. 2-10.

УДК: 616.5-005-001.26/28

#### **Механизмы поздних повреждений ионизирующим излучением**

**Ф.Ф. Тетенов, Я.В. Поровский\***

*Сибирский государственный медицинский университет, г. Томск, Россия*

***E-mail: [porovs@sibmail.com](mailto:porovs@sibmail.com)***

Статья посвящена проблеме поздних радиационных повреждений тканей. Наряду с анализом данных литературы представлены результаты собственных исследований.

Поздние неканцерогенные радиационные повреждения большинства нормальных тканей проявляются в уменьшении числа клеток паренхимы и в увеличении фиброзного компонента [1].

Интерес к механизмам развития таких повреждений возник давно, однако только в последние 20-25 лет появились более или менее обоснованные гипотезы об их природе. Основная задача заключалась в выяснении природы первичной "мишени" повреждения ионизирующим излучением (ИИ), которая приводит к поздним лучевым изменениям [2,3,4].

К сегодняшнему дню наиболее аргументирована "сосудистая гипотеза", при которой первичной "мишенью" являются клетки сосудистого эндотелия облучаемого органа, повреждение которого приводит к нарушению микроциркуляции, тканевой гипоксии и, как следствие, гибели клеток паренхимы и увеличение фиброзного тканевого компонента. Она приемлема для понимания механизмов поздних лучевых повреждений у онкологических больных при локальном облучении в большой суммарной дозе, развитии отдаленных последствий острой лучевой болезни и отражает накопленный в этой области опыт.

В радиобиологии А. Михаловским в свое время была предложена характеристика организации клеточных популяций во взрослом организме, специально для рассмотрения патогенеза поздних лучевых поражений нормальных тканей после лучевого лечения опухолей [5]. Он предложил системы быстрого клеточного обновления, построенные по так называемому иерархическому типу, т.е. по иерархии клеток от стволовых до функциональных элементов называть Н-системами (от англ. hierarchical cell population) и системы медленного клеточного обновления или необновляющиеся во взрослом организме - F-системами (т.е. системами, происходящими как последовательность функционально приспособленных клеток, от англ. flexible cell lineage).

Острая лучевая болезнь - это практически лучевое повреждение и последующее восстановление Н-систем, которое у млекопитающих протекает в течение нескольких месяцев. В то же время субстратом поздних лучевых поражений по преимуществу являются F-системы. От поражения Н-систем поздние лучевые поражения отличаются, по крайней мере, двумя особенностями: 1) они развиваются значительно позднее, обычно после периода восстановления от острых лучевых поражений организма; 2) они не проходят через минимум функциональной активности с последующим восстановлением: тяжесть повреждения нарастает или же наблюдается своеобразная "стабилизация".

По представлению исследователей высказывающихся в пользу "сосудистой гипотезы" действие радиации на сосуды можно разделить на "ранние" и "поздние" реакции [6]. В ранний период сосуды выступают как относительно радиорезистентный объект, причем тип и размеры сосуда весьма важны для характеристики его радиочувствительности. Кровеносные капилляры, которые содержат монослой эндотелия на базальной мембране, и синусоиды являются наиболее радиочувствительными компонентами сосудистой ткани [7], хотя потеря капилляров может быть вторичной по отношению к снижению числа концевых артериол [8]. В ранний период (от нескольких первых суток до нескольких недель после облучения) характерной реакцией капилляров является их дилатация. Это проявляется в эритеме в облученных участках кожи и слизистых оболочек и является воспалительной реакцией на гибель клеток эпителия. Описаны усиление клеточной проницаемости перед гибелью клеток и отделение сосудистого эндотелия от базальной пластинки [9]. Постепенно эти процессы стихают, эритема ослабляется и исчезает, наблюдается восстановление эпителия кожи и слизистых, что характерно для лучевой реакции Н-систем и объясняется репопуляцией выживших стволовых клеток эпителия [10].

В облученных сосудах продолжают развиваться процессы, ведущие в последующем к развитию поздних лучевых поражений. Наблюдаются снижение числа эндотелиальных клеток в стенках кровеносных сосудов и уменьшение числа новообразующихся капилляров в облученных тканях и органах [11]. В основе этого процесса лежит радиационная стерилизация клеток эндотелия, способных к пролиферации, с последующим запустеванием отработанных капилляров на фоне ингибирования роста новых сосудов.

На сегодняшний день продолжают активно изучать непосредственный механизм развития радиационного поражения сосудов в трех направлениях: 1) изменения эндотелиальных клеток сосудов и адгезии лейкоцитов после облучения, являющиеся ранними признаками воспаления и развития иммунных реакций; 2) влияние на экспрессию молекул адгезии в эндотелиальных клетках сосудов через селектин, иммуноглобулины и интегрины; 3) влияние на пролиферацию гладкомышечных клеток сосудов [12].

Некоторые различия изменений, возникающие в сосудах гемомикроциркуляторного русла, могут быть обусловлены неравнозначным участием в патологическом процессе модулей терминального звена кровеносного русла - их неодинаковой степенью функциональной активности, наличием регионарной вариабельности обусловленной объемом капиллярного

кровотока и интенсивности обменных процессов в каждом таком относительно автономном блоке системы кровообращения [13]. Например, известно, что при васкулитах чаще поражаются сосуды висцеральных органов и кровоснабжающие периферические нервы, меньшая поражаемость церебральных сосудов, вероятно, обусловлена особенностями строения их стенки (в частности, лимфоцитарная адгезия у эндотелия церебральных сосудов меньше 5%, в других органах – 15-20%) и наличием гематоэнцефалического барьера [14]. Наряду с повреждением образования капилляров в механизмах развития поздних лучевых повреждений существенную роль так же могут играть изменения клеток более крупных сосудов, а также фибробластов и других клеток стромальной природы [15].

Несмотря на большое количество проведенных клинических, эпидемиологических и экспериментальных исследований, проблема действия радиации в малых дозах до сих пор не получила однозначного решения. В соответствии с этим нерешена и проблема оценки последствий аварии на Чернобыльской АЭС, произошедшей 25 лет назад.

Данная ситуация, на наш взгляд, обусловлена тем, что не проанализирован вклад в развитие радиационных последствий нестохастических клеточных эффектов, которые, в отличие от обычно изучаемых - стохастических (главным образом канцерогенных), могут определять развитие отдаленной патологии при малых дозах ИИ. В основе таких эффектов, в отличие от традиционных, не лежат процессы прохождения треклов через генетические структуры.

В ряде экспериментальных исследований на простейших (амебы и разные виды инфузорий), на различных малообновляющихся тканях (F-системы) крыс авторами, эти эффекты названы эпигеномными или альтернативными [16]. Индуцированные изменения развиваются на субклеточном уровне, причем деструктивные процессы первично осуществляются в цитоплазматических структурах, приводя не только к повышенной вероятности гибели клеток, но и в значительном увеличении выхода более легких субклеточных нарушений [17]. При этом в популяции эндотелиоцитов – относящихся к малообновляющимся тканям, летальность была наиболее выраженной, интенсивность гибели клеток значительно превосходила интенсивность процессов пролиферации, направленных на восстановление численности клеток. При анализе результатов электронно-микроскопических исследований было установлено, что снижение жизнеспособности клеток происходит в сосудистом эндотелии капилляров миокарда при дозе радиации – 0,25 Гр [18], эквивалентной дозовому пределу облучения 25 бэр для ликвидаторов последствий аварии (ЛПА) на Чернобыльской АЭС введенному в 1986г. [19].

Результаты наших исследований биоптатов кожно-мышечного лоскута голени [20,21], миокарда правого желудочка [22] у ЛПА на Чернобыльской АЭС в отдаленном периоде (через 10-14 лет) установили морфологические изменения в сосудах гемомикроциркуляторного русла (артериолах, капиллярах) от васкулопатии до васкулита. Это является подтверждением установленной важной роли повреждения малообновляющихся тканей (F-систем), понимания превалирующего механизма нарушения микроциркуляции в развитии отдаленных последствий при поражении малыми дозами ИИ.

Таким образом, более существенный патологический вклад в картину отдаленных последствий малых доз ИИ облучения, на наш взгляд, могут вносить соматические (не канцерогенные) последствия их действия. С позиции морфофункциональной общности гемомикроциркуляторного русла установленное нами патологическое изменение сосудов, по-видимому, является основным патогенетическим механизмом вовлечения нескольких систем организма, сопряженного течения соматических заболеваний, психоневрологических расстройств регистрируемых у ЛПА на Чернобыльской АЭС.

#### Список используемой литературы:

1. Иванов А.Е., Куршакова Н.Н., Шиходыров В.В. Патологическая анатомия лучевой болезни - М.: Медицина, – 1981. – 303 с.
2. Курпешев О.К. Радиобиологический анализ развития ранних и поздних лучевых повреждений // Мед. радиол. – 1984. – № 3. – С. 54–64.
3. Дубровская, В.Ф. Патогенез радиоиндуцированных склерозов // Мед. радиобиол. – 1991. – Т. 36 № – 11. – С. 53–57.
4. Коноплянников А.Г. Молекулярные и клеточные механизмы поздних лучевых повреждений // Радиационная биология. Радиационная экология. – 1997. – Т.37 – Вып.4. – С. 621–628.
5. Michalowsky A. Effects of radiation on normal tissues: hypothetical mechanisms and limitations of in situ assays of clonogenicity // Radiat Environ Biophys. – 1981. – Vol. 19. – N 3. – P. 157–172.
6. Reinhold H.S. Cell viability in the vessel wall // Curr. Top. Radiat. Res. – 1974. – Vol. 10. – P. 9.

7. Fajardo L.F., Berthrong M., Anderson R.E. Radiation pathology. – Oxford University press, 2001. – P. 165–180.
8. Hopewell W., Campling D., Calvo W. et al. Vascular irradiation damage: Its cellular basis and likely consequences // Br. J. Cancer. – 1986. – Vol. 53, Suppl. VII. – P. 181-191.
9. Задорожный Б.А., Звягинцева М.В. Лучевые поражения кожи «Здоровье», Киев, – 1966. 175 с.
10. Клиническая радиобиология / Под ред. Ярмоненко С.П., Конопляников А.Г., Вайсон А.А. М.: Медицина, 1992. – 320 с.
11. Hirst D.G., Denakamp J., Hobson B.P. Proliferation studies of the endothelial and smooth muscle cells of the mouse mesentery after irradiation // Cell Tissue Kinet. – 1980. – Vol. 13. – P. 91–104.
12. Dong Y., Wei L. Study on injury of blood vessel induced by ionizing radiation / Y. Dong, // Chinese Journal of Cancer Prevention and Treatment. – 2007. – Vol. 8. – P. 5.
13. Кораблев А.В., Николаева Т.Н. Гемомикроциркуляторное русло: развитие в эмбриогенезе, патология. – М.: Изд-во РГМУ, 1999. – 188 с.
14. Дамулин И.В. Когнитивные нарушения при васкулитах // Рос. мед. журн. – 2010. – № 5. – С. 34–39.
15. Москалев Ю.И. Отдаленные последствия воздействия ионизирующих излучений. М.: Медицина, – 1991. – 464 с.
16. Бычкова И.Б., Степанов Р.П., Федорцева Р.Ф., Сарапульцева Е.И. Особые эффекты малых доз и проблема продолжительности жизни животных и человека // Медико биологические и социально психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях – 2011. – № 2. – С.58–64.
17. Воробьев Е.Н., Степанов Р.П. Ионизирующее излучение и кровеносные сосуды. М.: Энергоатомиздат, – 1985. – 296 с.
18. Антонов П. В., Бычкова И. Б., Нефедов И.Ю. и др. Повышение вероятности гибели клеток в эндотелии кровеносных капилляров у потомков крыс после облучения одного из родителей в малых дозах (электронно-микроскопическое исследование) // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2003. – Т. 43 – Вып. 2. – С. 216–220.
19. Чвырев В.Г., Яньшин Л.А., Дячок В.К., Шишканов А.П. Опыт медико-профилактического обеспечения войск при ликвидации последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС // Воен.-мед. журн. – 2006. – № 4. – С. 46–49.
20. Поровский Я.В., Рыжов А.И., Тетенев Ф.Ф. Отдаленные морфофункциональные изменения в коже ликвидаторов аварии на Чернобыльской АЭС // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2005. – Т. 45. – №1. – С. 86–90.
21. Поровский Я.В., Недосеков В.В., Рыжов А.И., Тетенев Ф.Ф. Результаты патоморфологического исследования кожно-мышечного лоскута у лиц, подвергшихся воздействию малых доз ионизирующего излучения // Бюллетень сибирской медицины. – 2010. – № 5. – С. 77–82.
22. Поровский Я.В., Соколов А.А., Рыжов А.И., Тетенев Ф.Ф. Изменение сердца и микроциркуляторного русла у ликвидаторов аварии на Чернобыльской АЭС // Сибирский медицинский журнал (Иркутск). – 2005. – № 7. – С. 38–41.

УДК 66.021:536.248.2

**Модель абсорбционного теплообмена в пенных аппаратах, учитывающая изменение температуры и состава жидкости в пенном слое**

***А.В. Толстых***

*Томский государственный архитектурно-строительный университет, г. Томск, Россия*

***E-mail: sinvintie@rambler.ru***

Разработана физико-математическая модель процессов тепло- и массообмена при абсорбции газовых компонентов из парогазовых смесей в пенных аппаратах, учитывающая изменение температуры и химического состава жидкости в пенном слое. Быстрый рост в жидкости пенного слоя концентрации компонента, абсорбируемого из парогазовой смеси, приводит к существенному снижению его эффективности извлечения.

Процессы теплообмена воды и влажного воздуха при формировании газовых пузырей на отверстиях газораспределительной решетки барботажного аппарата или на выходном отверстии одиночной трубки в условиях, когда жидкость сохраняет температуру постоянной, рассмотрены в [1 – 3]. Однако, экспериментальные исследования характеристик газожидкостного слоя в ПА и ЦБА [4 – 6] показывают, что изменение расхода газа или других параметров,

определяющих режим барботирования, влияет на измеряемую температуру газожидкостного слоя, осредненную по рабочему объему барботажного аппарата. В связи, с чем в [7], при постановке задачи аналогичной [3], было учтено влияние переноса тепла на температуру жидкости в пенном слое при теплообмене с конденсацией (испарением), и построена двухтемпературная модель тепломассообмена при формировании пузырей на отверстиях газораспределительных решеток пенных барботажных аппаратов.

В результате расчетов, выполненных ранее в рамках одноконцентрационной и однотемпературной модели для абсорбции газов в барботажных аппаратах [8], было установлено, что даже весьма малое увеличение мольной доли абсорбируемого из газа компонента в водном растворе существенно снижает его эффективность извлечения. Таким образом, для того, чтобы оценить реальную эффективность барботажных аппаратов применительно к абсорбции газов, необходимо поставить и решить задачу тепломассообмена, предусматривающую изменение температуры и химического состава жидкой фазы пенного слоя.

Вопросы, поставленные выше, определили цель настоящей работы, являющуюся формулировкой и апробацией двухтемпературной модели тепломассообмена, в которой должно быть учтено изменение массовой доли абсорбируемого газа в жидкости, при формировании

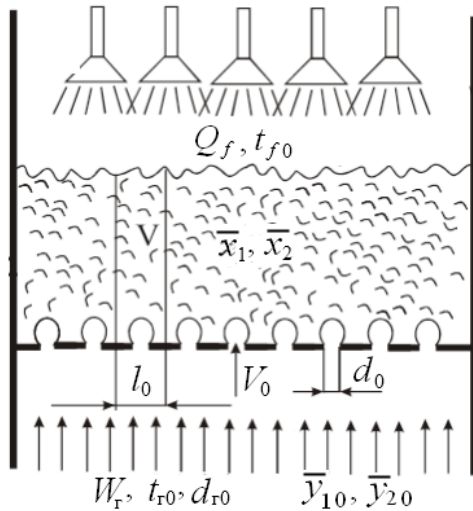


Рис. 1. Схема пенного аппарата.

пузырей на отверстиях газораспределительной решетки пенного аппарата. Проведение расчетов на основе этой модели позволяет установить границы применимости однотемпературной (одноконцентрационной) модели, а также сделать важные оценки, непосредственно относящиеся к процессам утилизации тепла и переноса вещества в процессах абсорбции, протекающих в барботажных аппаратах.

Используя балансовые соотношения для жидкости в пенном слое, полученные из законов сохранения тепла и массы, и соотношения [8], моделирующие тепломассообмен парогазовой смеси в пузырях, растущих на отверстиях газораспределительной решетки, можно записать систему уравнений, представляющую собой модель абсорбционного тепломассообмена в пенном аппарате, предусматривающую изменение температуры и состава жидкости в камере ПА (рис. 1):

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dT_r}{d\tau} &= \frac{k_g \frac{\alpha}{\rho_r} (T_{нов} - T_r) - (T_r - 273) \left( c_n \frac{d\bar{y}_n}{d\tau} + \sum_{i=1}^n c_i \frac{d\bar{y}_i}{d\tau} \right)}{\left( c_r + \bar{y}_n \frac{dr_n}{dT_r} + \sum_{i=1}^n \bar{y}_i \frac{dr_i}{dT_r} \right)}; \\ \frac{d(\bar{y}_n)}{d\tau} &= k_g \beta_n (\bar{y}_{n,нов} - \bar{y}_n); \\ \frac{d(\bar{y}_i)}{d\tau} &= k_g \beta_i (\bar{y}_{i,нов} - \bar{y}_i), \quad i = 1, 2, \dots, n; \\ \frac{\partial T_f}{\partial \tau} &= \frac{S_z}{h_0} (T_{f0} - T_f) q V_0 + \frac{1}{\rho_f c_f} \left( 4\alpha r_w^2 \frac{S_z}{h_0} (T_r - T_{нов}) + \right. \\ &\quad \left. + \frac{\varphi}{(1-\varphi)} \rho_r \frac{dT_r}{d\tau} \left( \bar{y}_n \frac{dr_n}{dT_r} + \sum_{i=1}^n \bar{y}_i \frac{dr_i}{dT_r} \right) \right); \\ \frac{\partial \bar{x}_i}{\partial \tau} &= \frac{S_z}{h_0} \left( q V_0 (\bar{x}_{i0} - \bar{x}_i) - \frac{4}{3} r_w^3 r_0 \frac{\rho_r}{\rho_f} \frac{\partial \bar{y}_i}{\partial \tau} \right), \quad i = 1, 2, \dots, n, \end{aligned} \right. \quad (1)$$

которая должна быть решена при следующих начальных условиях

$$\text{при } \tau = 0 \quad T_r = T_{r0}; \quad \bar{y}_n = \bar{y}_{n0}; \quad \bar{y}_i = \bar{y}_{i0}; \quad T_f = T_{f0}; \quad \bar{x}_i = \bar{x}_{i0}, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (2)$$

Здесь  $T_r, \bar{y}_n, \bar{y}_i$  – текущие среднеемкие температура, массовые доли пара и абсорбируемых газовых компонентов в парогазовой смеси внутри пузыря, растущего на отверстии газораспределительной решетки ПА,  $\tau$  – время,  $k_g = \frac{3}{r_w}$  – геометрический параметр, представляющий собой отношение площади поверхности сферического пузыря к его объему ( $r_w$  – радиус пузыря),  $T_{r, \text{пов}}, \bar{y}_{n, \text{пов}}, \bar{y}_{i, \text{пов}}$  – температура, массовые доли пара и абсорбируемых газовых компонентов в парогазовой смеси у поверхности пузыря,  $c_n, c_i$  – теплоемкости пара и абсорбируемых газов,  $r_n, r_i$  – удельная теплота конденсации водяного пара и удельные теплоты растворения абсорбируемых газов,  $T_{r0}, \bar{y}_{n0}, \bar{y}_{i0}$  – температура, массовые доли пара и абсорбируемых газовых компонентов в парогазовой смеси перед отверстием в газораспределительной решетке,  $\alpha$  – коэффициент конвективного теплообмена на внутренней поверхности пузыря,  $\beta_n, \beta_i$  – коэффициенты конвективного массообмена на внутренней поверхности пузыря,  $T_f$  – текущая температура жидкости в пенном слое,  $S_z$  – относительная площадь живого сечения газораспределительной решетки,  $h_0$  – высота светлого столба жидкости над решеткой;  $\varphi$  – газосодержание в пенном слое,  $q = Q_f/Q_r$  – плотность орошения,  $\text{м}^3/\text{м}^3$  ( $Q_r$  – объемный расход газа,  $Q_f$  – объемный расход жидкости),  $V_0 = W_r/S_z$  – скорость газа в отверстии газораспределительной решетки,  $c_f, \rho_f$  – теплоемкость и плотность жидкости,  $\rho_r$  – плотность парогазовой смеси,  $T_{f0}$  – температура охлаждающей жидкости, которая поступает в камеру ПА,  $\bar{x}_i$  – текущая относительная массовая доля абсорбируемого газа в жидкости пенного слоя по отношению к общему количеству вещества в данной фазе,  $\bar{x}_{i0}$  – относительная массовая доля абсорбируемого газа в жидкости, поступающей в камеру ПА,  $\bar{r}_w = 2r_w/d_0$  – безразмерный радиус растущего пузыря.

Система уравнений (1) – (2) была решена численно для следующих составов парогазовой смеси: для смеси водяного пара и воздуха, для смеси водяного пара, воздуха и углекислого газа, для смеси водяного пара, воздуха и сернистого газа.

Наиболее важным параметром очистки газа является эффективность извлечения газовых компонентов, которая определяется следующим соотношением:

$$\eta_i = 1 - \frac{d_{ik}}{d_{i0}},$$

где  $d_{i0} = \rho_{i0}/\rho_{c.v.,0}$  – относительная концентрация компонента в парогазовой смеси поступающей в барботажный аппарат,  $d_{ik} = \rho_{ik}/\rho_{c.v.,k}$  – относительная концентрация компонента на момент отрыва пузыря от отверстия газораспределительной решетки.

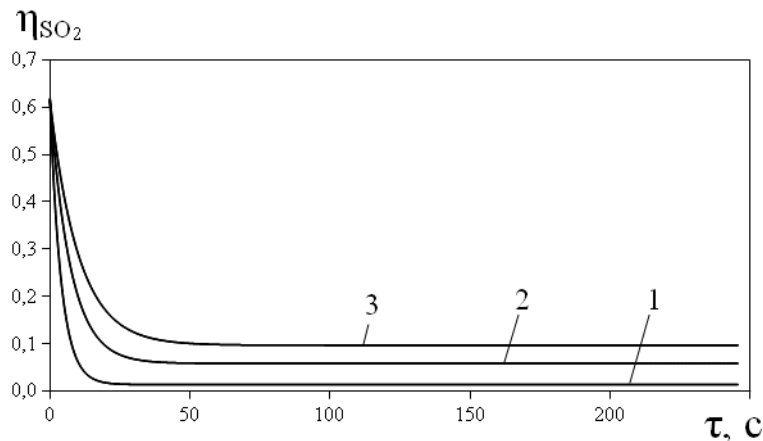


Рис. 2. Зависимость эффективности извлечения сернистого газа  $\eta_{\text{SO}_2}$  от времени:

$$t_{r0} = 50^\circ\text{C}; \quad t_{f0} = 10^\circ\text{C}; \quad d_{\text{SO}_2,0} = 0,2 \text{ кг/кг с.в.}; \quad d_{r0} = 0,005 \text{ кг/кг с.в.}; \quad W_r = 2 \text{ м/с}; \quad d_0 = 4 \text{ мм}; \quad S_z = 0,2;$$

$$\varphi = 0,7; \quad 1 - q = 7,64 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{м}^3; \quad 2 - q = 1,53 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{м}^3; \quad 3 - q = 2,29 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

На рис. 2 показано нестационарное изменение эффективности извлечения сернистого газа при различных расходах воды, поступающей в камеру ПА. Из рисунка видно, что вначале происходит быстрое уменьшение эффективности извлечения  $\eta_{\text{SO}_2}$ , обусловленное ростом концентрации сернистого газа в воде, в результате которого, одновременно с увеличением давления паров абсорбируемого газа около поверхности пузыря, снижается интенсивность абсорбционного массообмена. Увеличение плотности орошения от  $7,64 \cdot 10^{-4}$  до  $2,29 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{м}^3$  приводит к повышению эффективности извлечения сернистого газа после выхода на стационар от  $1,34 \cdot 10^{-2}$  до  $9,66 \cdot 10^{-2}$ . Время выхода на стационарный режим также зависит от величины расхода жидкости, и при  $q = 2,29 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{м}^3$  область нестационарного изменения степени извлечения  $\eta_{\text{SO}_2}$  превосходит аналогичные временные промежутки при меньших расходах.

Построенная физико-математическая модель процессов тепло- и массообмена при абсорбции газовых компонентов из парогазовых смесей в пенных аппаратах, учитывающая изменение температуры и химического состава жидкости в пенном слое, позволяет определить температуру воды, а также концентрацию абсорбируемого газа в ней, и затем учесть эти значения при расчетах, проводимых в рамках однотемпературной модели в условиях, когда концентрация абсорбируемого компонента остается неизменной.

#### Список используемой литературы:

1. Сафонов, А.И. Теплопередача к растущему пузырю при диспергировании газа в жидкость / А.И. Сафонов, К.В. Гомонов, В.С. Крылов // Теор. основы хим. технол. – 1974. – Т. 8, №5. – С. 698–705.
2. Волошко А.А. Теплообмен при образовании пузырей // Теор. основы хим. технол. – 1994. – Т. 24, – № 2. – С. 185 – 187.
3. Шиляев, М.И. Моделирование тепломассообмена при формировании пузырей в барботажных аппаратах / М.И. Шиляев, А.В. Толстых, А.Н. Деренок, Е.М. Хромова // ТОХТ. – 2003. – Т.37, №6. – С. 575–583.
4. Богатых С.А. Охлаждение воздуха в аппаратах с пенным режимом // Холодильная техника. – 1961. – №2 – С. 31–35.
5. Браунштейн Б.И. Гидродинамика, массо- и теплообмен в колонных аппаратах / В.В. Щеголев. – Л.: Химия, – 1988. – 336 с.
6. Шиляев М.И. Тепломассообмен в центробежно-барботажном аппарате / М.И. Шиляев, А.Р. Дорохов // Изв. вузов. Строительство. – 1998. – № 1. – С. 60 – 66.
7. Шиляев, М.И. Двухтемпературная модель тепломассообмена при формировании пузырей на отверстиях газораспределительных решеток барботажных аппаратов / М.И. Шиляев, А.В. Толстых, Е.М. Хромова // Теплофизика и аэромеханика. – 2004. – Т. 11. – № 1. – С. 127.
8. Шиляев М.И. Контактный тепломассообмен в форсуночных и барботажных аппаратах. Моделирование, оптимизация тепломассообмена и абсорбционно-конденсационной пылегазоочистки / Е. М. Хромова, А.В. Толстых. – Saarbrücken, Deutschland: LAP Lambert Academic Publishing, – 2012. – 271 с.

УДК 621.37

#### Водород-кислородная камера сгорания перегрева водяного пара для высокотемпературных комбинированных энергоустановок

*И.М. Верещагин*

*ФГБОУ ВПО «Рыбинский государственный авиационный технологический университет им. П.А. Соловьёва», г. Рыбинск, Россия.*

*E-mail: [ivan\\_ver89@mail.ru](mailto:ivan_ver89@mail.ru)*

Использование парогазовых турбин с применением водородных камер сгорания является возможным решением проблем экологии и повышения эффективности современных энергоустановок. Проведённые исследования показали, что организация закрутки и противотока течения в проточной части камеры сгорания обеспечивает интенсивный энергомассообмен в радиальном направлении, генерацию зон повышенной энтальпии и формирование противоположно перемещающихся вдоль оси камеры сгорания вихрей. Отмеченные особенности позволяют интенсифицировать процесс смешения паровых потоков в максимально короткой и теплонапряженной зоне горения. Предусмотренная в конструкции система подачи вторичного пара, даёт возможность регулировать температуру в зоне реакции, обеспечивая эффективное охлаждение теплонапряжённых элементов конструкции камеры сгорания. Результаты исследования подтвердили возможность перегрева пар до 800...1200°С при условии достижения полноты сгорания до 0,999.

Рост стоимости топлива и требования к экологическим показателям энергоустановок создали условия, определяющие необходимость внедрения высокоэффективных технологий производства электроэнергии с коэффициентом полезного действия более 50%. Использование парогазовых турбин является возможным решением проблемы. Предельный уровень температуры пара на входе в паровую турбину современных энергоустановок составляет 550°C, а его рост ограничивается работоспособностью теплообменных аппаратов котлов. Использование водородных технологий позволяет существенно увеличить начальную температуру (до 1000...1200°C) и, соответственно, энергетическую эффективность паротурбинных установок.

В [1] представлено исследование зависимости КПД различных энергоустановок от температуры рабочего тела. Оптимальное значение температуры перегретого пара для установок различного цикла находится в диапазоне 1200-1700 К. Их реализация требует включения в схему водородной камеры сгорания.

Очевидные преимущества использования водородного топлива осложняются тем, что на Земле он встречается лишь в виде различных соединений, в основном воды. Это требует учета затрат на производство водорода при использовании его в циклах перспективных устройств преобразования энергии.

Одной из главных проблем использования водород-кислородных камер сгорания в энергетике является обеспечение высокой полноты сгорания (более 0,999) с целью исключения скапливания водорода в элементах проточной части ПГУ. Возможным решением проблемы является использование противотока и закрутки течения в камере смешения.

Вопрос о целесообразности применения противоточной схемы течения в рабочем процессе камер сгорания, работающих на стехиометрических водород-кислородных смесях, требует изучения газодинамических и термодинамических процессов, определяющих интегральные параметры отмеченных камер сгорания.

Необходимость таких исследований обусловлена существенным различием скорости горения водород-кислородной и углерод-воздушной смесей, а так-же характерным временем предпламенных процессов обусловленных разницей термодинамических параметров рабочих процессов ГТУ и ПГУ (в первую очередь величины полного давления в камере сгорания, которая в случае ГТУ составляет ~3-4 МПа, а для перспективных ПТУ и ПГУ достигает значений ~15-30 МПа).

Начальный этап исследований – сравнительный численный расчёт процесса горения при различных схемах организации течения водяного пара (прямоточное течение, течение с закруткой потока и схема течения с противотоком).

Наиболее равномерное распределение температуры, из всех рассмотренных схем, было получено в модели трубы с осевым противотоком. Разность температуры у стенки и на оси трубы не превышает 50-70 °С. Также сравнивалась полнота сгорания водорода по длине жаровой трубы. В процессе формирования развитого тороидального вихря и интенсификации массообменных процессов в торцевой части жаровой трубы с противотоком течения полнота сгорания достигает значения 0,999 на расстоянии  $\bar{I} = 8$  калибров, в то время как прямоточная схема и схема с закруткой течения дают 0,967 и 0,997 соответственно в этом же сечении.

На основании этого разработана компьютерная модель малоразмерной вихревой водородной камеры сгорания [2], на которой проводился второй этап численных исследований, целью которых является отработка геометрии и режимных характеристик при давлении близком к атмосферному.

Результаты численных расчётов показали, что максимальная температура на стенках вихревой камеры, охлаждаемой периферийным закрученным потоком водяного пара, не превышает величины 650°C на расстоянии 1,3 калибра.

Выполненный цикл расчётных исследований малоразмерной водород-кислородной камеры сгорания позволил оптимизировать геометрию проточной части, с учётом которой был создан экспериментальный образец [2], позволивший выполнить опытные исследования.

Как показали эксперименты, режим истечения струи водород-кислородной смеси оказывает существенное влияние на длину зоны горения. Оценка этой величины достаточно важна с точки зрения организации тепловой защиты внутренних поверхностей жаровой трубы, ограничивающих первичную зону горения, а также с позиции тепло- и массообмена высокотемпературного факела с закрученным потоком пара. Экспериментально измеренные значения длины зоны горения водород-кислородного факела в зависимости от числа Рейнольдса в выходном сечении сопел имеют экстремальный характер с максимумами в области значений  $Re$ , соответствующих



переходному режиму истечения. Полученные результаты достаточно хорошо согласуются с известными данными, опубликованными в литературе [3].

Важным требованием, предъявляемым к камерам сгорания любого типа, в том числе, и водород-кислородным, является равномерность поля термогазодинамических параметров в выходном сечении, которая оказывает существенное влияние на тепловое состояние лопаток высокотемпературной ступени турбины и их ресурс. Для определения распределения температуры в выходном сечении выполнено его зондирование термопарой типа платина-платинародий.

Анализ результатов позволяет выделить вблизи оси потока область относительно высоких значений температуры, которая связана с наличием центрального ядра струи, радиус которого связан со значением относительного радиуса выходного сопла диафрагмы. Неравномерность поля температур на выходе обусловлена малой тепловой мощностью камеры сгорания, поскольку существенное влияние оказывают потери тепла в окружающую среду, приводящие к охлаждению периферийного потока перегретого пара в выходном сечении сопла. Однозначное решение проблемы возможно лишь при исследовании камер сгорания с более высокой тепловой мощностью, что является предметом дальнейших исследований.

#### Список используемой литературы:

1. Пиралишвили Ш.А. Перспективы форсирования паро и газотурбинных энергоустановок / С.В.
2. Веретеников, В.П. Добродеев, Е.О. Посыпкина, А.А. Павлова // журнал «Газотурбинные технологии». – № 6, – 2009, – С. 24 - 29.
3. Гурьянов А.И. Теплофизика водород-кислородных камер сгорания высокотемпературных турбин комбинированных ПГУ [Текст] / А.И. Гурьянов, И.М. Верещагин, Г.Ш. Пиралишвили // Вестник СГАУ им. С.П. Королёва. – 2011. – С.42-52.
4. Щетинков Е.С. Физика горения газов [Текст] / Е.С. Щетинков. – М.: Наука, – 1984. – 740 с.

УДК 621.039.546+620.193.13

#### Модель осаждения твердых частиц в первом контуре ВВЭР

*А.В. Кузьмин, В.Ю. Рождествов, К.Г. Юхно*

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

*E-mail: kuzminav@tpu.ru*

Представлена модель осаждения дебрис-частиц в первом контуре реакторной установки ВВЭР-1000. Установлены основные места локализации частиц, проведена оценка вероятности их осаждения и динамики изменения концентрации в первом контуре.

#### Введение

В процессе проведения монтажных и ремонтных работ, несмотря на применяемые меры обеспечения чистоты, внутрь первого контура попадают различные предметы, включая сварочный град, кусочки проволоки, абразивных кругов и т.д. Эти посторонние предметы, получившие название дебрис-частиц, представляют серьезную опасность, связанную с формированием различных дефектов тепловыделяющих элементов (ТВЭЛ), приводящих к нарушению одного из радиационных барьеров – оболочки ТВЭЛ. Актуальность проблемы защиты от дебриса подчеркивает опыт эксплуатации зарубежных АЭС с реакторами типа BWR и PWR. Долевое участие этого дефекта в нарушении целостности оболочки (рис.1) по данным МАГАТЭ весьма существенен [1].

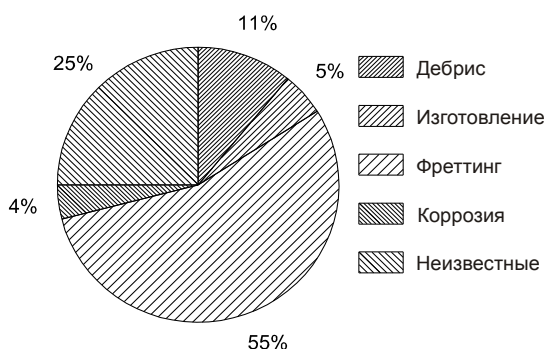


Рис.1. Мировая статистика повреждения топлива PWR за период с 1994 по 2006 гг.

Опираясь на опыт зарубежных АЭС на отечественных ВВЭР стали устанавливать антидебрисные фильтры, препятствующие попаданию в активную зону частиц диаметром более 2 мм.

Дебрис-частицы диаметром менее 2-х миллиметров несут потенциальную угрозу возникновения и развития других типов дефектов,

скорее всего коррозии. По данным [1] можно проследить связь между фреттинг-износом и дебрис повреждениями. Тепловыделяющие сборки (ТВС) находятся в реакторе в течении 3-4 микрокампаний, причем в центре активной зоны, а также и в других наиболее нагруженных условиях. Вибрации твэл в потоке теплоносителя и длительное нахождение ТВС в реакторе ведет к нарушению дистанционирования твэл. Из этого следует, что вероятность застревания или осаждения дебриса увеличивается из-за нарушения начального состояния дистанционирующих решеток.

В каких местах контура могут осажаться и как долго они могут циркулировать по первому контуру – эти вопросы представляют несомненный интерес.

**Постановка задачи**

Пусть на начало текущей микрокампании в 1-м контуре концентрация дебрис-частиц равна  $C_0(0)$ , кг<sup>-1</sup>. Размеры дебриса соответствуют диаметру эквивалентной сферы менее 2 мм. Наиболее вероятными местами вывода частиц из воды первого контура будем считать задержку частиц в местах контактов твэл и дистанционирующих решеток, а также унос частиц в систему продувки-подпитки 1 контура (рис. 2).

С учетом этого уравнение изменения концентрации дебриса в 1-м контуре можно записать в виде:

$$V \cdot \gamma \cdot \frac{dC_0(t)}{dt} = -P_{аз} \cdot q_{аз} \cdot \gamma \cdot C_0(t) - P_{пр} \cdot q_{пр} \cdot \gamma \cdot C_0(t), \tag{1}$$

где  $V$  – объем 1-го контура, м<sup>3</sup>;  $\gamma$  – плотность теплоносителя, кг/м<sup>3</sup>;  $q_{аз}, q_{пр}$  – объемный расходы теплоносителя в активной зоне и в системе подпитки-продувки первого контура, м<sup>3</sup>/час;  $C_0(t)$  – концентрация частиц в теплоносителе, кг<sup>-1</sup>;  $P_{аз}, P_{пр}$  – вероятности осаждения (вывода) дебриса, соответственно, в активной зоне и в системе продувки-подпитки первого контура.

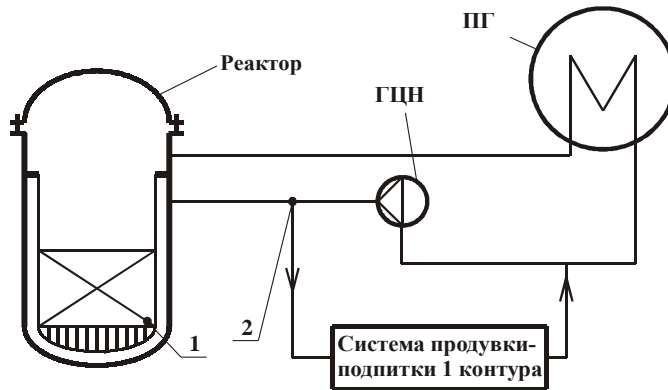


Рис. 2. Упрощенная схема первого контура: 1 – осаждение дебриса в активной зоне, 2 – вывод дебриса в систему продувки-подпитки.

Очевидное допущение, принятое в уравнении (1), связано с постоянством температуры теплоносителя по всему контуру. С учетом этого преобразуем (1) к виду:

$$\frac{dC_0(t)}{dt} = -P_{аз} \cdot \frac{q_{аз}}{V} \cdot C_0(t) - P_{пр} \cdot \frac{q_{пр}}{V} \cdot C_0(t)$$

или

$$\frac{dC_0(t)}{dt} = -\left(\frac{P_{аз} \cdot q_{аз} + P_{пр} \cdot q_{пр}}{V}\right) \cdot C_0(t). \tag{2}$$

Интегрируя уравнения (2) получим закон выведения дебриса из теплоносителя:

$$C_0(t) = C_0(0) \cdot \exp\left(-\frac{P_{аз} \cdot q_{аз} + P_{пр} \cdot q_{пр}}{V} \cdot t\right). \tag{3}$$

Воспользуемся проектными данными и найдем требуемые технологические и конструктивные параметры.

Расход теплоносителя через реактор ВВЭР-1000 при работе 4 ГЦН, согласно [2], равен  $q_{ас} = 84800 \text{ м}^3/\text{час}$ . Система продувки-подпитки 1 контура [5] при всех допустимых режимах работы блока обеспечивает величину продувки-подпитки в пределах  $20...60 \text{ т}/\text{час}$ , что соответствует значениям объемного расхода  $q_{пр} = 25...80 \text{ м}^3/\text{час}$ . Объем теплоносителя в 1 контуре  $V$  примем равным  $300 \text{ м}^3$  [4].

Проведем оценку вероятности попадания частицы дегриси в раскрывающуюся по какой-либо причине полость вблизи контакта оболочки твэла с дистанционирующей решеткой  $P_{ас}$ . Тепловыделяющая сборка реактора (ТВС) содержит 312 твэлов и 15 дистанционирующих решеток. Проходное сечение ТВС по данным [3] равно  $0,0247 \text{ м}^2$ . Приняв в качестве минимальной площади входа в полость, способной «принять» частицу дегриси в  $6 \text{ мм}^2$ , найдем  $P_{ас} = 10^{-7}$ .

В условиях сильно турбулизированного течения воды вблизи отвода в систему продувки-подпитки попадание в неё частицы дегриси носит вероятностный характер. Если учесть, что внутренние диаметры главного трубопровода и отводящего трубопровода в систему продувки-подпитки соответственно равны [5]:  $D_c = 850 \text{ мм}$  и  $d_{пр} = 109 \text{ мм}$ , то значение вероятности попадания дегриси в систему определим по формуле:

$$P_{пр} = \frac{\pi \cdot d_{пр}^2}{4} / \pi \cdot D_c \cdot d_{пр} = 0,032.$$

С учетом последних оценок уравнение (3) запишем в виде:

$$C_e(t)/C_e(0) = \exp\left(-\left(282,666 \cdot P_{ас} + 1,066 \cdot 10^{-4} \cdot q_{пр}\right) \cdot t\right). \quad (4)$$

Графики этой зависимости, представленные на рис. 3, позволяют провести экспресс-анализ влияния различных эффектов.

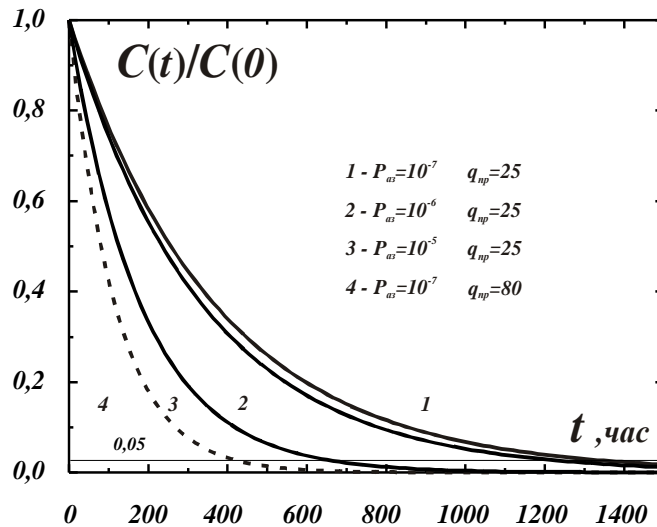


Рис. 3. Динамика изменения концентрации дегриси в теплоносителе в зависимости от вероятности осаждения частиц в активной зоне  $P_{ас}$  и величины продувки  $q_{пр}$

### Заключение

Анализ динамики осаждения дегриси в системе продувки-подпитки первого контура и самом реакторе показывает, что чем выше вероятность  $P_{ас}$ , тем быстрее происходит процесс осаждения дегриси-частиц в активной зоне реактора (см. кривые 1-3).

Увеличение продувки до максимального проектного значения в  $80 \text{ м}^3/\text{ч}$  резко увеличивает увод дегриси-частиц в систему продувки-подпитки 1 контура, тем самым снижая вероятность зарождения дефекта твэла (см. кривые 1 и 4).

После проведения перегрузки, планово-предупредительных и ремонтных работ, можно рекомендовать в начале новой микрокампании работу реактора с повышенной величиной продувки с целью снижения осаждения дегриси в активной зоне.

**Список используемой литературы:**

1. Review of Fuel Failures in Water Cooled Reactors. IAEA Nuclear Energy Series Vienna, No. NF-T-2.1, June, 2010. – 175 с/
2. ВВЭР-1000: физические основы эксплуатации, ядерное топливо, безопасность/ А.М. Афров, С.А. Андрушечко, В.Ф. Украинцев и др. – М.: Университетская книга, Логос, – 2006. – 488 с. + 16 с. цв. вкл.
3. Технологические системы реакторного отделения. Балаковская Атомная Станция. Центр подготовки персонала, – 2000. – 348 с., ил.
4. Основное оборудование реакторного отделения. Балаковская Атомная Станция. Центр подготовки персонала, – 2000. – 180 с., ил.
5. Дементьев Б.А. Ядерные энергетические реакторы: Учеб. для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоиздат, – 990. – 352 с., ил.
6. Фрост Б. Твэлы ядерных реакторов: Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, – 1986. – 248 с.: ил.

УДК 533.9 (075.8)

**Моделирование процессов плазменной утилизации и иммобилизации отходов переработки отработавшего ядерного топлива*****А.Г. Каренгин, О.Д. Шахматова****Томский политехнический университет, г. Томск, Россия****E-mail: [shahmatovaol@tpu.ru](mailto:shahmatovaol@tpu.ru)***

В данной работе на основании термодинамического моделирования проведена оценка возможности и эффективности процессов плазменной утилизации и иммобилизации отходов переработки отработавшего ядерного топлива. Полученные результаты могут быть использованы при разработке технологии переработки отходов, образующихся при переработке отработавшего ядерного топлива.

Около 97 % ОЯТ составляют уран  $U^{238}$  и синтезированный в ядерном реакторе АЭС плутоний  $Pu^{239}$ , 3 % продукты деления урана  $U^{235}$  и изотопов плутония [1]. Основная масса продуктов деления (более 99 %) остается в водной фазе, которую направляют в хранилище высокоактивных жидких радиоактивных отходов. В этих растворах также присутствуют различные нерадиоактивные продукты распада (молибден и РЗЭ), а также конструкционные материалы (цирконий, железо, никель, хром, марганец).

Цель переработки отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) – извлечение из отработавшего топлива делящихся нуклидов, образовавшихся при работе реактора. Жидкие радиоактивные отходы (ЖРО) образуются в результате растворения ОЯТ в водном растворе азотной кислоты, совместной экстракции урана и плутония, промывки экстракта чистыми водными растворами азотной кислоты и реэкстракции плутония. По действующей технологии оставшийся после первого экстракционного цикла без урана и плутония водный раствор (рафинат) актиноидов и продуктов деления выпаривается и после добавления необходимых реагентов (силикатов, фосфатов, боратов и др.) направляется на операцию остекловывания с последующим захоронением [1,2]. Технология переработки высокоактивных ЖРО основана на иммобилизации этих отходов в твердые инертные матрицы, пригодные для окончательного захоронения. Отверждение ЖРО необходимо в целях обеспечения безопасного долговременного хранения радиоактивных отходов.

В данной работе проведено термодинамическое моделирование процессов плазменной утилизации и иммобилизации отходов переработки ОЯТ в виде водноорганических композиций на основе этилового спирта, гидролизного спирта, ацетона и биотоплива для широкого диапазона температур и массовых долей воздушного плазменного теплоносителя. Моделирование проводилось с использованием программы TEPRA. Для расчётов был взят модельный состав отходов ОЯТ [3]:  $HNO_3$  – 18,0%,  $H_2O$  – 81,43%, Fe – 0,07%, Mo – 0,1%, Nd – 0,11%, Y – 0,06%, Zr – 0,058%, Na – 0,04% и др. Плазменная утилизация позволит хранить отходы переработки ОЯТ в виде порошков оксидов металлов. А в результате процесса плазменной иммобилизации отходы переработки ОЯТ переходят в форму порошков оксидов металлов в составе расплавов хлорида калия или натрия.

На рисунке 1 показано влияние содержания отходов ОЯТ и этилового спирта на адиабатическую температуру горения различных по составу водноорганических композиций «отходы ОЯТ – этиловый спирт».

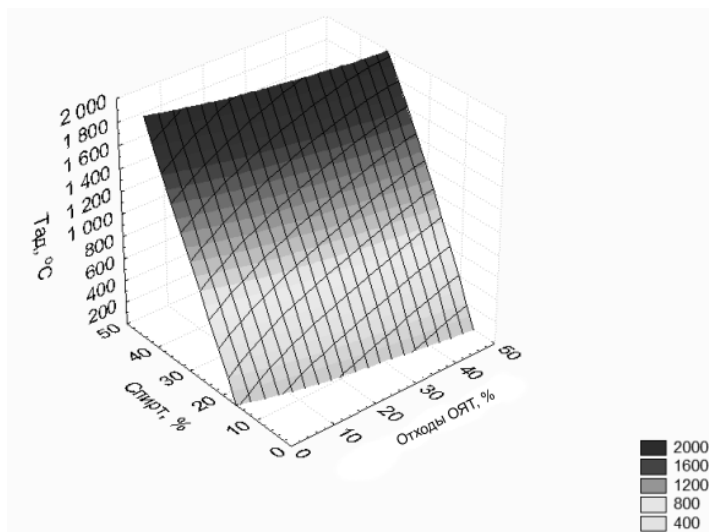


Рис. 1. Влияние содержания отходов отработавшего ядерного топлива и этилового спирта на адиабатическую температуру горения водноорганических композиций «отходы ОЯТ – этиловый спирт».

На рисунке 2 представлен характерный равновесный состав основных конденсированных продуктов плазменной утилизации в воздушной плазме отходов ОЯТ в виде оптимальной по составу водноорганической композиции (ВОК-1) «отходы ОЯТ - этиловый спирт» при массовой доле воздушного плазменного теплоносителя 65% ( $P=0,1$  МПа).

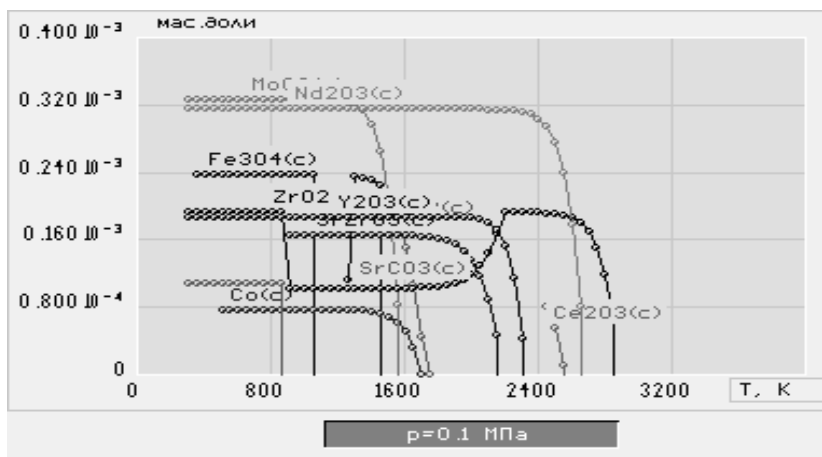


Рис. 2. Равновесный состав конденсированных продуктов плазменной утилизации отходов ОЯТ в воздушной плазме (65% воздух : 35% ВОК-1).

Из анализа равновесных составов следует, что при массовой доле воздушного плазменного теплоносителя 65% плазменная утилизация отходов ОЯТ в виде оптимальной водноорганической композиции также приводит к образованию в конденсированной фазе не только оксидов металлов, но металлов ( $\text{MoO}_2$ ,  $\text{Nd}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\text{Ce}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{SrZrO}_3$ ,  $\text{SrCO}_3$ ,  $\text{Y}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Co}$  и др.). При этом следует отметить, что при температурах до 1200 К образуется в конденсированной фазе двуокись молибдена  $\text{MoO}_2(\text{c})$ , металлический кобальт  $\text{Co}(\text{c})$  и немагнитная окись железа  $\text{Fe}_3\text{O}_4(\text{c})$ .

Повышение массовой доли воздушного плазменного теплоносителя с 65% до 70% (рис. 3) приводит при температурах до 1100 К к образованию в конденсированной фазе только оксидов металлов ( $\text{MoO}_3$ ,  $\text{Nd}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\text{Ce}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{SrZrO}_3$ ,  $\text{SrCO}_3$ ,  $\text{Y}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Co}$  и др.). При этом следует отметить, что при температурах до 1100 К образуется в конденсированной фазе трёхокись молибдена  $\text{MoO}_3(\text{c})$  и только магнитная окись железа  $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{c})$ .

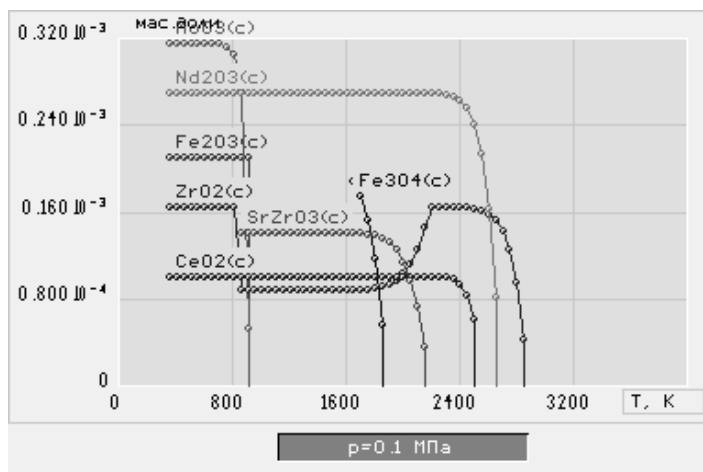


Рис. 3. Равновесный состав конденсированных продуктов плазменной утилизации отходов ОЯТ в воздушной плазме (70% воздух : 30% ВОК-1).

Таким образом, прямая плазменная утилизация слабоконцентрированных отходов ОЯТ в виде оптимальных по составу водноорганических композиций позволит исключить стадию выпаривания, существенно снизить удельные энергозатраты на процесс и повысить его производительность, а наличие в составе твёрдых продуктов утилизации магнитной окиси железа позволит применить магнитную сепарацию для эффективного извлечения и концентрирования железосодержащих твёрдых продуктов утилизации из оборотной технологической воды после «мокрой» очистки отходящих газов.

С учётом полученных результатов могут быть рекомендованы для процесса прямой плазменной утилизации отходов ОЯТ в воздушной плазме следующие оптимальные технологические режимы:

- интервал рабочих температур ( $1000 \pm 100$ ) К;
- состав ВОК (70% отходы ОЯТ : 30% спирт);
- массовое отношение фаз (70% воздух : 30% ВОК).

Кроме процесса плазменной утилизации отходов переработки ОЯТ представляет интерес определение возможности осуществления процесса прямой плазменной иммобилизации отходов ОЯТ в воздушной плазме в виде оптимальных по составу водноорганических композиций с получением порошков оксидов металлов в составе расплавов хлорида калия или натрия, имеющих температуру плавления  $\approx 1050$  К.

На рисунках 4 и 5 представлены характерные равновесные составы основных конденсированных продуктов плазменной иммобилизации отходов ОЯТ в воздушной плазме в виде оптимальных по составу водноорганических композиций на основе этилового спирта ВОК-2 (69,8% отходы ОЯТ : 0,2% КСl : 30% этиловый спирт) и ВОК-3 (69,8% отходы ОЯТ : 0,2% NaCl : 30% этиловый спирт) при оптимальной массовой доле воздушного теплоносителя 70%.

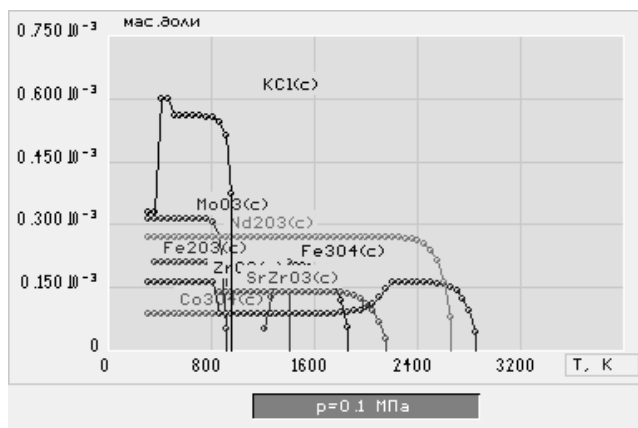


Рис. 4. Равновесный состав конденсированных продуктов плазменной иммобилизации отходов ОЯТ в воздушной плазме. (70% воздух : 30% ВОК-2).

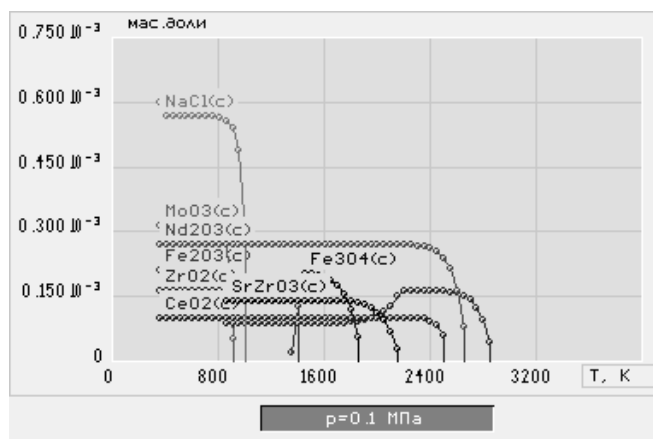


Рис. 5. Равновесный состав конденсированных продуктов плазменной иммобилизации отходов ОЯТ в воздушной плазме. (70% воздух : 30% ВОК-3).

Из анализа равновесных составов следует, что при оптимальной массовой доле воздушного теплоносителя 70% плазменная иммобилизация отходов ОЯТ в воздушной плазме в виде оптимальных водноорганических композиций ВОК-2 и ВОК-3 приводит при температурах 1050÷1100 К к образованию в конденсированной фазе только оксидов металлов (MoO<sub>3</sub>, Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CeO<sub>2</sub>, ZrO<sub>2</sub>, SrZrO<sub>3</sub>, Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и др.) и хлорида калия (рис. 4) или хлорида натрия (рис. 5) в виде расплава. Замена хлорида калия на хлорид натрия не оказывает существенного влияния на процесс плазменной иммобилизации отходов ОЯТ.

Из анализа полученных результатов следует, что прямая плазменная иммобилизация слабоконцентрированных отходов ОЯТ в виде оптимальных по составу водноорганических композиций позволит исключить стадию выпаривания, существенно снизить удельные энергозатраты на процесс и повысить его производительность.

Оптимальные технологические режимы:

- интервал рабочих температур (1000±100) К;
- состав водноорганической композиции (70% отходы ОЯТ : 30% этиловый спирт);
- массовое отношение фаз (70% воздух : 30% ВОК).

Результаты проведенных исследований могут быть использованы при создании технологии и оборудования для прямой плазменной утилизации и иммобилизации отходов переработки отработавшего ядерного топлива, позволяющей существенно сократить объемы отходов, повысить их устойчивость к механическим и химическим воздействиям и обеспечить режим нераспространения ядерных материалов.

#### Список используемой литературы:

1. Никифоров А.С., Кулиниченко В.В., Жихарев М.И. Обезвреживание жидких радиоактивных отходов. – М.: Энергоатомиздат, – 1985. – 184 с.
2. Скачек М.А. Обращение с отработавшим ядерным топливом и радиоактивными отходами АЭС. – М.: Издательский дом МЭИ, – 2007. – 448 с
3. Пантелеев Ю.А., Александрук А.М., Никитина С.А., Макарова Т.П., Аналитические методы определения компонентов жидких радиоактивных отходов. – Л.: Труды Радиового института им. В. Г. Хлопина, 2007. – Т. XII. – С. 124 – 147.

УДК 629.039.53

#### Оценки максимального перепада температур в газовом зазоре тепловыделяющего элемента ВВЭР

**Р.В. Дашевский, А.В. Кузьмин, Е.Ю. Синяткин**  
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия  
E-mail: kuzminav@tpu.ru

Отмечены основные эффекты, отражающие реальную картину изменения геометрии тепловыделяющего элемента и термических сопротивлений его составляющих. Проведено сравнение перепада температур в

газовом зазоре тепловыделяющего элемента ВВЭР по разным расчетным формулам. Отмечены условия выбора наиболее целесообразной расчетной формулы.

### Введение

Для определения температурного и мощностного эффектов и коэффициентов реактивности – важнейших показателей, обеспечивающих ядерную безопасность реактора, необходимо знание эффективной средней температуры топлива  $T_{эф}$  [1]. До сих пор в программах расчета стационарных нейтронно-физических характеристик ВВЭР значение  $T_{эф}$  определяют по аппроксимационной зависимости от энергонапряженности активной зоны [2]. Сопряженный нейтронно-физический и теплогидравлический код [3] использует разные модели расчета тепловыделяющего элемента (ТВЭЛ), которые учитывают следующие эффекты по мере увеличения глубины выгорания топлива:

- первоначальное сжатие топлива за счет его спекания на максимальную величину  $\sim 0,6-1,6\%$  от первоначального объема в холодном состоянии и достигаемую при глубинах выгорания примерно от 3 до 14  $MВт \cdot сутки / кгU$ ;
- температурное расширение топлива и оболочки;
- распухание топлива и изменение его теплопроводности в процессе выгорания;
- изменение диаметра ТВЭЛ вследствие ползучести материала оболочки из-за радиационного облучения;
- изменение теплопроводности газового зазора за счет накопления газообразных продуктов деления (ГПД) при выгорании топлива в течение кампании. По данным расчетных исследований [3], заметный выход ГПД под оболочку ТВЭЛ начинается после выгорания 45  $MВт \cdot сутки / кгU$  и практически не влияет на температуру топлива.

Указанные эффекты учитывают реальную картину изменения геометрии ТВЭЛ и термических сопротивлений его составляющих.

Весьма существенное влияние на эффективную температуру топлива оказывает термическое сопротивление газового зазора, для снижения которого под оболочку ТВЭЛ закачивается под большим давлением гелий. Для расчета температурного перепада в газовом зазоре рекомендуются разные формулы, поэтому целью настоящей работы является оценка их эффективности.

### Общие характеристики тепловыделяющего элемента

Отметим некоторые общие характеристики ТВЭЛ (рис.1) по данным [4]. При протекании цепной реакции деления урана на мощности по объему топливной таблетки равномерно выделяется тепловая энергия с интенсивностью до 450  $кВт/л$ . Это тепло передается из объема таблетки к поверхности ТВЭЛ, поэтому в центре таблеток устанавливается максимальная температура. При номинальной мощности реактора средняя температура в центре таблеток около 1500-1600  $^{\circ}C$ , а на поверхности около 470  $^{\circ}C$ . Таким образом, на радиусе ТВЭЛ всего в 3,8 мм имеет место очень большой перепад температур порядка 1200  $^{\circ}C$ . Максимальная температура в центре таблетки  $UO_2$  и на ее поверхности достигает 1940 и 900  $^{\circ}C$ , соответственно. При номинальной мощности перепад температур на газовом зазоре между таблетками и оболочкой составляет в среднем 100  $^{\circ}C$ , а по толщине самой трубки  $\sim 23$   $^{\circ}C$ . Температура наружной поверхности трубки

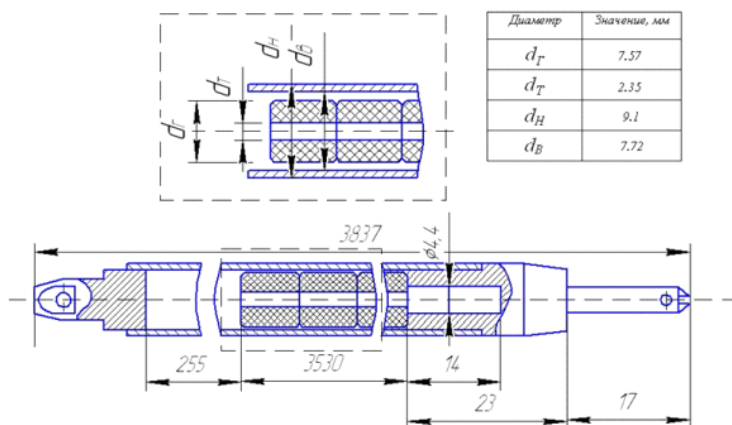


Рис. 1. ТВЭЛ ВВЭР-1000

ТВЭЛ при этом около 350  $^{\circ}C$ . Удельный тепловой поток через эту поверхность в среднем около 0,6  $MВт/м^2$ , а линейный тепловой поток – 17  $кВт/м$ . Тепловой расчет ТВЭЛ, представленного на рис.1 и модифицированного отсутствием центрального отверстия в таблетках топлива, показал при сравнении с данными [4] заметное несовпадение только в перепаде температур в газовом зазоре для кассеты средней мощности.



## Анализ рекомендуемых формул расчета температурного перепада в газовом зазоре

Найдем средний по реактору поверхностный тепловой поток  $\bar{q}_F$  по данным [4]:

$$S_{ТО} = \pi \cdot d_{ТВЭЛ} \cdot H_0 \cdot n_{ТВЭЛ} \cdot N_{ТВС} = \pi \cdot 9,1 \cdot 10^{-3} \cdot 3,55 \cdot 312 \cdot 163 = 5158,7 \text{ м}^2;$$

$$\bar{q}_F = \frac{Q}{S_{ТО}} = \frac{3000 \cdot 10^3}{5158,7} = 5,815 \cdot 10^5 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}.$$

В первом варианте перепад температур в газовом зазоре оценим по формуле [5]:

$$\Delta \bar{T}_{\text{газ}} = \bar{q}_F \cdot \frac{2d_B}{d_B + d_{\text{гор}}} \cdot \frac{\delta_{\text{газ}}}{\lambda_{\text{газ}}} = 5,815 \cdot 10^5 \cdot \frac{2 \cdot 0,00773}{0,00773 + 0,00757} \cdot \frac{0,075 \cdot 10^{-3}}{0,332375} = 132,6^\circ \text{C}, \quad (1)$$

где  $2d_H/d_H + d_B$  – множитель, корректирующий значение потока на средний диаметр газового зазора;  $\delta_{\text{газ}}$  – толщина газового зазора;  $d_{\text{гор}}$  – диаметр топливной таблетки;  $\lambda_{\text{газ}}$  – коэффициент теплопроводности гелия, которым заполняется газовый зазор [6];  $d_B$  – внутренний диаметр циркониевой оболочки ТВЭЛ.

Во втором варианте оценку перепада температуры на зазоре проведем по другой методике [5]:

$$\Delta \bar{T}_{\text{газ}} = \bar{q}_F / k_3 = 5,815 \cdot 10^5 / 0,32 \cdot 10^4 = 181,7^\circ \text{C}, \quad (2)$$

где  $k_3 = 0,32 \cdot 10^4 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$  – коэффициент теплопередачи газового зазора между окисным топливом и оболочкой из нержавеющей стали определен из рис. 9.34 [5].

Видно, что оценки перепада температур заметно отличаются от  $100^\circ \text{C}$  и скорее всего не соответствуют началу кампании топлива.

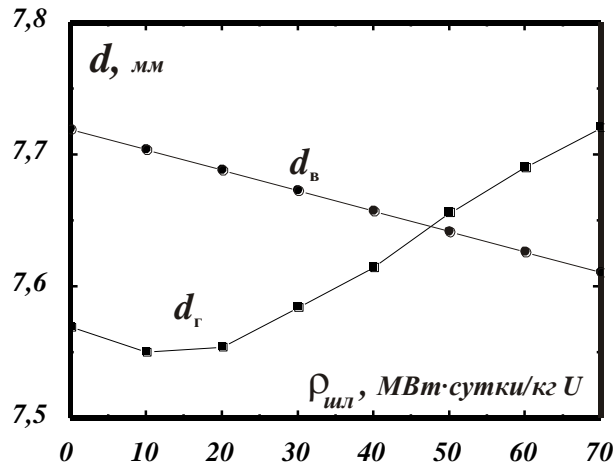


Рис. 2. Зависимость изменения внутреннего диаметра оболочки и диаметра горючего от выгорания

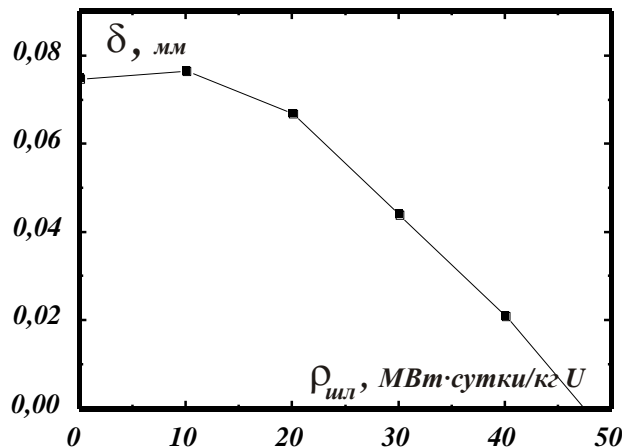


Рис. 3. Зависимость изменения газового зазора от выгорания

Представим результаты верификации разных сопряженных моделей выгорания топлива [2] в виде графиков изменения внутреннего диаметра оболочки твэла, диаметра топливной таблетки и величины газового зазора (рис. 2, 3) от глубины выгорания топлива  $\rho_{\text{шл}}$  (рис.3), полагая, что толщина оболочки твэла остается неизменной.

По формулам (1) и (2) оценим размеры газового зазора, соответствующие температурному перепаду в  $100^{\circ}\text{C}$ . В результате получим предполагаемый диапазон размеров газового зазора:  $\sim 0,056 \div 0,035$  мм, который достигается при выгораниях  $\rho_{\text{шл}} \approx 24 \div 34$  МВт·сутки/кг U, т.е. примерно в середине кампании топлива.

#### **Заключение**

Результаты расчетов по современным моделям определения нейтронно-физических характеристик [2,3] показывают, что величина газового зазора и соответствующий ему температурный перепад заметно меняются в процессе выгорания топлива.

В работе [2] отмечается, что различие в оценке температуры топлива  $\sim 60^{\circ}\text{C}$  не является существенной, поскольку для ВВЭР в единицах реактивности такая неопределенность не превышает  $\sim 0,2\%$  от эффективного коэффициента размножения  $K_{\text{эф}}$ . Поэтому для расчета перепада температур в газовом зазоре целесообразнее использовать формулу (1).

#### **Список используемой литературы:**

1. Основы теории и методы расчета ядерных энергетических реакторов: Учеб. пособие для вузов/ Г.Г Бартоломей, Г.А. Бать, В.Д.Байбаков, М.С. Алтухов. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 512с., ил.
2. В.Г. Артемов, Л.М. Артемова, Ю.П. Шемаев. 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.
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. ВВЭР-1000: физические основы эксплуатации, ядерное топливо, безопасность/ А.М. Афров, С.А. Андрущечко, В.Ф. Украинцев и др. – М.: Университетская книга, Логос, 2006. – 488 с. + 16 с. цв. вкл.
5. Справочник по теплогидравлическим расчетам (ядерные реакторы, теплообменники, парогенераторы) / П.Л. Кириллов, Ю.С. Юрьев, В.П. Бобков; Под общ. ред. П.Л. Кириллова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 360 с.: ил.
6. 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.

УДК 504.054: 629.78 (03)

## Комплексное моделирование процессов при падении отработанных ступеней ракет-носителей

**В.А. Архипов, А.А. Антонникова\*, И.К. Жарова, Е.А. Козлов**

*Научно-исследовательский институт прикладной математики и механики*

*Томского государственного университета, г. Томск, Россия*

*\*Институт проблем химико-энергетических технологий*

*Сибирского отделения Российской академии наук, г. Бийск, Россия*

**E-mail: Zharova@niipmm.tsu.ru**

Приведены результаты анализа методов прогнозирования рисков негативного воздействия на окружающую среду при запуске ракет-носителей. Рассмотрены подходы к комплексному моделированию прогнозирования экологической обстановки в районах падения отработанных ступеней ракет-носителей.

Количество космодромов в мире увеличивается с каждым десятилетием и сегодня с учетом строящихся их насчитывается более 30. Территориально космодромы рассредоточены по всем континентам, кроме Антарктиды. Естественно, такая широкая сеть космодромов при запуске ракет-носителей создает риски негативного воздействия на окружающую среду. Хотя «присутствием в космосе» владеют более десятка стран, на сегодняшний день не существует согласованной международной программы решения экологических аспектов проблем, возникающих при падении отработанных фрагментов космических летательных аппаратов. В условиях сложившейся в мировом сообществе геополитической ситуации страны, участвующие в освоении космоса, остаются один на один с необходимостью прогнозирования рисков негативного воздействия отработанных ракет-носителей на окружающую среду.

В 2011 г. в России осуществлены запуски 9 ракет-носителей «Протон-М», 6 – «Союз-У», 5 – «Зенит», 5 – «Союз-2.1б», 4 – «Союз-ФГ», 4 – «Союз-2.1а», 1 – «Рокот» и 1 – «Днепр». Ракета-носитель «Протон-М» (стартовый вес 698 т) заправляется высокотоксичными компонентами (несимметричный диметилгидразин – гептил и азотный тетраоксид – АТ); ракета «Союз-У» (стартовый вес 317 т) – малотоксичными компонентами (керосин марки Т-1 и жидкий кислород O<sub>2</sub>). Ракета-носитель «Зенит» (стартовый вес 459 т) – Т-1 и O<sub>2</sub>; ракеты-носители «Союз-ФГ» и «Союз-2.1а» – Т-1 и O<sub>2</sub>; ракета-носитель «Рокот» (стартовый вес 107 т) – высокотоксичным гептилом и АТ; ракета носитель «Днепр» (стартовый вес 210 т) – гептилом и АТ. Очевидно, что высокотоксичные компоненты – гептил и азотный тетраоксид – представляют источник наибольшей опасности для окружающей среды. При этом, если учесть, что около 90 % стартового веса составляют компоненты горючего и окислителя, то с точки зрения химического воздействия на окружающую среду могут возникать большие риски. К таким рискам, требующим особого внимания, относятся химические загрязнения атмосферы и почвы, загрязнение поверхностных и грунтовых вод. Интенсификация космической деятельности характеризуется количеством запусков ракет-носителей и увеличением рисков воздействия на окружающую среду. В таблице приведены статистические данные (Интерфакс АВН) по запускам российских ракет-носителей [1].

Таблица

Год	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Кол-во запусков	38	25	25	24	26	31	30	27	33	33	31	35
Кол-во аварий	4	0	2	0	1	3	2	2	1	1	1	не приведено

Одним из наиболее важных аспектов является методология оценки потенциальной экологической опасности для районов падения отделяемых ракет-носителей. Непосредственной экологической угрозой является наличие в баках и трубопроводах отделенных ступеней остатков так называемого «гарантийного» запаса компонентов, которые при отделении представляют экологическую угрозу. Разработка методологии прогнозирования экологической обстановки в районах падения отработанных фрагментов остается на сегодняшний день весьма актуальной,

особенно для районов Западной Сибири, Горного Алтая и Саян, где отведены «зоны отчуждения» при падении. Эта методология будет полезной и для других регионов мира. Главные вопросы, на которые методология с большой степенью достоверности должна давать ответы: где выпадут токсичные компоненты? в каком количестве? какова степень экологической угрозы? На эти вопросы теоретические исследования многих авторов [2–5] дают ответы только по отдельным факторам, явлениям и процессам и направлены, в основном, на разработку фундаментальных основ прогнозирования в виде физико-математических моделей и диапазонов их применимости. Авторы настоящей работы считают этого недостаточным для решения прикладных задач.

Цель настоящей работы – анализ подходов к комплексному моделированию прогнозирования рисков, связанных с определением места выпадения, степени зараженности конкретных территорий на основе компьютерного моделирования с учетом всех возможных процессов, факторов, физических и метеорологических явлений. Сформулированная прикладная задача является многофакторной и весьма сложной. Существенной трудностью при разработке и программного комплекса, и физико-математических моделей, заложенных в нем, является наличие неопределенностей в развитии событий.

Неопределенным является количество компонентов, оставшихся на борту в момент отделения, что приводит к неопределенности в количественных оценках начального облака заражения при разгерметизации. При вращении на траектории спуска отделенного блока жидкость в баках ведет себя сложным образом – жгутируется и совершает удары по днищам как твердое тело, что приводит к неопределенности в оценке высоты нарушения целостности. Дополнительную неопределенность накладывает разогрев вращающегося блока, летящего по баллистической траектории и входящего в плотные слои атмосферы.

Неопределенной является одновременность (разновременность) разгерметизация баков горючего и окислителя и, как следствие, неопределенность химического взаимодействия и возможного воспламенения компонентов, оказавшихся в атмосфере.

Неопределенным является временной диапазон разгерметизации и вытеснения компонентов (от мгновенного до нескольких минут).

Неопределенными являются метеоусловия в районах падения отдельных фрагментов и, в связи с этим, неопределенность переноса токсичных аэрозолей в атмосфере.

Неопределенным является ландшафт и экология водоемов в зоне падения.

В силу указанных неопределенностей предлагается реализовать в компьютерном виде такую методологию прогнозирования, которая позволяла бы строить различные сценарии развития возможных событий и по построенным сценариям определить максимально возможный спектр вредных для окружающей среды факторов. Принятая методология прогнозирования должна позволять вводить экспертные оценки влияния токсикантов и корректировать итоговый ущерб территорий. Чем большее количество моделей процессов, физических явлений и факторов будет привлекаться к построению спектров событий и чем глубже и адекватнее к реальности эти модели, тем точнее возможен итоговый прогноз. И сценарии процессов, и математические модели должны быть открытыми для дополнения и уточнения.

В настоящее время создана достаточно крупная теоретическая база по моделированию процессов. Приведем типичные примеры. В упрощенной постановке, как возможный сценарий, решена задача зажигания смеси компонентов при растекании их по земле во время удара, подъема горячих продуктов и увлечения ими несгоревших токсикантов распространения облака под силой ветра. Задача не дает полной картины заражения, однако позволяет определить максимальное расстояние от точки зажигания места выпадения мелких фракций частиц аэрозоля [6]. Решены задачи воспламенения в воздухе жидких компонентов [7], распространения аэрозоля с учетом аэродинамического дробления, слияния и повторного дробления с привязкой к метеоусловиям Новосибирска и Колпашева на 1.07.2001 г. [8], разработана модель эволюции жидко-капельного облака жидкого топлива с учетом испарения частиц [9].

Примеров конкретных моделей и решенных задач можно привести множество. Несомненно, это достижение фундаментальных исследований, и оно имеет важное значение. Однако требования современности выдвигают задачи создания «межотраслевой», объединяющей смежные области знаний и имеющей прикладное значение методологии прогнозирования загрязнений, дающей конкретный конечный результат в конкретном районе территории в конкретный момент времени. Необходимо объединить геоинформационные технологии, технологии электронных карт, базы данных по ландшафтным параметрам с учетом наличия рек, водоемов, болот, лесов, пахотных земель и т. д. и физико-математические модели распространения загрязнений всех уровней сложности. Необходимо создание так называемого объемного электронного паспорта

территорий, способного обеспечить картографическое сопровождение приземления отдельных ступеней ракет-носителей.

Работа является комплексной, объединяющей различные области знаний и требующая современных ресурсов вычислительной техники. Постановка такой работы потребует относительно малой доли финансирования от выделяемых государством средств на космические программы. Выполнение такой межведомственной работы возможно при наличии заказчика с разработанными требованиями к проекту и централизованного финансирования, не разделенного по ведомствам. Внедрение результатов в инфраструктуры регионов позволит информировать население и правильно оценивать реальные риски. В виде схемы предлагаемая методология представлена на рис. 1.



Рис. 1. Схема методологии прогнозирования последствий падения отработанных ступеней ракет-носителей.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ, грант № 12-08-90811-мол\_рф\_нр.

#### Список используемой литературы:

1. Интерфакс АВН // <http://www.mmilitarynews.ru>
2. Экологические проблемы и риски воздействий ракетно-космической техники на окружающую среду / Под общ. ред. чл.-корр. РАН В.В. Адушкина, д. ф.-м. н. С.И. Козлова, к. т. н. А.В. Петрова. – М.: Изд-во «Аника», – 2000. – 639 с.
3. Александров Э.Л. О поведении капель ракетного топлива в атмосфере // Метеорология и гидрология. – 1993. – № 4. – С. 36 – 45.
4. Садовский А.П., Рапута В.Ф., Олькин С.Е., Зыков С.В., Резникова И.К. К вопросу об аэрозолировании гептила в районах падения отделяемых ракет-носителей // Оптика атмосферы и океана. – 2000. – Т. 13. – № 6–7. – С. 672 – 677.
5. Пепнер И.Э., Коханенко Г.П., Шаманаев В.С. Самолетные исследования аэрозольного следа от отделяемых частей ракет-носителей // Оптика атмосферы и океана. – 2001. – Т. 14. – № 12. – С. 1137 – 1140.
6. Козлов Е.А., Халецкая О.В. Разработка математических моделей распространения загрязнений отработанных ступеней ракет-носителей // Докл. конф. «Проблемные вопросы методологии утилизации твердых топлив, остатков жидких топлив в элементах ракетно-космической техники». – Бийск. – 2000. – С. 36 – 47.
7. Козлов Е.А., Крайнов А.Ю. Период самовоспламенения двухкомпонентного аэрозоля жидких

- горючих и окислителя // Физика горения и взрыва. – 1999. – Т. 35. – № 6. – С. 15 – 21.
8. Козлов Е.А., Архипов В.А., Березиков А.П. Опыт исследований внутрикамерных процессов ракетных двигателей применительно к моделированию техногенных загрязнений при отделении ракет-носителей // Изв. РА РАН. – 2004. – № 2/39. – С. 68 – 73.
  9. Архипов В.А., Березиков А.П., Ткаченко А.С., Усанина А.С. Обобщенная модель распространения жидко-капельного облака при аварийном сбросе авиационного топлива // Изв. Вузов. Физика. – 2010. – № 12/2. – С. 10 – 13.

УДК 504.062.2

### **Проблема загрязнения окружающей среды**

*А.А. Аверьянова*

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

*E-mail: [alenaShk@yandex.ru](mailto:alenaShk@yandex.ru)*

Показана проблема загрязнения окружающей среды бытовым мусором, образование несанкционированных свалок. Установлено, что основным мусором является полимерные вещества (пластики, полиэтилен, пластмасса). Описаны возможные пути решения данной проблемы.

Экологическая проблема загрязнения окружающей среды, является важной проблемой для государства в целом. Количество мусора с каждым годом растет, происходит увеличение несанкционированных свалок в городе и в его окрестностях. Свалки образуются из-за большого количества бытовых отходов, и отсутствия отлаженной системы переработки отходов. Основной мерой борьбы с несанкционированными свалками является наложение штрафа.

Загрязнение окружающей среды приводит к ряду экологических проблем, например, парниковой эффект, кислотные дожди, эрозия почвы. Основными источниками загрязнения в [городах](#) является промышленность, образующая в результате производственного процесса загрязняющие вещества, а так же твердые бытовые отходы, возникающие в процессе жизнедеятельности. Не меньшее значение как загрязнитель окружающей среды имеют и сточные городские воды, объединяющие производственные, бытовые и дождевые воды. Основной объём бытовых отходов составляет пластиковая упаковка. Современные производители товаров делают упаковку красочной, привлекательной, продукты питания в такой упаковке долго не портятся. Для производства упаковки в основном применяются полимерные материалы (пластики, полиэтилен и т.д.) Пластик сегодня используется повсеместно и не только для производства упаковки. Мы очень часто стали использовать пластиковую посуду, сегодня на каждого жителя планеты приходится до 88,5 кг пластиковой одноразовой посуды в год. Использованная упаковка и другие отходы попадают на свалку. В развитых странах широко применяется бумажная упаковка. В естественных условиях бумага разлагается в течение 2-5 месяцев, окурки от 1 года до 12 лет, полиэтиленовые пакеты разлагаются 10-20 лет, пластиковая упаковка практически не разлагается [1]. Чем больше мусора и чем дольше он лежит, тем он опаснее, старые свалки содержат большое количество вредных отходов и ядовитых химических веществ, которые годами размещались на них и проникали в окружающую среду.

Размещение отходов на свалках ведет к выделению метана - одного из парниковых газов и опасных химических веществ, которые оказывают вредное воздействие на окружающую среду. Так же периодически происходит возгорание свалок, что ведёт к очень серьёзным последствиям, к примеру, горение пластикового мусора наносит природе огромный ущерб, при его сгорании в атмосферу попадают токсичные вещества, наносящие вред окружающей среде и здоровью человека. Параллельно с загрязнением почвы, загрязняется Мировой океан. Около 95% морских птиц, обитающих в Северном море, имеют в своих желудках пластиковый мусор [1].

Переработка пластиковой упаковки экономически невыгодна, так как требуются большие вложения, напротив, как переработка бумажных пакетов не так дорога. Чтобы решить проблему загрязнения территории, и образования несанкционированных свалок, необходимо создавать перерабатывающие предприятия.

Каждый человек может внести свой небольшой вклад в уменьшение количества свалок. В первую очередь, нужно оставлять как можно меньше мусора в местах отдыха, бытовые отходы необходимо относить только в специально предназначенные для этого контейнеры. Приобретая товары и продукты в магазинах, стоит обращать внимание на их упаковку, отдавая предпочтение экологически безопасной упаковке, если есть выбор, нужно отказаться от приобретения продуктов

в пластиковой упаковке. Отправляясь в магазин за покупками можно взять с собой сумку, чтобы не пришлось покупать пластиковый пакет. Сбор и сдача макулатуры и металлолома, что может уменьшить складирование бытовых отходов на улицах города.

**Список используемой литературы:**

1. <http://www.saveplanet.su> – Материалы по экологии. Пластиковые отходы – проблема сегодняшнего дня.

УДК 574.24

**Оценка качества среды по состоянию листьев на примере берёзы повислой**

*А.А. Аверьянова*

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

*E-mail: [alenaShk@vandex.ru](mailto:alenaShk@vandex.ru)*

Показана возможность расчета экологического состояния среды на примере березы повислой (*Betula pendula*). Установлено, что состояние окружающей среды неудовлетворительно. Сделан вывод о том, что необходимо произвести комплекс мер по улучшению окружающей среды.

Развитие промышленности ведёт за собой загрязнение окружающей среды. Сажа, копоть, смог, выхлопные газы, дым, всё это ведёт к ухудшению качества окружающей среды. Это сильно влияет на состояние животных, растений. Помимо загрязнения газообразными частицами, в атмосферу попадают так же твёрдые частицы (сажа, пыль, копоть), так же частицы металлов. Мелкие частицы пыли, сажи, взвесей растворов, некоторых химических соединений, появляются в воздухе из различных аэрозолей. Распыление аэрозолей ведёт не только к загрязнению окружающей среды, но и к увеличению концентрации углекислого газа в воздухе, что может привести к заметным изменениям климата и соответственно к нарушению равновесных связей в биосфере [1]. Глобальное загрязнение атмосферного воздуха сказывается на состоянии природных экосистем, особенно на зеленом покрове нашей планеты. Проводилось исследование состояния окружающей среды по состоянию листьев на примере берёзы повислой. Листья березы повислой были собраны на территории экспериментального хозяйства Сибирского ботанического сада Томского государственного университета, который находится в районе улицы Мокрушина. Сбор листьев составил 10 проб, пробы в сумме составляли из 100 листьев (по 10 листьев с 10 деревьев).

Каждая проба хранилась отдельно, в полиэтиленовом пакете, с вложенной этикеткой, указывающая номер пробы, место и дату сбора. При выборе деревьев учитывалось, во-первых, точность определения принадлежности растения к исследуемому виду. Во-вторых, листья были собраны с растений, находящихся в похожих экологических условиях (учитывалось: уровень освещенности, увлажнения и т.д.). При выполнении исследований были проведены следующие операции: лист березы помещался перед собой брюшной (внутренней) стороной вверх и проводились измерения. Брюшной стороной листа называют сторону листа, обращенную к верхушке побега. С каждого листа снимались показатели по пяти промерам с левой и правой сторон листа (рис. 1).

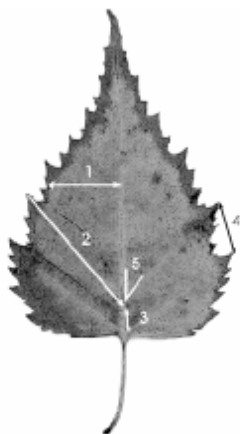


Рис. 1. Схема морфологических признаков, использованных для оценки стабильности развития березы повислой (1 - ширина левой и правой половинок листа, 2 - длина жилки второго порядка, 3 - расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка, 4 - расстояние между концами первой и второй жилок второго порядка, 5 - угол между главной жилкой и жилкой второго порядка).

Так же в ходе работы была вычислена относительная величина асимметрии,  $a$ . Она была вычислена по формуле:

$$a = \frac{|L - R|}{|L + R|},$$

где  $L$  – промер слева,  $R$  – промер справа.

Был вычислен показатель асимметрии для каждого листа. Для этого суммировались значения относительных величин асимметрии по каждому признаку и делились на число признаков.

Для оценки степени выявленных отклонений от нормы, их места в общем диапазоне возможных изменений показателя разработана балльная шкала. Балл - величина показателя стабильности развития. Диапазон значений интегрального показателя асимметрии, соответствующий условно нормальному фоновому состоянию, принимается как первый балл (условная норма). Он соответствует данным, полученным в природных популяциях при отсутствии видимых неблагоприятных воздействий (например, на особо охраняемых природных территориях). В этой связи надо иметь в виду, что на практике при оценке качества среды в регионе с повышенной антропогенной нагрузкой фоновый уровень нарушений в выборке растений или животных даже из точки условного контроля не всегда находится в диапазоне значений, соответствующих первому баллу. Диапазон значений, соответствующий критическому состоянию, принимается за пятый балл. Он соответствует тем популяциям, где есть явное неблагоприятное воздействие и такие изменения состояния организма, которые приводят организм к гибели. Пятибалльная шкала оценки отклонений состояния организма от условной нормы по величине интегрального показателя стабильности развития для березы повислой [2].

Таблица 1 «Балловая система».

Балл	Величина асимметрии, <i>a</i>
I	<0,040
II	0,040 - 0,044
III	0,045 - 0,049
IV	0,050 - 0,054
V	>0,054

Исходя из исследования территории, из десяти проб всего две получили III балл, остальные получили V, который соответствует критическому состоянию. Из этого следует, что на популяцию берёзы повислой, явно воздействуют неблагоприятные факторы, которые могут привести к гибели организмов. Для улучшения экологических условий необходимо произвести комплексные изменения, например, перенести железнодорожную ветвь за город, расширить дорогу, для уменьшения автомобильных пробок.

#### Список используемой литературы:

1. Панин О.С. Проблемы антропогенного воздействия на биосферу: Курс лекций. – М.: МГУ, – 2007. – 120с.
2. Дадаева А.Р. Оценка качества среды по состоянию листьев на примере берёзы (оценка стабильности развития живых организмов по уровню асимметрии морфологических структур): Методические указания к лабораторной работе. – Великий Новгород: НовГУ, – 2006. – 7 с.

УДК 620.193.004.2

### Обеспечение экологической безопасности эксплуатации магистральных трубопроводов

*А.Ф. Бархатов*

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

*E-mail: [barhatov@sibmail.com](mailto:barhatov@sibmail.com)*

Показана актуальность проблемы несанкционированных врезок на действующих магистральных трубопроводах. Установлена экологическая опасность несанкционированных врезок. Проанализированы системы, которые используются для обнаружения несанкционированных врезок. Сделан вывод о том, что инфразвуковая система мониторинга трубопроводов позволит повысить экологическую безопасность эксплуатации трубопроводов за счет снижения количества несанкционированных врезок, а также скорости их регистрации.

Проблема обеспечения промышленной и экологической безопасности трубопроводного транспорта углеводородов (УВ) – нефтепроводов, продуктопроводов и газопроводов – всегда была актуальной. Магистральные трубопроводы (МТ) работают под большим давлением и при нарушении их герметичности происходит значительный по объему выброс продуктов перекачки. Это не только причиняет материальный ущерб предприятиям трубопроводного транспорта в связи



с потерями продукта перекачки, затратами на ликвидацию аварий, штрафными санкциями, но и приводит к загрязнению окружающей среды, создает предпосылки для возникновения чрезвычайных экологических ситуаций техногенного характера.

Для России необходимость обеспечения безопасности трубопроводного транспорта УВ носит особенно острый характер. Это связано в первую очередь с большой протяженностью действующих и проектируемых МТ. Кроме того, серьезной проблемой являются несанкционированные врезки в МТ с целью отбора продукта перекачки, приобретающие все более серьезные масштабы. Рост числа таких врезок напрямую связан с увеличением стоимости УВ и продуктов их переработки. Несанкционированные врезки сопровождаются механическими воздействиями на трубопровод, утечками продукта перекачки, наносят значительный материальный ущерб компаниям, эксплуатирующим трубопроводы, и в ряде случаев приводят к серьезным экологическим катастрофам [1].

В настоящее время хищения нефтепродуктов и газа путем несанкционированных врезок в МТ приобретают масштаб острой государственной проблемы. Значительная протяженность МТ затрудняет постоянный контроль их состояния, а прохождение трубопроводных систем через густонаселенные территории способствует росту числа несанкционированных врезок. В некоторых регионах ситуация с такими врезками привела к тому, что транспортные компании вынуждены рассматривать вопрос о закрытии части своих магистральных трубопроводов, в том числе работавших на экспорт газа и нефтепродуктов. Это связано с тем, что суммы ущерба от хищения транспортируемых продуктов делают эти участки трубопроводов нерентабельными [2].

Компании, эксплуатирующие МТ прилагают немало усилий для обеспечения их безопасной эксплуатации. Значительные средства расходуются на охрану трубопроводов, текущее обслуживание, диагностику и ремонт.

Для обеспечения безопасной эксплуатации трубопроводного транспорта, защиты от несанкционированных врезок необходима надежная система непрерывного дистанционного контроля технического состояния трубопроводов с функциями обнаружения утечек и охраны. Такие системы интенсивно разрабатываются как в России, так и за рубежом.

В настоящее время на трубопроводах эксплуатируется ряд систем, работа которых основана на различных физических принципах.

**Акустические** системы регистрируют в акустическом диапазоне частот волны, сформированные утечками. К этим системам относятся:

- СНКГН-1, СНКГН-2 (НИИ интроскопии при Томском политехническом университете);
- "LeakWave" (фирма "Энергоавтоматика", Москва);
- "Капкан" (ООО "Проект-ресурс", Нижний Новгород);
- "WaveAlert Acoustic Leak Detection System" (компания Acoustic Systems Incorporated, США);
- "Leak and Impact / Shock Detection System L.D.S." (Франция).

**Параметрические** системы основаны на измерении давления и расхода продукта перекачки. К таким системам относятся:

- "Leak Detection System" (компания Process Automation Systems, Чехия);
- "LeakSpy" (фирма "Энергоавтоматика", Россия); "Leak Detection System" (компания S.E.I.C., Италия);
- "Pipeline Leak Detection System" (компания Tokyo Keiso - KROHNE Pte. Ltd., Сингапур);
- "ATMOS (TM) Pipe" (компания ATMOS INTERNATIONAL LIMITED, Великобритания);
- "Leak detection and location system" (компания Sinulation Software Limited", Великобритания) и некоторые другие.

Предлагаются также системы, работающие на других физических принципах, среди которых, в частности, следует отметить:

- систему виброакустического мониторинга на основе волоконно-оптического кабеля (ООО "ПЕТРОЛАЙТ", Россия);
- волоконно-оптический датчик (кабель) для обнаружения утечек нефти и нефтепродуктов (ООО "Управляющая компания "Созвездие" совместно с ИПМ РАН);
- систему оперативного дистанционного контроля утечек (ОДК) (ЗАО "МосФлоулайн"), основанную на измерении проводимости изоляционного покрытия трубопровода.

Акустические и параметрические системы имеют преимущества по сравнению с другими благодаря более высоким техническим характеристикам и экономическим показателям. При сравнении систем существенным показателем является стоимость оборудования, его монтажа и

текущего обслуживания в расчете на 1 км протяженности трубопровода. И если характеристики двух систем сравнимы, то предпочтение отдается, безусловно, экономически более привлекательной разработке.

Анализ экономических показателей позволяет условно разделить перечисленные системы на две стоимостные группы (распределенные и протяженные системы), которые отличаются способом монтажа оборудования на трубопроводе:

- в распределенных системах регистрирующие модули устанавливаются на МТ, как правило, на значительном расстоянии друг от друга и используют доступные каналы связи - радиоканал, спутниковый, телемеханический, оптоволоконный. К этой группе относятся акустические и параметрические системы;
- в протяженных системах устанавливаемое оборудование требует прокладки вдоль трубопровода дополнительного канала связи.

Для распределенных систем стоимость оборудования, монтажа и текущего обслуживания в расчете на 1 км примерно в 10 раз ниже по сравнению с протяженными системами. В то же время анализ технических характеристик указанных систем показывает, что они обеспечивают регистрацию крупных утечек, сопровождающихся падением давления, и имеют предел чувствительности, который составляет около 1 % производительности трубопровода. При этом утечки с низкой интенсивностью (менее 1 %) такие системы не регистрируют. Так, например, при производительности 2000 м<sup>3</sup>/ч система с чувствительностью 1 % способна обнаружить только утечку с интенсивностью 333,3 л/мин и более [1].

Чувствительность рассматриваемых систем ограничена "шумом" измеряемых параметров. В последнее время растет производительность магистральных трубопроводов, что приводит к увеличению "шума" и снижению чувствительности систем. Реализация только одной функции контроля технического состояния в акустических и параметрических системах является их существенным недостатком.

Для обеспечения нескольких функций, например таких, как регистрация утечек, охрана трубопровода, сопровождение (контроль местоположения) внутритрубных устройств, необходимо устанавливать 3 разные системы, что приводит к снижению надежности при реализации отдельных функций и росту общих затрат.

Актуальность регистрации утечек с низкой интенсивностью чрезвычайно высока, поскольку такие утечки в ряде случаев приводят к масштабным катастрофам. В качестве примера можно привести утечку из Трансаляскинского нефтепровода 2 марта 2006 г., которая привела к одному из крупнейших разливов нефти в США. Установленная на нефтепроводе, эксплуатируемом компанией BP, система обнаружения утечек с чувствительностью 1 % не позволила зарегистрировать утечку. За 5 сут. разлива нефти экологии был нанесен катастрофический ущерб.

Согласно оценкам Федеральной службы по надзору в сфере природопользования, общий объем потерь при транспортировке нефти в России составляет от 3 до 7%. Двукратный разброс в оценках вызван тем, что не все компании раскрывают статистику происшествий. По информации службы охраны ОАО «Лукойл-Пермь», у компании ежегодно воруются около 100 тыс. тонн нефти - это 1% от всего объема добычи. За счет такого воровства преступные группировки получают средства для дальнейшего существования [3].

Справка: По оценкам экологов, при разливе 25 л нефти на 1 кв. м фитомасса сокращается на 90 % за 1 год. Период самовосстановления растительного покрова после загрязнения почвы нефтью для северных широт составляет 10-15 лет. Растворенная и эмульгированная нефть в концентрации выше 0,05 мг/л приводит к значительным нарушениям биологического равновесия водоемов. 1%-ный водный раствор ароматических углеводородов, которых в нефти содержится 30-40%, убивает все водные растения.

Утечки с низкой интенсивностью характерны и для несанкционированных врезок. Так, например, при производительности трубопровода 2000 м<sup>3</sup>/ч достаточно 30 мин, чтобы, не превышая предела чувствительности системы обнаружения утечек в 1 %, заполнить автоцистерну вместимостью 10 м<sup>3</sup>. Крупные трубопроводы имеют производительность в ряде случаев около 10000 м<sup>3</sup>/ч, и рассматриваемый процесс несанкционированного отбора продукта на таких трубопроводах занимает около 6 мин. В случае разлива продукта с интенсивностью 1 % из трубопровода, работающего при производительности 10000 м<sup>3</sup>/ч, в течение 5 сут. происходит загрязнение территории площадью 1,2 км<sup>2</sup> и толщиной слоя продукта 1 см. Опасен разлив при попадании продукта в реки, в этом случае негативные последствия могут быть катастрофическими [3].

К сожалению, в большинстве случаев факт обнаружения утечки при несанкционированном отборе не позволяет предотвратить хищение. Действительно, в течение нескольких минут отбора служба охраны трубопровода не успевает предпринять защитных мер. В то же время существует возможность раннего обнаружения несанкционированного доступа, поскольку работы, связанные с врезками, сопровождаются механическими воздействиями на трубопровод, которые могут быть зарегистрированы.

В 2009-2010 гг. на действующих МТ проведены комплексные испытания новой, разработанной новосибирскими учеными, многофункциональной системы мониторинга технического состояния трубопроводов с функциями обнаружения утечек. Система получила название «Инфразвуковая система мониторинга трубопроводов» (ИСМТ). В ИСМТ используется метод регистрации инфразвуковых колебаний, которые, как показали исследования, распространяются внутри трубопровода (по крайней мере, с жидкими продуктами) на расстояния до нескольких сотен километров. Благодаря слабому затуханию инфразвуковых волн эта система способна обнаружить утечку из трубопровода, механическое воздействие на стенку трубы, источники "шума", формирующиеся на значительном удалении от места регистрации.

Высокая чувствительность системы обеспечивает сопровождение внутритрубных снарядов для ряда участков трубопроводов протяженностью до 100 км с помощью одной инфразвуковой антенны, установленной на трубопроводе. В системе реализована возможность подключения к известным каналам связи, организована передача результатов мониторинга во внешние системы управления технологическими процессами [1].

Практика внедрения ИСМТ показала, что требования к надежности оборудования, устанавливаемого на трубопроводах, крайне высоки, поскольку оно работает на большом расстоянии от оператора и средств технической поддержки. В ИСМТ реализованы аппаратные и программные решения, которые обеспечивают ее стабильную автономную работу. Текущее обслуживание не требуется благодаря функции автоматической дистанционной самодиагностики (сервисная функция "охрана и диагностика собственных модулей"), включающей элементы прогноза технического состояния оборудования и запись архивов результатов диагностики с длительностью до 3 мес. в энергонезависимую память. Благодаря реализации указанной функции обеспечиваются повышение надежности работы оборудования ИСМТ, его безаварийная эксплуатация в течение не менее 6 лет. Все это позволяет минимизировать затраты на его обслуживание.

#### **Список используемой литературы:**

1. Васильев И.В. Безопасность трубопроводного транспорта углеводородов // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2007. – № 6 – С.51 – 54.
2. Новые системы охраны магистральных нефтегазопроводов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.psj.ru> (дата обращения 27.05.10).
3. Казаков А.В. Защита трубопроводов от несанкционированных врезок // Системы безопасности. – 2008. – № 5. – С.68 – 72.

УДК 620.193.004.2

### **Проблема сжигания попутного нефтяного газа в Томской области**

*А.Ф. Бархатов*

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

**E-mail: [barhatov@sibmail.com](mailto:barhatov@sibmail.com)**

Показана актуальность проблемы сжигания попутного нефтяного газа на территории Томской области. Установлена экологическая опасность сжигания попутного нефтяного газа на факельных установках. Проанализированы основные проблемы сложившейся ситуации. Предложены пути решения.

Поиски, разведка и добыча полезных ископаемых оказывают многократное техногенное воздействие на геологическую среду. Максимальный ущерб окружающей среде наносится либо из-за экологической безграмотности, либо в погоне за сиюминутной выгодой. Одной из самых серьезных экологических проблем, стоящих сегодня перед российским государством, его гражданами и недропользователями, является проблема утилизации попутного нефтяного газа (ПНГ).

Для анализа ситуации в Томской области были рассмотрены данные по 41 месторождению Томской области, рассчитаны показатели добычи и сжигания ПНГ на факельных

установках, количество вредных выбросов в атмосферу  $\text{CO}_2$  из-за сжигания ПНГ, выявлены причины нерационального использования попутного нефтяного газа и обозначены пути решения проблемы утилизации ПНГ [1,2].

На протяжении нескольких десятилетий ПНГ сжигается на факельных установках, на нефтегазовых месторождениях, в результате чего наносится колоссальный ущерб окружающей среде и теряется невосполнимый энергетический ресурс, являющийся к тому же ценным нефтехимическим сырьем. За 2008 г. на территории Томской области добыто 764 млн.  $\text{м}^3$  ПНГ [3], а средний объем утилизации по всем месторождениям составил всего лишь 30 %. При этом, согласно постановлению Правительства РФ от 8 января 2009 г. «О мерах по стимулированию сокращения загрязнения атмосферного воздуха продуктами сжигания попутного нефтяного газа на факельных установках» [4], объем утилизации ПНГ с 2012 г. должен быть доведен до уровня не менее 95 %. Таким образом, за 2008 г. на месторождениях Томской области сожжено 535 млн.  $\text{м}^3$  попутного нефтяного газа, а в денежном эквиваленте, при средней цене на ПНГ в 253 руб. за 1000  $\text{м}^3$ , в атмосферу, вместе с тоннами отравляющих веществ, выброшено 135,4 млн руб. при сжигании нефтедобытчиками попутного нефтяного газа.

По имеющейся в печати информации, в Российской Федерации только 40% ПНГ (примерно 12 млрд куб. метров) подвергается переработке с целью получения сырья для нефтехимических предприятий и сжиженного газа для населения. Еще 40% сжигается без переработки на ГРЭС, а 20% уничтожается на промыслах путем сжигания в открытых факелах, при этом загрязняющие выбросы в атмосферу исчисляются тысячами тонн. Только по официальным (в несколько раз заниженным) данным, в России ежегодно сжигается около 30 млрд куб. метров ПНГ. При этом необходимо отметить, что при сжигании 1000 куб. метров ПНГ в атмосферу выбрасывается около трех тонн  $\text{CO}_2$ , то есть 90 млн. тонн  $\text{CO}_2$  в год. Из-за огромного потребления кислорода и теплового излучения при сжигании ПНГ усиливается парниковый эффект [1]. Сжигание ПНГ в факелах и его выброс в атмосферу потенциально опасны для здоровья, так как в результате сжигания в воздухе образуются токсичные вещества, которые абсорбируются растениями и могут попасть в пищевую цепь. Вредные металлы, содержащиеся в выбросах, могут стать причиной раковых заболеваний, врожденных пороков, заболеваний крови и центральной нервной системы.

В результате анализа данных по месторождениям были выявлены основные причины нерационального использования попутного нефтяного газа в Томской области.

Основной причиной сжигания ПНГ на факельных установках является удаленность месторождений от развитой инфраструктуры [5]. Подсоединение таких месторождений к газопроводам, подводка их к газоперерабатывающим заводам требуют больших капиталовложений, а недропользователи, как правило, стремятся к минимизации издержек. Большинство месторождений находятся в труднодоступных районах и удалены от развитой инфраструктуры.

Второй по значимости причиной нерационального использования ПНГ являются размеры месторождений. Многие из них сжигают сравнительно небольшие объемы газа, то есть, сами месторождения – относительно небольшие. В Томской области на большинстве месторождениях добывается менее 20 млрд.  $\text{м}^3$  ПНГ.

В 2008 г. на Лугенецком месторождении – самом крупном нефтегазоконденсатном месторождении Томской области, добыто 134 млн.  $\text{м}^3$  ПНГ, а объем утилизации составил 96 %. При этом на втором по значимости Игольско-Таловом месторождении добыто 105 млн.  $\text{м}^3$  ПНГ, а утилизировано всего 49 % [3].

Еще одной проблемой, связанной с утилизацией попутного нефтяного газа, является низкая цена на ПНГ, которая зависит от газожижкостного состава. Чем выше содержание жидкой фракции в попутном нефтяном газе, тем меньше его цена. На протяжении нескольких лет цена на ПНГ остается примерно одинаковой и варьирует в пределах от 86 до 420 руб. В данных условиях транспортировка ПНГ на нефтехимические предприятия становится нерентабельной, т. к. издержки превышают прибыль, ведь для транспортировки требуется дорогостоящее строительство и обслуживание трубопровода. В настоящее время стоимость строительства 1 км стандартного трубопровода (530 мм) составляет 15,8 млн. руб. Эксплуатация трубопровода также является дорогим мероприятием: обслуживание трубопровода обходится в 360 тыс. руб. на 1 км, тариф на транспортировку 1000  $\text{м}^3$  ПНГ до Единой газотранспортной системы (ГТС) ОАО «Газпром» составляет 62,3 руб. на 100 км, по ГТС ОАО «Газпром» – 40,6 руб. на 100 км [1].

Идея выработки электроэнергии с использованием в качестве топлива ПНГ не нова, но основным препятствием в ее реализации является возможность сдачи выработанной

электроэнергии в единую энергосистему Томской области и дальнейшая ее реализация внешним потребителям. Для этого необходима специальная региональная программа по созданию альтернативной энергетики на ПНГ с согласованием в правительстве Российской Федерации и РАО «ЕЭС России», а также выработка нормативно-правовых документов по этой деятельности. Нет необходимости доказывать всевозрастающее значение альтернативной энергетики в условиях неустойчивости рынка энергоресурсов и имеющегося дефицита электроэнергии в Томской области. Кроме того, при местной альтернативной энергетике появляется возможность регулирования тарифов на электроэнергию. Как показывает опыт Тюменской области, выработка собственной дешевой электроэнергии позволила значительно сократить ее закупку у сторонних производителей [1]. «Сургутнефтегаз» утилизирует до 96% ПНГ, путем строительства газотурбинных электростанций на отдаленных месторождениях и последующей сдачей выработанной электроэнергии в единую энергосистему Тюменской области.

В государственных программах уделяется большое внимание малому и среднему бизнесу — альтернативе естественных монополий, как более гибкой и самонастраивающейся части производительных сил в обществе. Для привлечения малого и среднего бизнеса к созданию производств по сжижению, переработке и транспортировке ПНГ к местам переработки и реализации необходима разработка региональной программы. Сегодня это совершенно незаполненная ниша деятельности в условиях всевозрастающего спроса на рынке сжиженного газа, ввозимого в настоящее время в область из других регионов. Стихийно рынок уже к этому идет, но без контроля государства. Со стороны нефтяников было бы гораздо честнее отдать ПНГ по бросовой цене прямо на промыслах предпринимателям, желающим вкладывать деньги, и закрыть вопрос о выполнении лицензионных соглашений и штрафах за выбросы в атмосферу, чем вести изнурительные демагогические споры, загоняющие проблему только в тупик. Можно сказать, что в результате ведомственных противоречий сформировалась классическая схема экономической безответственности перед государством.

Для справки. Российские производители активно осваивают выпуск установок широкого спектра производительности по сжижению и переработке ПНГ со сроками окупаемости от 2 до 5 лет. Создан уникальный, не имеющий мировых аналогов мини-газоперерабатывающий комплекс «Протоген», способный работать непосредственно на промыслах и полностью утилизировать ПНГ в высокооктановые компоненты бензинов. Многие установки уже внедрены и успешно эксплуатируются в составе нефтегазохимических производств в промышленных регионах страны. Даже самое простое – исключение доступа к факелам газового бензина на первом этапе программы – уже станет прорывом в решении проблемы ПНГ. Трудно переоценить экономическое значение реализации для Томской области этой программы. В первую очередь, будет дан импульс в организации новых производств, что повлечет за собой создание новых рабочих мест, а также решение многих других социальных проблем в районах области. Также этот процесс будет способствовать развитию сети газозаправочных станций с более дешевым и экологически чистым моторным топливом. Для реализации данной программы Томская область обладает высоким научным и промышленным потенциалом.

Актуальным и рентабельным направлением в области утилизации ПНГ является газохимическая переработка. Среди разнообразных предложений по газохимической переработке газа для условий Томской области наиболее предпочтительна технология переработки ПНГ в смесь жидких синтетических углеводородов (СЖУ, синтетической нефти), реализуемых по цене нефти с подачей полученных жидких продуктов вместе с нефтью в магистральный нефтепровод. Другие технологии GTL, предполагающие производство метанола, диметилового эфира, бензол-толуольного концентрата, других «ценных» компонентов в промысловых условиях не применимы из-за отсутствия всесезонных дорог и рынка потребления.

Технологический процесс производства жидких углеводородов представляет собой автоматизированный процесс, управление которым осуществляется с использованием микропроцессорной техники. Оперативно-техническое обслуживание, мелкий и аварийный ремонт оборудования осуществляется штатами ремонтно-механических служб на промысле.

Основные работы, требующие привлечения квалифицированного персонала, приходится на периоды остановки производства на капитальный ремонт оборудования, перегрузку катализатора.

Основной недостаток рассматриваемого варианта – отсутствие примеров апробации предлагаемой технологии в промысловых условиях. Проекты по технологиям GTL представлены на Российском рынке, однако у разработчиков нет примеров пилотных (демонстрационных)

проектов установок, работающих на ПНГ с получением заявленных целевых продуктов. Нет четкого представления об отходах производства и стоимости их утилизации.

Для рационального использования попутного нефтяного газа следует также рассмотреть различные варианты закачки ПНГ в продуктивный пласт с целью поддержания пластового давления, а также получения дополнительных объемов добычи нефти. Подготовка ПНГ для закачки в пласт минимальная – необходимо провести очистку газа от механических примесей и капельной жидкости на упрощенной установке подготовки газа (УПГ). Организация очистки газа от капельной жидкости позволяет извлечь из ПНГ часть ценных компонентов в виде C5+. Далее подготовленный газ компримируется до 30 МПа и подается на устья переоборудованных нагнетательных скважин по газопроводам высокого давления.

В заключение стоит отметить, что зачастую утилизация ПНГ не является прибыльным мероприятием в силу вышеизложенных причин. Для месторождений Томской области основной причиной сжигания попутного нефтяного газа на факельных установках является удаленность месторождений от развитой инфраструктуры. Однако не стоит рассматривать процесс утилизации ПНГ как абсолютно нерентабельное мероприятие. Во многих случаях применение вышеперечисленных технологий делает процесс утилизации ПНГ прибыльным, однако в каждом конкретном случае необходимы расчеты эффективности внедрения на месторождение той или иной технологии.

#### **Список используемой литературы:**

1. Князев М.А., Лукьянов В.Г. Проблемы использования попутного нефтяного газа в Томской области и возможные пути их решения // Проблемы и перспективы развития минерально-сырьевой базы и предприятий ТЭК Сибири. – 2008. – № 7. – С.51 – 54.
2. Аксенов А.В., Широков Ю.Ф. Регулирование рынка ПНГ: уточнить терминологию, добавить меры стимулирования и ответственности // Нефтегазовая Вертикаль. – 2009. – № 8. – С.71 – 78.
3. Попутный нефтяной газ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.cctc.ru](http://www.cctc.ru) (дата обращения 29.08.10).
4. Постановление Правительства РФ от 8 января 2009 г. «О мерах по стимулированию сокращения загрязнения атмосферного воздуха продуктами сжигания попутного нефтяного газа на факельных установках» – М., 2009.
5. Гречишкина И. Разумный баланс между стимулами и принуждением // Нефтегазовая Вертикаль. – 2009. – № 9. – С.84 – 88.

УДК 628.32

#### **Разрушение пероксидных соединений в отходах производства растительных масел**

*М.В. Енютина, Л.Н. Костылева, Т.В. Тарасевич*

*Воронежский государственный университет инженерных технологий, г. Воронеж, Россия*

*E-mail: [kostyleva12@yandex.ru](mailto:kostyleva12@yandex.ru)*

Изучили возможности разрушения пероксидов и изменения класса опасности отработанных отбеленных глин при их размещении на полигонах твердых отходов. Отработанная отбеленная глина обрабатывалась образцами сточной воды с различными рН, которые достигались введением золы, имеющей щелочную реакцию, при различном времени контакта водной фазы с отходом. Содержание пероксидов контролировали с использованием отраслевых методик анализа. В результате проведенных экспериментов удалось снизить класс опасности отхода.

Развитие отраслей пищевой промышленности приводит к появлению многотоннажных отходов производства, утилизация которых представляет значительные проблемы. Одним из таких отходов являются отработанные отбеленные глины, образующиеся на стадии обесцвечивания растительных масел. Существующая технология утилизации данных отходов предусматривает их захоронение на свалках твердых бытовых отходов. Однако, при доступе воздуха начинается интенсивное окисление адсорбированных на глинах органических веществ с образованием органических пероксидов, что приводит к самопроизвольному возгоранию при захоронении. Происходит неконтролируемое горение данных отходов с выбросом в атмосферу различных токсичных веществ.

Целью данных исследований являлось изучение возможности разрушения пероксидов и изменения класса опасности отработанных отбеленных глин при их размещении на полигонах твердых отходов.

Поставленная цель достигалась обработкой отхода сточными водами того же предприятия и золой, полученной при сжигании лузги подсолнечных семечек. Количество отбеленной глины составляет 0,1-2 % от массы масла, температура отбеливания – 75-80 °С, давление в отбельных аппаратах – 4 кПа.

В качестве исходного раствора рассматривались два образца сточной воды с рН равными 4,5 и 6,5. Экспериментальные исследования проводились с использованием сточной воды, имеющей рН 4,5, выбор образца осуществлялся с учетом того обстоятельства, что сточная вода с указанным рН не может быть отправлена на обезвреживание в локальные очистные сооружения предприятия, требуется ее предварительная нейтрализация. Поэтому рН сточной воды изменяли введением щелочных реагентов, в качестве которых использовали золу от сжигания лузги подсолнечных семян, образующуюся на предприятии в качестве отхода производства. В результате были получены четыре варианта сточной воды с рН 6,81; 7,84; 8,32; 8,50.

Процесс разрушения контролировался аналитически по методике определения пероксидов. Исходные образцы отработанной отбельной глины относятся к 4 классу опасности. Содержание пероксидов в этих образцах составляет 5,82 и 6,89 ммоль/кг. Экспериментальные исследования проводили на образце глины, имеющем большее содержание пероксидов. Полученные результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты эксперимента по разрушению пероксидов в отработанных, отбельных глинах при рН 6,5-8,5.

Номер опыта	Массовая доля введенной в сточную воду золы, масс.д., %	Полученное значение рН сточной воды	Массовое соотношение глина:сточная вода	Содержание пероксидов после 24 ч взаимодействия, ммоль/кг
1	0,5	6,81	1:1	3,13
2	1	7,84	1:1	1,65
3	1,5	8,32	1:1	2,25
4	2	8,50	1:1	2,52

Регрессионный анализ результатов эксперимента показал, что наилучшие результаты по разрушению пероксидов в отработанных отбельных глинах получены при рН раствора, которым обрабатываются отходы, равным 6,5-8,5 (рис. 1)

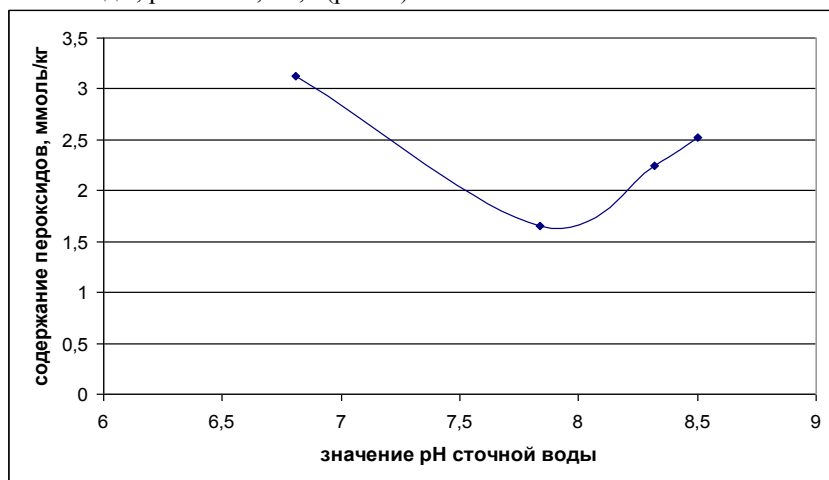


Рис. 1. Зависимость содержания пероксидов от рН сточной воды.

Дальнейшие исследования проводились для определения необходимого времени контакта водной фазы с отходом и массового соотношения отхода и водной фазы. Для этого образцы отхода обрабатывались сточной водой с рН 7,84 в различном соотношении и различном времени контакта. Результаты исследований приведены в табл. 2.

Таблица 2. Определение времени контакта водной фазы с отходом и массового соотношения глина/сточная вода.

Номер опыта	Массовое соотношение глина:сточная вода	Содержание пероксидов после 15 мин взаимодействия, моль/кг	Содержание пероксидов после 24 ч взаимодействия, моль/кг	Содержание пероксидов после 7 сут взаимодействия, моль/кг
1	1:1	4,49	1,63	1,63
2	1:2	3,64	1,54	1,52
3	1:3	2,53	1,55	1,52
4	1:4	2,47	1,50	1,49

Из полученных данных видно, что наилучшие результаты эксперимента достигнуты при времени контакта не менее 24 ч и массовом соотношении глина/сточная вода  $\frac{1}{2}$  и 7 суток. Обработанные таким образом отбельные глины можно отнести к 5 классу опасности. При захоронении обработанного бентонита по предложенной нами методики экологическая система практически не нарушается.

Обезвреживание пероксидных соединений в отработанных отбельных глинах достигалось обработкой отхода сточными водами того же предприятия и золой, полученной при сжигании лузги и подсолнечных семечек, что является экономически выгодно. Таким образом, выявлено, что образец, в массовом соотношении глина/сточная вода (рН=7,84) 7/2 при времени контакта не менее 24 ч, может быть отнесен к 5 классу опасности, согласно п.20 «Критериев отнесения опасных отходов к классу опасности для окружающей среды», т.е. класс опасности отхода снижен. Полученные нами результаты подтверждены исследованием на токсические свойства методом биотестирования.

УДК 628.16

#### **Системный анализ энергетических возможностей наружного климата юга Дальнего Востока**

*Р.С. Федюк, А.В. Мочалов, Ю.Ю. Ильинский, В.И. Николаев*

*Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток, Россия*

*E-mail: roman44@yandex.ru*

В ходе своего исследования автор сделал вывод, что взаимосвязь уникальных климатообразующих факторов юга Дальнего Востока и их совместное воздействие на тепловой баланс здания в настоящее время недооценивается в строительной практике.

В настоящее время неправильно выбранные исходные климатические показатели для теплотехнических и других расчетов ведут к строительству зданий с плохими эксплуатационными качествами, обусловленными несоответствием между расчетным и фактическим состоянием ограждающих конструкций.

Учет комплексного воздействия климатических параметров необходим в первую очередь при расчетах теплопотерь и теплопоступлений через ограждения, при оценке величины сопротивления теплопередаче и теплоустойчивости наружных ограждений, а также при определении воздухопроницаемости и влажностного состояния ограждающих конструкций и их долговечности.

Недоучет особенностей этих основных факторов климата ведет к несоответствию расчетного теплотехнического состояния сооружения действительному, что сказывается на качестве строительных сооружений, их долговечности и санитарно-гигиенических условиях внутреннего режима помещений. В результате недостаточно полного, а иногда и неверного использования данных о климатических особенностях района застройки фактический срок службы зданий в ряде случаев оказывается в 1,5-2 раза меньше расчетного [1].

За последние годы в отечественной и зарубежной литературе много внимания уделяется необходимости создания комплексных климатологических характеристик, которые будут вмещать в себя все основные особенности метеорологического режима местности. Это важно, прежде всего, потому, что все метеорологические факторы действуют на здание одновременно, усиливая или ослабляя влияние друг друга.



При строительном проектировании необходимо учитывать не просто большое количество климатических параметров, а некоторую комплексную климатическую величину, выражающую совместное действие некоторых метеорологических факторов.

В качестве некоторого приближения к таким комплексным характеристикам могут служить температурные розы ветров, выражающие одновременно повторяемость, среднюю температуру и среднюю скорость ветра каждого направления.

Знание этой величины для каждого пункта строительства позволит оценить наиболее неблагоприятную в отношении совместного действия сильных и холодных ветров сторону ограждения, чтобы исключить отрицательное действие указанных факторов, установив на этой стене здания дополнительные нагревательные приборы, предусмотреть планировочные мероприятия, улучшающие ориентацию сооружений и размещение отдельных комнат внутри здания, или же улучшить теплозащитные свойства стен неблагоприятной ориентации.

Воздействие наружного климата на ограждающие конструкции здания целесообразно характеризовать градиентом метеорологической величины [2, 3], который учитывает направление, величину и повторяемость показателей наружного климата. Статистическая обработка наружного климата как совокупности зависимых (или независимых) случайных величин показывает, что в каждой местности для отдельных характерных периодов времени имеет место свой метеорологический градиент, оказывающий направленное воздействие на формирование теплового баланса ориентированных помещений, так что в результате совокупного действия ветра, солнечной радиации и температуры различно ориентированные помещения имеют соответственно отличающиеся теплотери или тепlopоступления [4].

Влияние наружного климата на тепловой режим здания и затраты энергии на отопление и охлаждение помещения заключается в комплексном воздействии отдельных метеорологических показателей: температуры, влажности, скорости и направления движения наружного воздуха, прямой и рассеянной радиации. Основным требованием, предъявляемым к математической модели показателей наружного климата, является учет их совместного сочетания. Возможны три подхода к построению математической модели совокупности показателей наружного климата: детерминированный, вероятностный и детерминированно-вероятностный.

Детерминированный подход основан на использовании реального сочетания совокупности показателей наружного климата каждого географического пункта за многолетний период. Сущность этого подхода заключается в следующем. В архивах метеостанции собраны за много лет ежечасные и срочные показатели климата для данного географического пункта. С целью использования в теплотехнических расчетах данные за весь период наблюдения систематизируют в табличную форму. После этого массивы чисел из таблицы заносят во внешнюю память компьютера. При расчетах теплового режима здания значения показателей наружного климата вызываются из внешней памяти компьютера в оперативное устройство, выполняющее расчет. При этом могут быть вызваны значения показателей наружного климата всего периода или его отдельных частей (например, холодный период - январь, теплый период - июль и т.д.). Рассмотренная модель представляется наиболее адекватной моделью климата для данного географического пункта. Использование такой модели позволяет построить гистограмму распределения частот выходного показателя (нагрузки на систему регулирования теплового режима, температуры помещения, температуры внутреннего воздуха и т.д.). Для построения гистограммы на оси ординат наносят расчетные интервалы времени (шаги по времени), а на оси абсцисс – возможные (ожидаемые) значения выходного показателя. Учитывая, что современные компьютеры снабжены графопостроителями, процесс построения гистограммы целесообразно автоматизировать. Анализ распределения частот появления выходного показателя позволяет визуально, а при необходимости и численно оценить его обеспеченность.

При вероятностном подходе к построению математической модели совокупности показателей наружного климата изменение этих показателей является случайным процессом, причем нестационарным и многомерным. Показатели климата проявляют взаимные корреляции, как положительные, так и отрицательные. Так, например, климатической особенностью юга Дальнего Востока в зимнее время сочетание низких температур наружного воздуха с высокими скоростями ветра; в других - низким температурам соответствуют малые скорости ветра. Некоторые метеостанции регистрируют показатели, которые свидетельствуют об отсутствии корреляции похолодания со скоростью ветра. Нестационарность случайного процесса изменения показателей наружного климата иллюстрируется выраженными периодическими составляющими амплитуд, которые, однако, того же порядка, что и чисто случайные составляющие. Если же выделить чисто случайный процесс и рассматривать его изменения во времени, то видно, что

спектр его очень широк, и наряду с очень медленными составляющими (один год в среднем может очень сильно отличаться от другого) видны и быстрые гармоники с периодом в несколько часов. В свете отмеченных выше трудностей нельзя ожидать единого для всех местностей и конкретных задач универсального подхода к построению вероятностной математической модели совокупности показателей наружного климата. В то же время Ю.А. Табунщиков и М.М. Бродач [5] рекомендуют следующие подходы к решению задачи. По экспериментальным данным можно построить как одномерные функции распределения показателей наружного климата, так и двухмерные: температура - скорость ветра, температура - солнечная радиация, температура - относительная влажность, энтальпия наружного воздуха - солнечная радиация.

Распределение повторяемостей двухмерного комплекса можно представить в виде поверхности, определяемой рядом статистических характеристик. Так, поверхность, подчиняющаяся закону нормального распределения, полностью описывается пятью статистическими параметрами: двумя средними, двумя среднеквадратичными отклонениями и коэффициентом корреляции.

Рассмотрение более сложных фазовых областей (трехмерных и более) нецелесообразно, так как потребует большего экспериментального материала, чем накопленный на метеостанциях. Наличие неслучайных составляющих приводит к тому, что приходится все эти распределения строить для конкретного набора времен: скажем, четыре раза в сутки для всех дней данного месяца. Затем выполняется интерполяция по времени между этими четырьмя замерами, причем интерполируется не сам показатель (например, температура), а параметры распределения: среднее и дисперсия. Для двухмерных распределений выполняется интерполяция двух средних, двух дисперсий и коэффициента корреляции. В результате получаем функцию распределения для произвольного момента времени, не ограничиваясь только штатными сроками замеров на метеостанции. Трудность в этом методе возникает при необходимости интерполирования распределения величин, не меняющихся по гармонике. Например, солнечная радиация ночью равна нулю, и ход изменения ее во времени в дневное время может быть очень сложным при переменной облачности. Одним из недостатков метода является то, что он не учитывает динамику процесса, не рассматривает инерцию климатических явлений. Например, в распределение температуры в 19 часов в июне войдут все измерения за июнь текущего года и ряда предыдущих лет. Между тем, погодные условия на юге Дальнего Востока в июне может сильно отличаться в разные годы. Разница между днями этого года может быть несравнимой с разницей, определяемой для разных лет. Однако, исходя из практических потребностей расчетов теплового режима помещений, можно считать, что изложенный метод моделирования распределений обеспечивает инженерную точность результатов расчета.

#### **Список используемой литературы:**

1. Цвид А.А. Комплексный учет климата в строительстве на Дальнем Востоке: дис. ... докт. геогр. наук. Благовещенск. – 1967. – 232 с.
2. Дашко Н.А. Курс лекций по синоптической метеорологии. – Владивосток: ДВГУ, – 2005.
3. Воробьев В.И. Синоптическая метеорология.- СПб.: Гидрометеиздат, – 1994.
4. Кондратьев К.Я., Пивоварова З.И., Федорова М.П. Радиационный режим наклонных поверхностей. – Л.: Гидрометеиздат, – 1978. – 170 с.
5. Табунщиков Ю.А., Бродач М.М. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий. М.: АВОК-ПРЕСС, – 2002. – 194 с : ил.

УДК 678.762.2

#### **Использование отходов стирольного производства при получении бутадиенового каучука**

*О.Н. Филимонова, Т.В. Маслакова, С.С. Никулин*

*Воронежский государственный университет инженерных технологий, г. Воронеж, Россия*

*E-mail: olga270757@rambler.ru*

Показана возможность синтеза низкомолекулярного полимерного продукта из отходов стирольного производства и использование его при получении бутадиенового каучука. Установлено, что содержание полимерного продукта в бутадиене целесообразно выдерживать 3,0-5,0 мас.%. Сделан вывод о том, что полимерный продукт на основе КОРС, КОРЭ и МА улучшает свойства получаемых на его основе вулканизатов, чем масло ПН-6 и позволяет повысить устойчивость их к термоокислительному воздействию.

Производство стирола неизбежно сопровождается образованием и накоплением значительного количества отходов (на 1 т товарного стирола приходится около 20-25 кг побочных

продуктов), основными из которых являются кубовые остатки, образующиеся при выделении и очистке целевого продукта. В составы кубовых остатков ректификации стирола (КОРС) и кубовых остатков ректификации этилбензола (КОРЭ) входит большое количество разнообразных органических соединений, в том числе и стирол, полное извлечение которого по существующей в промышленности технологии не представляется возможным. Его состав также в значительной степени определяется способом получения стирола, применяемыми ингибиторами, технологическими особенностями процесса. В зависимости от условий фракционирования печного масла содержание стирола в КОРС может изменяться от 10 до 50 %, а полистирола – от 15 до 70 %. Сложность поиска наиболее эффективного использования КОРС и КОРЭ заключается в том, что качественный и количественный состав продукта колеблется в значительных пределах. Несмотря на это поисковые исследования по их переработке и использованию продолжаются. В центральной печати опубликован ряд работ по их переработке и использованию. Доминирующая часть предлагаемых методов переработки КОРС направлена на получение на их основе полимерных материалов. Именно это направление и было использовано в промышленных масштабах. Полимерные материалы на их основе широко применялись в производстве лакокрасочных материалов [1]. В ряде работ [2, 3] была показана перспективность применения полимерных материалов на основе КОРС и КОРЭ в качестве пропиточных составов для древесных материалов, в дорожном строительстве и др.

Однако и до настоящего времени продолжают поисковые исследования по переработке и использованию КОРС и КОРЭ, которые имеют важное научное и прикладное значение, так как позволяют снизить потери ценного углеводородного сырья, получить продукты, обладающие комплексом новых свойств и улучшить экологическую обстановку.

Цель исследования – получение низкомолекулярного полимерного продукта из КОРС и КОРЭ с последующим рассмотрением возможности его применения в производстве полибутадиенового каучука.

Введение низкомолекулярного полимерного материала полученного из КОРС и КОРЭ в полибутадиеновый каучук можно осуществить следующими способами:

- непосредственное смешение раствора полибутадиена с раствором низкомолекулярного полимерного материала на основе КОРС и КОРЭ;
- растворение в полученном низкомолекулярном полимерном материале антиоксидантов, перед подачей на смешение с раствором полибутадиена;
- растворение в низкомолекулярном полимерном материале антиоксидантов с последующим эмульгированием полученной полимерноантиоксидантной смеси в водной фазе, содержащей поверхностно-активные вещества (ПАВ) и последующим смешением с раствором полибутадиена.

Два последних варианта являются предпочтительными. Это связано с тем, что дополнительное введение в получаемый полибутадиен полимерного материала на основе КОРС позволит более полно и рационально использовать дорогостоящее сырье. Введение в углеводородный раствор полибутадиена эмульгированного раствора низкомолекулярного полимерного материала и антиоксиданта позволит исключить применение подщелоченной воды, подаваемой для дезактивации катализатора Циглера-Натта.

Выделение каучука из раствора осуществляли методом водной дегазации. Обезвоживание проводили в сушильном шкафу при температуре 80-85 °С. В дальнейшем из полученного полибутадиена готовили резиновые смеси, которые подвергали вулканизации.

В данной работе проведено исследование по синтезу полимеров на основе КОРС и КОРЭ с дополнительным введением малеинового ангидрида (МА) в количестве от 5 до 10 мас.% на 100 мас.% отхода. Синтез проводили следующим образом. В реактор, снабженный перемешивающим устройством, загружали расчетное количество КОРС, КОРЭ и МА. Реактор герметично закрывали, реакционную массу нагревали до  $(150 \pm 2)$  °С и выдерживали в течение заданного времени при постоянном перемешивании. Процесс контролировали периодическим отбором проб из реактора с последующим отгоном из них непрореагировавших продуктов.

Математическая обработка экспериментальных результатов с использованием компьютерных программ позволила получить уравнения, описывающие влияние продолжительности процесса сополимеризации на выход полимерного материала на основе КОРС, КОРЭ и МА ( $Y$ , %) при разном их содержании. Для процесса проводимого при 150 °С при изменении соотношения КОРС и КОРЭ (1:2; 1:1; 2:1), а также содержания МА 5, 7, 10 мас.% уравнения соответственно имели следующий вид:

$$Y_5 = 3,34 + 0,675x - 6,39 \cdot 10^{-3}x^2,$$

$$Y_7 = 4,53 + 0,737x - 7,18 \cdot 10^{-3}x^2,$$

$$Y_{10} = 3,69 + 1,02x - 1,11 \cdot 10^{-2}x^2.$$

В ряде опубликованных работ [4, 5] была показана возможность применения низкомолекулярных сополимеров из отходов и побочных продуктов нефтехимии в составах резиновых смесей. Так, добавка в бутадиеновый каучук, имеющий низкую пластичность полимерных материалов из побочных продуктов нефтехимии позволяет снизить вязкость и повысить пластичность каучука. По своему действию они приближаются к маслу ПН-6.

Важным аспектом при этом является способ ввода в каучук полученного полимерного материала и оценка его влияния на свойства получаемого каучука и вулканизатов. Ввод в каучук низкомолекулярных полимерных продуктов на основе отходов и побочных продуктов нефтехимии на вальцах в процессе приготовления резиновых смесей не обеспечивает хорошего равномерного распределения его в объеме каучуковой матрицы. Наиболее перспективным способом ввода синтезированных продуктов является использование их в виде толуольного раствора для приготовления раствора антиоксиданта, с последующим вводом в раствор полибутадиена перед подачей на дегазацию. Ещё более совершенным направлением является предварительное эмульгирование полученного толуольного раствора полимера и антиоксиданта, перед подачей его на смешение с раствором полибутадиена. Однако для получения эмульсии требуется применение водной фазы, содержащей щелочь, которая взаимодействуя с ангидридными группами, дает соответствующие соли, что и обеспечивает получение стабильной эмульсии.

Молекулярная масса синтезированного полимерного продукта на основе КОРС, КОРЭ и МА, определенная вискозиметрическим методом, находилась в пределах от 1200 до 2500.

В дальнейшем, в полученный полимерный материал на основе КОРС и КОРЭ вводили дополнительно углеводородный растворитель — толуол, с целью снижения вязкости и получения раствора с концентрацией 40-60 мас.% с антиоксидантом (агидол-2), применяемым в производстве полибутадиена. Полибутадиен, с введенным в него полимерным материалом и антиоксидантом, эмульгированном в водном растворе, содержащим ~2,0 мас.% гидроксида натрия или калия, выделяли из раствора методом водной дегазации и сушили в сушильном шкафу при температуре 80-85 °С. На основе полученных образцов полибутадиенового каучука приготовлены резиновые смеси по стандартной рецептуре, которые были подвергнуты вулканизации. Испытания полученного каучука и вулканизатов проводились по общепринятым методикам, результаты представлены в таблице.

Таблица. Свойства полибутадиенового каучука и вулканизатов.

Наименование показателя	Содержание полимерного продукта в бутадиене, мас.%				Масло ПН-6, мас.%	Контроль
	0,5	1,5	3,0	5,0		
Вязкость по Муни	45	43,5	42,5	40	39	48
Потеря массы при сушке, мас.%	0,11	0,11	0,13	0,14	0,13	0,13
Массовая доля золы, %	0,14	0,15	0,16	0,17	0,16	0,18
Массовая доля антиоксиданта (агидол-2), %	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Условное напряжение при 300 % удлинении, МПа	8,6	8,5	7,9	7,7	7,1	8,9
Условная прочность при растяжении, МПа	19,7	19,3	18,8	18,1	17,7	19,353
Относительное удлинение при разрыве, %	600	695	680	550	610	570
Относительная остаточная деформация после разрыва, %	10	9	9	8	14	10
Коэффициент старения:	0,44	0,49	0,52	0,50	0,37	0,47
- по относительному удлинению	0,55	0,57	0,61	0,58	0,45	0,56

Примечание: температура вулканизации – 143 °С; продолжительность вулканизации – 40 минут.

Анализ полученных результатов показывает, что дополнительное введение в полибутадиен полимерного продукта на основе КОРС, КОРЭ и МА приводит к небольшому снижению прочностных показателей вулканизатов. Особенно это заметно при повышенном содержании

полимерного материала в полибутадиене. Оценка влияния масла ПН-6 на свойства полибутадиена в сравнении с синтезированным полимерным продуктом показывает на преимущества данного продукта перед маслом ПН-6, выражающееся в меньшем влиянии на снижение прочностных показателей вулканизатов. Это может быть объяснено усилением полимерной матрицы стирольными фрагментами. Так как известно, что стиролсодержащие сополимеры обладают более высокими показателями, чем полидиены [6].

Необходимо отметить также, что введение антиоксиданта совместно с полимерным материалом обеспечивает его меньшие потери в процессе дегазации (выделения каучука из раствора), заключающимся в отгонке незаполимеризовавшихся мономеров и растворителя из полимеризата. Это может быть связано с тем, что фенольный или аминный антиоксидант может образовывать химические и водородные связи с молекулами низкомолекулярного полимерного продукта на основе КОРС, КОРЭ и МА в процессе приготовления раствора.

В результате данного взаимодействия антиоксиданта с функциональными группами макромолекул КОРС, КОРЭ и МА происходит уменьшение его потерь на стадии дегазации. Это в свою очередь должно положительно отразиться на свойствах каучука и вулканизатов на его основе. Кроме того, можно предположить, что происходит образование «депо» антиоксидантов, что способствует его более рациональному использованию, снижению потерь и увеличению защитных свойств изделия. Возможность образования «депо» антиоксидантов была показана в работе [7].

#### Выводы

- Углеводородный раствор синтезированного полимерного продукта на основе КОРС, КОРЭ и МА может быть использован в производстве полибутадиена для приготовления раствора антиоксиданта.
- Введение МА при синтезе до 7 мас.%, дозировку полимерного продукта в полибутадиен целесообразно выдерживать 3,0-5,0 мас.%
- Полимерный продукт на основе КОРС, КОРЭ и МА вводимый в полибутадиен улучшает свойства вулканизатов по сравнению с маслом ПН-6.
- Введение антиоксиданта совместно с полимерным продуктом на основе КОРС, КОРЭ и МА позволяет повысить устойчивость вулканизатов к термоокислительному воздействию.

#### Список используемой литературы:

1. Филимонова О.Н. Переработка и применение кубовых остатков ректификации стирола. – М.: Академия Естествознания, – 2009. – 76 с.
2. Никулин С.С., Шеин В.С., Злотский С.С. и др. Отходы и побочные продукты нефтехимических производств – сырье для органического синтеза. – М.: Химия, – 1989. – 240 с.
3. Петьихин Ю.М., Концова Л.В. Отходы нефтехимических производств – сырьё для синтетических продуктов. – М.: ЦНИИТЭнефтехим. – 1991. – 72 с.
4. Никулин С.С., Хохлов К.А., Хохлова О.А., Сахокия И.А., Маликов Б.Ф. Сополимеризация непредельных соединений, содержащихся в кубовом остатке ректификации возвратного растворителя, со стиролом // Производство и использование эластомеров. – 2003. – № 5. – С. 16-18.
5. Филимонова О.Н., Никулин С.С., Седых В.А., Хохлова О.А. Модификация эмульсионного каучука на стадии латекса // Каучук и резина. – 2003. – № 3. – С. 13-16.
6. Кроть В.А., Ривин Э.М., Щербань Г.Т. Свойства и применение диеновых олигомеров. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, – 1984. – 41 с.
7. Легоцки П., Кавун С.М. Антиозонаты с продленным действием. Пути к достижению цели / VI Российская научно-практическая конференция «Сырье и материалы для резиновой промышленности. От материалов - к изделиям» // Тез. докл. Москва 17-21 мая 1999. – С. 141-143.

УДК 87.03.07, 87.35.91

**Самоорганизация как вариант существования природно-сельскохозяйственной геосистемы.**

**Т.Ш. Фузелла**

*Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск, Россия*

**E-mail: [fts10@yandex.ru](mailto:fts10@yandex.ru)**

Самоорганизация понимается как совокупность структуры и процессов, в ходе которых создаётся, воспроизводится, совершенствуется организация сложной динамической системы, что

происходит за счёт притока внешней энергии. Данный процесс является имманентным свойством сложной системы, стремящейся к состоянию динамического равновесия, которое “почти” достигается. Здесь подразумевается некоторая несбалансированность прихода-расхода потоков энергии (и вещества), т.е. наличия такого “сальдо”, которое и служит материалом саморазвития системы. Отчуждение системой вещества и энергии приводит к их дальнейшей концентрации, поляризации, т.е. к увеличению свободной энергии, которая и тратится на самосовершенствование и укрепление организации, своего рода “возвышение” над средой. Сами системы такого рода “живут” (в системном смысле) за счёт использования отторгнутой энергии внешней среды для собственных нужд. Мы предпочитаем называть это явление самоорганизацией, а системы, которые обладают таким свойством, - самоорганизующимися. Самоорганизация – это свойство и агроэкосистемы.

Следуя общему определению, агроэкосистема - это природно-сельскохозяйственная геосистема региональной размерности, в структуре которой главную роль играют обрабатываемые земли, сочетающиеся с пастбищными и сенокосными угодьями, элементами экологического каркаса и социально-экономической инфраструктуры.

Подходя с позиций самоорганизации, *агроэкосистемами* мы называем такие социальные эколого-экономические образования, которые, формируясь на основе взаимной целесообразности структуры, достигают наивысшей в данных условиях производительности и устойчивости.

Такие системы относятся к числу самоорганизующихся, потому что они формируются, “самопричинно”, или самопроизвольно, без заранее поставленной и просчитанной цели. Цель их развития является аттрактивной в том отношении, что, появляясь, они влекут процесс к себе, поскольку представляют собой наиболее эффективную силу производства продукции.

Целенаправленное конструирование природных систем технически решить возможно. Но для этого необходимо знать законы организации и функционирования экосистем, механизмы, обеспечивающие их устойчивость, реакцию на различные виды возделывания, допустимые уровни воздействия.

В давно обжитых районах надо изменить не только наше поведение, технологии, но и сами экосистемы, хотя бы потому, что они здесь нарушены и угнетены. Рекультивация - это тоже конструирование агроэкосистем. Проще и полезнее исключить выброс вредных веществ в экосистему, чем затрачивать средства и энергию на очистку, предотвращение последствий. Существует необходимость в создании агроценозов, приспособленных к условиям периодического длительного обводнения, так как среди саморегулируемых систем рекордными по продуктивности и социальной значимости являются заливные луга и экосистемы приливных маршей.

Идею ландшафтного конструирования первоначально требуется проверить на небольшой натурной модели, например на участке площадью в несколько гектаров. Участок должен включать разнообразные урочища. Необходимо добиться устойчивого воспроизводства культур, довести их продуктивность до максимально возможной. Если будет перерабатываться значительная часть годового прироста растительности, возрастёт продуктивность территории, а контуры продуктивных сообществ будут расширяться, то эксперимент по “раскручиванию” биокруговорота можно считать удавшимся. Здесь не требуется рисковать большими деньгами и территориями, всё можно проверить на малой модели. Исследования необходимо проводить с позиций системного подхода, когда конкретная хозяйственная деятельность в конкретных природных условиях рассматривается как единая природно-хозяйственная система (ПХС). Природно-хозяйственная система - это открытая сложная система, состоящая из двух блоков: природного и хозяйственного.

Основу, структуру и пространственные масштабы природно-хозяйственной системы определяют природные условия территории, на которой она формируется. Производственный блок - наиболее активная часть системы, включает все виды хозяйственного возделывания и позволяет управлять развитием и перестройкой всей системы в целом. Целостность ПХС определяется единством выполняемых социальных и экономических функций, а время их существования - продолжительностью природопользования. Для ПХС характерно появление новых устойчивых элементов в природной составляющей, а также формирование разных типов природно-антропогенного круговорота веществ и потоков энергии на основе использования человеком природного потенциала ландшафта. Современные ПХС, в отличие от составляющих их коренных элементов экосистемы, характеризуются более сложным функционированием и своеобразным сочетанием самоорганизации природных процессов и самоорганизации, обусловленной управлением.

Тесная корреляция ПХС с местной ландшафтной структурой наблюдается на локальном уровне и связана с исторически выработанной адаптивностью хозяйственной деятельности. Территориальная организация, типы производства в сельском и лесном хозяйстве, размещение и характер поселения во многом обусловлены исходной ландшафтной дифференциацией. Наиболее трудной задачей в изучении и конструировании ПХС, тем более существовавших в давнем историческом прошлом, является установление их границ. Принимая за основу границы территории, в которых велась та или иная хозяйственная деятельность, необходимо учитывать степень и антропогенной изменчивости.

В наше время всё больший вес приобретают идеи адаптивно-ландшафтного земледелия, ориентированные на максимальную мобилизацию естественного потенциала возделываемых земель при разумном сокращении антропогенного воздействия. Главным правилом оптимизации функционирующих сельскохозяйственных земель должно быть неукоснительное сбережение и поддержание в хорошем состоянии естественных элементов экологического каркаса. Природная основа экосистемы должна рассматриваться как безусловный базис устойчивого природопользования. Природные геосистемные образования обладают той подвижно-равновесной, способной к самовосстановлению структурой, в которую должны “встраиваться” и “вписываться” хозяйственные структуры. Непонимание или игнорирование столь важного принципа современного природопользования - главная причина всех локальных, региональных и глобальных экологических проблем нашего времени. Достичь оптимального положения можно сочетанием адаптивного и конструктивного подходов при проектировании хозяйственных начинаний. Адаптивное земледелие заключается в сближении структуры и функционирования агроэкосистемы с естественными системами, в имитации на сельскохозяйственных землях природных режимов и механизмов саморегуляции.

Вариант решения проблемы целенаправленного крупномасштабного конструирования природно-хозяйственных систем должен включать следующие этапы:

- 1) картографирование исследуемой территории и выявление современной ландшафтной структуры;
- 2) установление главных черт динамики и функционирования природно-территориальных комплексов, их ресурсного потенциала, составление агропроизводственных характеристик и т.д.;
- 3) определение современных антропогенных нагрузок и современного состояния ландшафтов;
- 4) определение ресурсного потенциала ландшафтов и их морфологических частей;
- 5) изучение истории заселения и освоения ландшафтов на основе исторических и архивных материалов;
- 6) поиск вариантов конструирования экосистемы на принципах самоорганизации и разработка моделей их функционирования на принципах саморегуляции.

Однако решение данных проблем не будет успешным, если не будет введено научно обоснованное, целенаправленное управление процессом, не будет отработан соответствующий управляющий орган. Тем более, когда совокупность агроэкосистем по занимаемой территории и производимой продукции, по социальной и жизненной значимости играет определяющую роль. Целесообразность природных процессов должна соединиться с целесообразностью процессов управления – действий власти на различных иерархических уровнях. Управляющие органы тогда соответствуют целям, когда они формируются на основе требований технологического процесса.

Работа выполнена в рамках проекта VII. 63.1.3. фундаментальных исследований ИМСЭС СО РАН

### **Математическое моделирование распространения верховых лесных пожаров с учетом преград**

*Е.С. Хапова, Е.А. Халдина*

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

*E-mail: [ekaterinakhapova@mail.ru](mailto:ekaterinakhapova@mail.ru)*

Лес – часть поверхности Земного шара, покрытая древесными растениями. Жизненная среда для многих птиц и зверей, источник древесины, ягод, грибов и технического сырья. Имея важное климаторегулирующее, почво- и водозащитное значение, лесной покров Земли является одним из факторов устойчивости биосферы и требует постоянной заботы о его сохранении и возобновлении.

Леса покрывают в России 1254 млн. га. Это составляет 22.5 % от площади лесов во всем мире. Наша страна является крупнейшим производителем деловой древесины. Кроме того, леса являются источником различных видов сырья для промышленности. С экологической точки зрения они играют важную роль в очищении атмосферного воздуха и обогащении его кислородом. В результате лесных пожаров ежегодно в Российской Федерации гибнет около 1 млн. га леса. Возникновение и распространение лесных пожаров зависят от различных условий (климатических: скорости ветра, температуры окружающей среды, состояния атмосферы и т.д.) рельефа местности и других факторов. Наиболее опасным видом пожаров являются верховые. На их долю приходится до 70% выгоревшей площади. 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. Поэтому изучение данного явления с помощью метода математического моделирования помогает разработать профилактические меры по предотвращению и определению возможности возникновения лесных пожаров. Как показали исследования, метод математического моделирования позволяет адекватно описывать состояние лесного биогеоценоза и приземного слоя атмосферы при лесных пожарах.

Лесной пожар — это стихийное, неуправляемое распространение огня по лесным площадям. В результате лесных пожаров ежегодно в Российской Федерации гибнет около 1 млн. га леса. Возникновение и распространение лесных пожаров зависят от различных условий (климатических: скорости ветра, температуры окружающей среды, состояния атмосферы и т.д.) рельефа местности и других факторов. Наиболее опасным видом пожаров являются верховые. На их долю приходится до 70% выгоревшей площади. Для устойчивого развития любой страны необходимо принятие мер по сокращению ущерба, причиняемого чрезвычайными ситуациями, в частности лесными пожарами. Эти меры должны опираться на теорию анализа и управления риском. Согласно статистике, приведенной в государственных докладах Министерства по чрезвычайным ситуациям Российской Федерации за 2003-2005 годы, природные пожары составили значительную часть всех чрезвычайных ситуаций природного характера.

В данной работе приводятся результаты расчетов возникновения и распространения верхового лесного пожара по осредненной по высоте полого леса двухмерной постановке, полученной на основе общей математической модели пожаров. Этот метод основывался 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 использовался метод контрольного объема.

Ежегодно проводится комплекс контролируемых и совершенствующихся мероприятий, в том числе и профилактических, направленных на предупреждение, снижение пожарной опасности, своевременное обнаружение и ликвидацию лесных пожаров.

К таким мероприятиям можно отнести создание специально разрубленной в лесу просеки шириной до 20 м, очищенной от горючих материалов, с минерализованной полосой или дорогой с целью организации препятствий на пути распространения лесных пожаров и создающий условия для их тушения. Это так называемый противопожарный разрыв, который предназначен для остановки распространения верховых и сильных низовых лесных пожаров.

В ходе нашей работы исследуется такой параметр лесного массива, как противопожарные разрывы различного рода (просеки, дороги, поляны и т.д.). Были проведены численные расчеты для определения значений ширины разрыва, при котором пожар переходит его либо не преодолевает данный разрыв. Так же экспериментально получено минимальное расстояние разрыва, при котором фронт пожара останавливается и уже не распространяется на дальнейшие участки.

В результате численного интегрирования получены поля массовых концентраций компонент газовой фазы, температур, объемных долей компонент твердой фазы.

На рисунках 2-4 представлены перечисленные выше характеристики, равномерно распределенные по всей области.

1) Разрыва нет.

Изотермы газовой фазы и изолинии концентраций кислорода и продуктов пиролиза равномерно распределены по всей области. Фронт движется по направлению ветра (ось X1) и расширяется в перпендикулярном направлении ветру по оси X2.



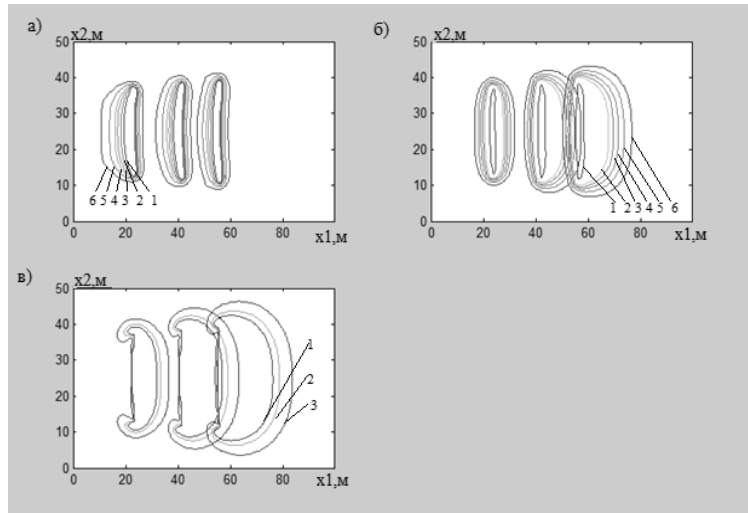


Рис.2. Распределения изолиний при отсутствии разрыва.

а) Изотермы газовой фазы  $\bar{T}$  ( $\bar{T} = T/T_e, T_e = 300K$ ): 1 – 4; 2 – 3,5; 3 – 3; 4 – 2,6; 5 – 2,0; 6 – 1,5.

б) Изолинии концентрации кислорода ( $\bar{c}_1 = c_1/c_{1e}, c_{1e} = 0.23$ ): 1 – 0,1; 2 – 0,5; 3 – 0,6; 4 – 0,7; 5 – 0,8; 6 – 0,9.

в) Изолинии концентрации продуктов пиролиза  $\bar{c}_2$  ( $\bar{c}_2 = c_2/c_{1e}, c_{1e} = 0.23$ ): 1 – 0, 1; 2 – 0,05; 3 – 0,01.

2) Пожар преодолевает разрыв.

Фронт пожара по оси X2 в окрестности разрыва остается неизменным, а далее, преодолев разрыв, расширяется в перпендикулярном направлении (по оси X2).

3) Пожар не преодолевает разрыв.

Изотермы газовой фазы и изолинии концентраций кислорода и продуктов пиролиза равномерно распределены только до разрыва.

На рисунке 5 показаны результаты расчетов при распространении по всей поляне со скоростью ветра 5 м/с. Скорость ветра совпадает с направлением оси X1. Изначально источник пожара имеет форму прямоугольника. Изотермы деформируются под действием ветра и контур лесного пожара имеет форму полумесяца (рис.5а, кривые I). Когда пожар (изотермы II на рис.5а) движется вокруг лесной поляны, он делится на две части. Но после этого два фронта пожара объединяются в единый огонь (изотермы III на рис.5а).

На рисунках 5б и 5с представлено распределение концентраций кислорода и горючих летучих продуктов пиролиза в этом случае.

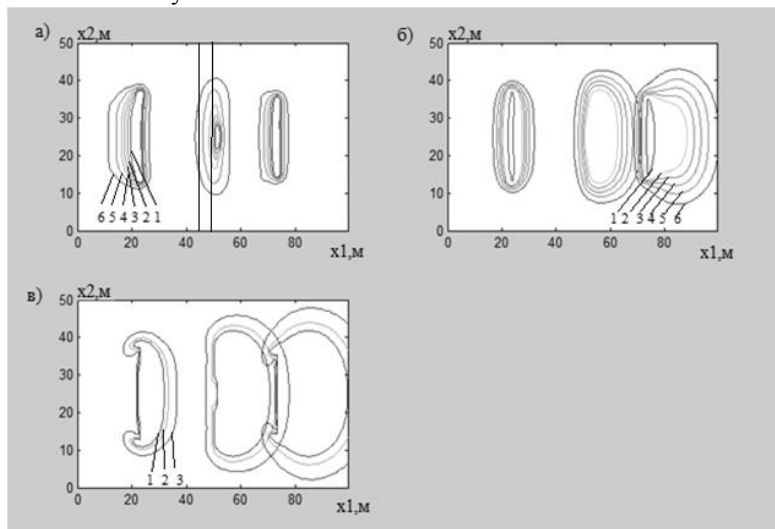


Рис.3. Распределения изолиний для случая преодоления разрыва фронтом пожара.

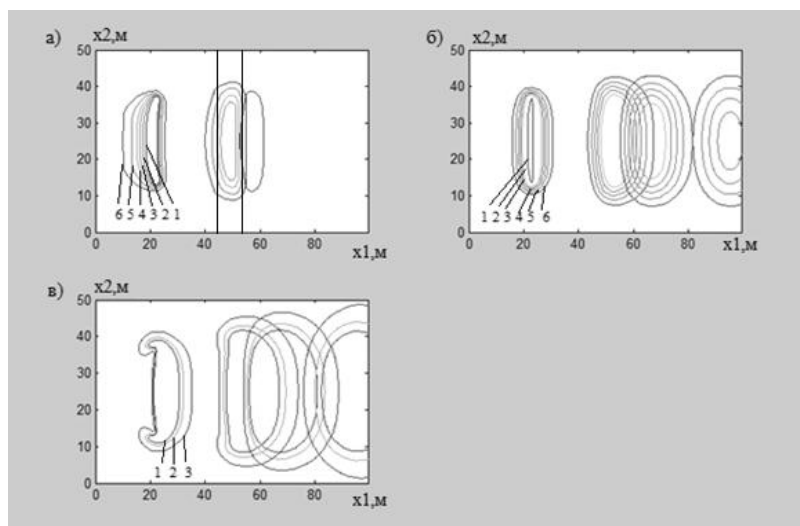


Рис.4. Распределения изолиний в случае затухания пожара.

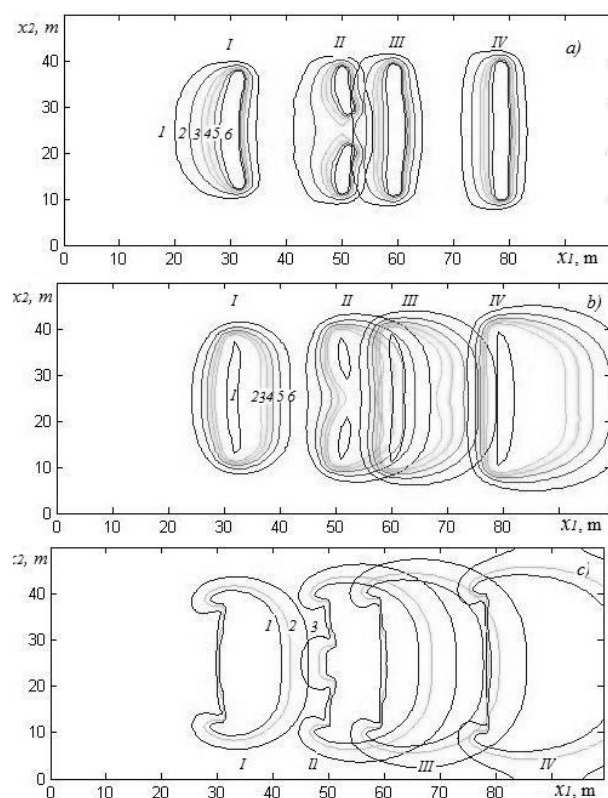


Рис.5. Распределение изотерм газовой фазы (а), изолиний кислорода (б) и летучих продуктов пиролиза (с).

Предложенная в работе методика может быть использована для оценки размеров противопожарных разрывов в зависимости от характеристик лесных массивов и типичных метеоусловий, реализуемых в данной местности.

#### Список используемой литературы.

1. Гришин А.М. Математические модели лесных пожаров и новые способы борьбы с ними. – Новосибирск: Наука, – 1997. – 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. Perminov V. Numerical Solution of Reynolds equations for Forest Fire Spread // Lecture Notes in Computer Science. – 2002. – V.2329. – P. 823 – 832.

4. Патанкар С.В. Численные метода решения задач теплообмена и динамики жидкости. – М.: Энергоатомиздат, – 1984. – 152 с.
5. Stone H.L. Iterative solution of implicit approximations of multidimensional partial differential equations // SIAM Journal of Numerical Analysis. – 1968. – № 5. – P. 530 – 558.

УДК 662.986:662.613

### Современные методы решения экологических проблем ТЭС

***Е.Н. Манчин, С.В. Голдаев***

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

***E-mail: manchynsport1990@mail.ru***

Интенсивное использование ископаемого органического топлива в XX веке привело к загрязнению окружающей среды оксидами серы ( $\text{SO}_2$ ) и азота ( $\text{NO}_x$ ), а также твердыми зольными частицами, в состав которых входят соединения тяжелых металлов и конденсированные ароматические органические системы, обладающие канцерогенными свойствами.

Во всех промышленно развитых странах, в том числе в России, установлены низкие значения предельно допустимых концентраций (ПДК) летучей золы, оксидов серы и азота в воздухе, причем их нижние пределы периодически пересматриваются в сторону уменьшения.

Примерно третья часть всех вредных выбросов приходится на долю тепловых электростанций [1]. В большинстве стран мира приняты законодательные меры, призванные ограничить выброс вредных веществ в атмосферу электростанциями. С 1 января 2000 г. на территории России в соответствии с решениями Европейской комиссии вдвое снижены допустимые пределы по выбросам (ПДВ) летучей золы, оксидов серы и азота для установок тепловых электростанций мощностью более 50 МВт. Новые нормативы действовали до конца 2005 г. В дальнейшем планируется их ужесточение и приведение в соответствие со стандартами промышленно развитых стран.

Для снижения выбросов вредных веществ до нормативных значений на тепловых электростанциях применяются специальные мероприятия, включающие способы сокращения образования вредных веществ в процессе сжигания топлива и меры по очистке газов от уже образовавшихся продуктов сгорания. К таким мероприятиям относятся: использование экологически чистого топлива, совершенствование технологии сжигания топлива, газоочистка, золоулавливание, сероочистка и азотоочистка. В данном докладе будет более подробно рассмотрена азотоочистка дымовых газов.

С середины 80-х – начала 90-х годов прошлого века на ТЭС проводят очистку дымовых газов от оксидов азота (денитрификацию). Сегодня на ТЭС эксплуатируется свыше 500 азотоочистных установок, причем их используют, как правило, в сочетании с первичными методами подавления образования  $\text{NO}_x$  в процессе горения топлива. Наиболее широко азотоочистные системы применяют на электростанциях в Японии, Германии, Австрии, Дании, Швейцарии, Швеции, Нидерландах и США. Азотоочистные установки используют как на котельных агрегатах, сжигающих угольное и мазутное топливо, так и на газовых турбинах, расположенных в основном в крупных городах.

В предстоящие годы предполагается дальнейшее активное внедрение технологий денитрификации дымовых газов на ТЭС. Так, США планируют в ближайшие 10 лет ввести в эксплуатацию 2003 установки по азотоочистке. Существуют несколько инвестиционных проектов по установке денитрификационных систем на электростанциях России. Например, Мосэнерго планирует внедрить технологии азотоочистки на энергоблоках ТЭЦ-21, -22, -23, а на пяти блоках ТЭЦ-27 денитрификационные установки уже действуют. Всего на территории России в настоящее время работает около 10 азотоочистных систем.

В настоящее время для очистки дымовых газов от оксидов азота на электростанциях применяются технологии преимущественно двух типов – селективное некаталитическое восстановление  $\text{NO}_x$  (СНКВ) и селективное каталитическое восстановление  $\text{NO}_x$  (СКВ) аммиаком или его производными. Кроме того, ожидается скорое появление на рынках Европы и США новой технологии – селективного автокаталитического восстановления  $\text{NO}_x$  аммиаком, недавно разработанной японской компанией Mitsui Babcock [4].

Перечисленные технологии основаны на реакциях восстановления оксидов азота аммиаком до молекулярного азота и воды. В последние годы вместо  $\text{NH}_3$  используют его производные – мочевину, аммонийные соли неорганических и органических кислот, которые превращаются в

$\text{NH}_3$ . При использовании методов СНКВ и автокаталитического восстановления  $\text{NO}_x$  процесс осуществляют в газовой фазе при температурах, превышающих  $800^\circ\text{C}$ , а в случае применения метода СКВ восстановление оксидов азота проводят на поверхности гетерогенных катализаторов при температурах в диапазоне  $200\text{--}500^\circ\text{C}$ .

В качестве катализаторов в СКВ-системах применяют оксид ванадия  $\text{V}_2\text{O}_5$ , нанесенный на диоксид титана или на  $\gamma$ -оксид алюминия [2]. Известны также модификации катализатора с добавками оксида вольфрама  $\text{WO}_3$  или оксида молибдена  $\text{MoO}_3$ . Выпускаются катализаторы в основном двух типов: пластинчатые, изготовленные из пластин листового металла, поверхность которых покрыта каталитической массой, и монолитные, в которых активные каталитические компоненты нанесены на керамическую или стекловолоконную подложку сотовой структуры. Гарантированный срок службы катализаторов СКВ от 2 до 5 лет. Фактически же средний срок службы достигает 7–10 лет. Производство СКВ-катализаторов сосредоточено в Японии, Германии, Австрии, Дании, США.

В табл. 1, заимствованной из работы [2], приведены технико-экономические показатели указанных выше технологий селективного восстановления оксидов азота аммиаком.

Таблица 1. Технико-экономические показатели технологий селективного восстановления оксидов азота аммиаком.

Технология	Капитальные затраты, дол. США, кВт	Эксплуатационные расходы, цент, (кВт·ч)	Степень снижения выбросов, $\text{NO}_x$ , %	Концентрация в отходящих газах	
				$\text{NO}_x$ , $\text{мг/м}^3$	$\text{NH}_3$ , $\text{млн}^{-1}$
СНКВ: с аммиаком	1,5–15	0,08–0,2	30–90	200–300	3–20
с аммиаком + современные топочные технологии	4,5–25	0,18–0,3	30–90	120–200	До 20
Селективное автокаталитическое восстановление аммиаком	20–30	–	–	Менее 120	–
СКВ: с аммиаком	40–100	0,3–0,7	85–95	50–100	0–5
с аммиаком + современные топочные технологии	43–110	0,4–0,8	До 99	15–30	0–5

Можно видеть, что наиболее глубокую степень очистки обеспечивают СКВ-системы (особенно в сочетании с применением современных топочных технологий), а наиболее дешевыми являются СНКВ установки. Технология же автокаталитического восстановления оксидов азота аммиаком по стоимости занимает промежуточное положение между СНКВ- и СКВ-методами, а по эффективности близка к СКВ-технологии.

Сегодня наиболее широко распространена азотоочистка методом СКВ. Эта технология хорошо отработана и позволяет с высокой надежностью обеспечивать очистку с эффективностью до 90–95 % независимо от начальной концентрации  $\text{NO}_x$ , типа используемого топлива и конструктивных особенностей котла при минимальном расходе аммиака (1 моль  $\text{NH}_3$  приводит к нейтрализации 1 моля  $\text{NO}_x$ ). По этой технологии на ТЭС общей мощностью более 100 ГВт эксплуатируется свыше 300 установок в Японии, Германии, Австрии, Дании, США, Канаде, Швеции, Финляндии и других странах. В России (на ТЭЦ-27 Мосэнерго) построено пять первых СКВ-установок и запланировано сооружение еще нескольких на других ТЭЦ Москвы. Продолжается строительство подобных установок в США, Японии, странах Европейского союза. В ближайшие годы только на электростанциях США предполагается разместить 130 СКВ-установок.

В отличие от технологии СКВ, которая может быть использована практически на любой ТЭС, системы СНКВ применяют для очистки дымовых газов на котлах в основном малой и средней мощности. В последнее время для азотоочистки методом СНКВ открылись новые

перспективы в связи с появлением новых технологий сжигания топлива в котлах с циркулирующим кипящим слоем (ЦКС). При установке СНКВ-системы на котлах с ЦКС предлагается подавать реагент (аммиачную воду, мочевины, аммониевые соли неорганических и органических кислот) непосредственно в зону сгорания топлива, при этом возможно совмещение азотоочистки с сероочисткой дымовых газов путем одновременного использования присадок аммиака или его производных вместе с известняком.

Сегодня более 20 СНКВ-установок имеется в Западной Европе и более 100 в США. Идет строительство СНКВ-установок в Японии, Пуэрто-Рико, Польше, США. В России эксплуатируются две полномасштабные опытно-промышленные СНКВ-установки, использующие в качестве реагента аммиачную воду. Они сооружены на котлах ТП-87 Тольяттинской ТЭЦ, сжигающих газ и кузнецкий уголь, с жидким шлакоудалением.

Технология селективного автокаталитического восстановления оксидов азота аммиаком является новой и сейчас проходит испытания на энергоблоке мощностью 200 МВт одной из пилеугольных ТЭС США.

Все описанные выше технологии являются эффективными методами азотоочистки, но они имеют серьезный недостаток: используемый в них для восстановления оксидов азота аммиак обладает высокой токсичностью, что заставляет разрабатывать альтернативные методы денитрификации дымовых газов без использования  $\text{NH}_3$  или его производных [2].

В настоящее время ведется разработка различных сорбционных методов азотоочистки дымовых газов с предварительным принудительным окислением  $\text{NO}$  в  $\text{NO}_x$  и методов селективного каталитического восстановления оксидов азота углеводородами. Процесс азотоочистки дымовых газов методом селективного каталитического восстановления  $\text{NO}_x$  метаном находится на стадии лабораторной проработки. Для того, чтобы он стал экономически конкурентоспособным селективному каталитическому восстановлению  $\text{NO}_x$  с использованием аммиака, должна быть проделана еще очень большая работа, в том числе и по поиску активных, селективных и стабильных катализаторов.

Интенсивные работы по снижению выбросов  $\text{NO}_x$  в атмосферу тепловыми электростанциями проводятся в странах Европейского союза и в Японии с середины 80-х годов, а в США и Китае – с начала 90-х годов XX века. Так, только в США в 1998 г. были снижены выбросы  $\text{NO}_x$  – на 48 % по сравнению с данными, приведенными за 1970 г. В Германии же в 1998 г. котельные установки стали меньше выбрасывать в окружающую среду  $\text{NO}_x$  – на 40 %, чем в 1980 г. В России также были существенно снижены выбросы  $\text{NO}_x$  в атмосферу за период 1990-2000 гг. В последние годы в ряде стран таких как Япония, США, Германия, Россия, Польша ведется разработка новых методов и аппаратов, рассчитанных на одновременную очистку дымовых газов о нескольких загрязнителей, которые являются более компактными и менее затратными.

#### **Список используемой литературы:**

1. Салов Ю.В., Семашко В.А., Варнашов В.В. и др. Повышение надежности и экологической безопасности внешних газоходов и дымовых труб ТЭС // Энергосбережение и водоподготовка. – 2009. – №2. – С. 54 – 57.
2. Ежова Н.Н., Власов А.С., Делицын Л.М. Современные методы очистки дымовых газов // Экология промышленного производства. – 2006. – № 2. – С. 50 – 57.
3. Тумановский А.Г., Котлер В.Р. Перспективы решения экологических проблем тепловых электростанций // Теплоэнергетика. – 2007. – № 6. – С. 5 – 11.
4. Котлер В.Р. Пути решения проблемы выбросов оксидов азота на ТЭС России // Электрические станции. – 2008. – №11. – С. 9 – 12.

УДК 630\*181.8:630\*181.65

#### **Сезонный рост подростка сосны обыкновенной на отчужденной территории ЛЭП**

**А.Н. Панов**

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск, Россия

**E-mail: panov\_1958@hotmail.com**

Безопасность работы энергетической отрасли в Сибири в немалой степени зависит от древесно-кустарниковой растительности, произрастающей под ЛЭП. Изучение особенностей роста растений позволит производству своевременно проводить профилактические мероприятия и снижать себестоимость продукции.

Знание закономерностей ответных реакций растительного организма на различные воздействия позволит организовать мониторинг влияния как антропогенных, так и природных факторов на лесные фитоценозы. Данные исследования необходимы и для организации профилактических мер в целях предупреждения техногенных и экологических катастроф. Растения стремятся к развитию адекватной структуры организма и его функции в изменяющихся условиях. Формируют максимально возможную поверхность соприкосновения со средой обитания, обходясь минимально возможным количеством живого органического материала [1, 2]. Цель работы – выявление адаптации подроста сосны обыкновенной, произрастающих в зоне действия ЛЭП на уровне морфологических и физиологических особенностей сезонного роста.

Объект исследования — подрост сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) произрастающей на отчужденной территории ЛЭП. Контролем служил подрост под пологом леса березняка крапивного. Изучали хвою первого года жизни как наиболее чувствительного и отзывчивого органа к воздействию различных экологических факторов. Пигментный комплекс фотосинтетического аппарата определяли согласно рекомендациям А.А. Шлык [3]. Полевую влажность верхнего слоя почвы и влажность листового аппарата, определяли по общепринятым методикам. Температурный режим почвы и воздуха измеряли при помощи термометра. Световой режим фитоценозов определяли при помощи люксметра на высоте 1,3 метра от поверхности почвы.

Собственные результаты показали, что в сезонном развитии компонентов (древостой, подлесок, подрост, травяной ярус) этих сообществ выделяются три этапа. На первом этапе с конца апреля до начала июня наблюдается формирование кроны деревьев верхнего яруса березы. В начале вегетационного сезона кроны березового сообщества имели рыхлую структуру и пропускали много солнечного света. Динамика снижения освещенности связана с распусканием и ростом листовой пластинки взрослых деревьев. При максимальной величине сомкнутости листвы наблюдался период нестабильной освещенности. Для данного этапа характерно мозаичное освещение под пологом леса. При этом фотосинтетический аппарат подроста сосны обыкновенной испытывает значительные перегрузки, так как освещенность за короткий период может меняться от минимальных значений (затенения) до максимума, что может вызывать ингибирование фотосинтеза. В березняке крапивном даже при полном штиле листва постоянно меняет свое положение в пространстве, что способствует проникновению солнечных лучей к подросту и травяному покрову.

Начальный период роста побега является критическим в жизни растений по отношению к недостатку воды и элементов корневого питания. А в период скрытого роста происходит закладка, дифференциация и рост почек и накапливаются органические вещества в растении. Рост побега в 2006 г. начинался 13-15 мая и практически заканчивается 9-13 июля; хвои в конце мая и во II декаде августа соответственно. Однако скорость и сроки ростовых процессов различались. Если линейный рост побега на отчужденной территории ЛЭП завершался к августу, то под пологом леса окончание роста наблюдали уже в июле. Спад скорости роста побега в первую декаду июня совпадал с понижением температуры. Замедление темпов роста хвои в первой декаде приходилось на период ливневых дождей и гроз. К концу сезона длина побегов сосны под пологом леса составила 6-18 (в среднем 10,7) см, а на открытом участке – 29-51 (40,2) см, хвои – 4,5-8 (5,8) см и 4,5-7,5 (6,5) см соответственно. Различия по длине хвои и, особенно побегов, у сосны на этих участках связана с разной продолжительностью и интенсивностью их сезонного роста. Сроки интенсивного роста под пологом леса на 1-2 недели, а скорость роста в 2-4 раза меньше, чем под ЛЭП. Снижение скорости роста побегов и хвои на обоих участках в начале сезона совпадает с понижениями температуры воздуха в мае-первой декаде июня, в дальнейшем – с датами ливневых осадков. Различия в увлажненности верхних почвенных горизонтов и подстилки этих участков при повышении температур воздуха на фоне недостатка осадков во второй половине июня, начале июля приводят к отклику особей, обратному выше описанному, т.е. скорость роста хвои под пологом леса в это время была выше, чем на открытом участке.

Повышение температуры воздуха в третьей декаде июня создавало благоприятные условия для роста хвои под пологом леса и замедляло темп роста хвои у растений, произрастающих на открытом участке. В березняке при повышении температуры воздуха лучше прогревался корнеобитаемый слой, и достаточное увлажнение почвы создавали благоприятные условия для минерального питания подроста. На открытом участке повышение температуры воздуха приводило к снижению запасов влаги в почве, что приводило к замедлению скорости роста хвои. Известны экспериментальные данные о замедлении процессов фотосинтеза у древесных растений, произрастающих в лесу в полдень, что, вероятно, также может способствовать замедлению роста

хвои на открытых участках. Во второй половине сезона (июнь-октябрь) после того, как хвоя закончила свой рост в длину и толщину, вес одной хвоинки в березняке составлял 7,8-10,1 мг в сыром и 2,7 – 5,9 мг в сухом виде, а на открытом участке 19,7 – 25,4 и 7,0 – 12,5 мг соответственно.

Колебание веса хвои, по-видимому, связаны с изменениями ее влажности и влажности почвы в течение вегетационного сезона, а также с избытком инсоляции на открытом участке. На процессы испарения воды оказывает влияние влажность атмосферы. Данный процесс зависит от степени раскрытия устьиц [4]. На состояние водного потенциала оказывает влияние влажность почвы, т.е. количество воды, приходящееся на единицу объема почвы. Вода, которая находится в почве, оказывает большое влияние, на ее свойства начиная с несущей способности (проходимости) и кончая теплопроводностью [5]. В период роста хвои ее сырой вес в березняке крапивном увеличился в 2 раза из-за ежегодного застоя там талых вод по сравнению с весом хвои растений на открытом участке. Снижение сухой массы в середине вегетационного сезона может свидетельствовать об активном оттоке метаболитов из фотосинтетического аппарата на ростовые процессы надземных и подземных органов подроста сосны. Осеннее накопление сухих веществ в хвое может свидетельствовать о подготовке к зимнему покою, растения освобождаются от свободной воды и укрепляют мезофилл листа. Увеличение влажности хвои сосны, произрастающей в зоне действия ЛЭП, возможно объяснить адаптацией растений к определенному дефициту почвенной влаги. К концу сезона средняя длина побегов подроста сосны обыкновенной под пологом леса составляло 12,2 мм, а на открытом участке 40,2 мм, хвоя достигала 59,5 мм и 65,0 мм соответственно (табл. 1).

Таблица 1. Морфология хвои подроста сосны обыкновенной.

Параметр	Тип леса		Параметр	Тип леса	
	Березняк	ЛЭП		Березняк	ЛЭП
26,06,06					
длина хвои мм	59,88±6,87	65,00±6,69	влажность %	52,85	59,08
сечение хвои, мм	0,54±0,09	0,87±0,10	вес 1 влажной хвои, мг	7,80±0,1	20,49±0,2
площадь хвои мм <sup>2</sup>	49,25±13,6	99,71±15,8	вес 1 сухой хвоинки, мг	3,64±0,07	8,30±0,06
29,08,06					
длина хвои мм	56,94±8,97	67,92±2,78	влажность %	68,78	64,25
сечение хвои, мм	0,56±0,08	1,00±0,14	вес 1 влажной хвои, мг	8,70±0,2	19,68±0,2
площадь хвои мм <sup>2</sup>	57,039±13	116,91±17	вес 1 сухой хвоинки, мг	2,7±0,1	7,04±0,08
16,11,06					
длина хвои мм	60,73±10,8	66,50±9,41	влажность %	35,97	50,42
сечение хвои, мм	0,55±0,08	1,02±0,14	вес 1 влажной хвои, мг	10,11±0,3	25,37±0,5
площадь хвои мм <sup>2</sup>	56,45±13	116,45±17	вес 1 сухой хвоинки, мг	5,97±0,06	12,54±0,2

Существенным показателем, характеризующим приспособление растений к тем или иным условиям освещенности, может служить содержание пигментов фотосинтетической системы листового аппарата растений. Установлено, что в ответ на неблагоприятные природные факторы хлоропласт способен осуществлять процесс трансформации энергии с достаточно высокой эффективностью и быстро приспосабливаться к изменению окружающей среды [6]. Сезонные изменения в содержании пигментов у подроста сосны обыкновенной в целом соответствует общей закономерности снижения зеленых пигментов к осени. В период роста побегов и хвои в июне отмечалось максимальное количество хлорофилла "а" и постепенное снижение к осени. Максимум хлорофиллов в июне обеспечивает синтез ассимилянтов, необходимых для роста вегетативных органов подроста. На открытом участке количество хлорофилла "а" было 0,83 мг/г сырой массы и уступало данному показателю хвои под пологом леса 1,24 соответственно. В сформированном однолетнем листовом аппарате в июне отмечено максимальное накопление всех пигментов, в т. ч.

и хлорофилла "а". Они обеспечивают повышенный синтез метаболитов, необходимых для активно нарастающих в это время хвои текущего года и почек, а также утолщения побега (табл. 2).

Таблица 2. Пигментный комплекс однолетней хвои, мг/ г сырой массы.

Дата	Хл. а	Хл. b	Хл. а+хл b	каротиноиды	а/ b
<b>Открытый участок</b>					
26,06	0,83±0,21	0,30±0,09	1,15±0,3	0,16±0,03	2,6
20,08	0,81±0,04	0,29±0,03	1,11±0,07	0,14±0,004	2,7
29,08	0,57±0,06	0,21±0,00	0,79±0,07	0,12±0,02	2,6
16,10	0,53±0,10	0,21±0,04	0,75±0,15	0,15±0,02	2,4
<b>Березняк крапивный</b>					
26,06	1,24±0,38	0,45±0,12	1,70±0,4	0,26±0,07	2,6
20,08	0,82±0,08	0,30±0,02	1,13±0,10	0,14±0,01	2,6
29,08	0,78±0,24	0,27±0,09	1,06±0,3	0,18±0,05	2,8
16,10	0,33±0,12	0,12±0,05	0,45±0,1	0,13±0,03	2,7

Важный показатель, характеризующий приспособление растений к условиям освещенности, - соотношение между зелеными пигментами. Считается, что повышение данного показателя больше 3 может указывать на процессы разрушения хлорофилла "b". На фоне лабильности освещения в августе увеличение отношения хлорофилла "а" к хлорофиллу "b" указывает на частичное разрушение хлорофилла "b". Анализируемый пигмент участвует в системе, собирающий кванты света, для передачи их на реакционный центр. При интенсивном освещении он может подвергаться частичному разрушению. Данные факты указывают на достаточную степень освещения подростка сосны под пологом леса в период осеннего уменьшения плотности древесных крон. На открытом участке процесс освещения хвои менее зависел от затенения крон и процессы фотосинтеза протекали более равномерно.

Одна из существенных особенностей хвойных деревьев это наличие у них разновозрастных и зимующих групп видоизмененных листьев – хвои. Внешняя среда оказывает постоянное воздействие на растительный организм. Для получения достаточного количества питательных веществ необходимо адекватно реагировать на внешние раздражители. Задача каротиноидов призвана предохранять молекулы хлорофиллов от необратимого фотоокисления. Данные наших исследований показали, что наибольшие изменения наблюдаются в содержании каротиноидов. Осенний листопад способствует притоку солнечного света и следует ожидать увеличение защитных пигментов. Однако под пологом леса наблюдали снижение с 0,26 мг/г сырой массы до 0,13. Изменение соотношения хлорофилла "а" к хлорофиллу "b" не выходило за пределы физиологической нормы. Вероятно, данные факты связаны с наличием кутикулы выполняющей защитную функцию хвои и пропускающих достаточное количество квантов света необходимых для обеспечения процессов фотосинтеза.

Таким образом, результаты наших исследований показывают, что рост побега подростка сосны обыкновенной чувствителен к температуре окружающей среды, хвоя зависит от осадков, динамика накопления зеленых пигментов согласуется с литературными данными. Однако видовая состоит в том, что кутикула хвои способна выполнять защитные функции, на что указывает тенденция накопления защитных пигментов. Сосна под пологом леса имела достаточное освещение, на что указывает соотношение хлорофиллов. При физиологически обоснованном уровне освещения подрост сосны обыкновенной находится в неблагоприятных условиях развития, что подтверждается более низкой жизненностью особей сосны (больше относительная высота стволика, меньше размеры кроны, побегов и хвои, хуже охвоенность), что объясняется переувлажнением верхних почвенных горизонтов в мае-июне. Следовательно, подрост сосны обладает пластичностью к изменяющимся обстоятельствам среды и способен адаптироваться к различным условиям произрастания.

#### Список используемой литературы:

1. Ламан Н.А. Концепция биологического потенциала в исследованиях продукционного процесса растений // Регуляция роста, развития и продуктивности растений. Материалы II Международной конференции. – Минск: ИЭБ НАНБ, – 2001. – С. 3 – 24.
2. Журавлева М.В. Сезонная динамика физиологических процессов ели в насаждениях разного состава // Лесоведение. – 1976. – № 5. – С. 46 – 50.



3. Шлык А. А. Определение хлорофиллов и каротиноидов в экстрактах зеленых листьев // Биохимические методы в физиологии. – М.: Наука, – 1971. – С. 154 – 170.
4. Жолкевич В.Н. Транспорт воды в растении и его эндогенная регуляция // (61-е Тимирязевские чтения) – М.: Наука, – 2001. – 73 с.
5. Пособие по проведению анализа почв и составлению агропромышленных картограмм. Под ред. Карпинского Н.П. – М.: Россельхозиздат. – 1965. – С. 257 – 258.
6. Зотикова А.П. Диагностика состояния кедрового леса по активности первичных фотосинтетических реакций // Проблемы кедрового леса. Вып. 7. Экология, современное состояние, использование и восстановление кедровых лесов Сибири. – Томск, – 2003. – С. 76 – 80.

Работа выполнена в рамках фундаментальных исследований СО РАН (интеграционный проект №140).

УДК 533.9 (075.8)

### **Моделирование процесса плазменной утилизации сульфитных лигнинов**

***К.Г. Пиунова, А.Г. Каренгин***

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

***E-mail: piunova93@mail.ru***

Данная работа посвящена расчету и оптимизации процесса плазменной утилизации отходов целлюлозно-бумажного производства в виде сульфитных лигнинов в условиях воздушной плазмы. Установлено, что утилизация отходов в виде оптимальных по составу водноорганических композиций обеспечивает экологически безопасную утилизацию таких отходов.

Самая актуальная задача в мире на сегодняшний день – это решение проблемы рационального природопользования, в том числе, решение проблемы утилизации крупнотоннажных промышленных отходов. Накопленные отходы производства занимают значительные земельные территории, являются источником загрязнения окружающей среды, которые в последующем влияют на здоровье человека и уровень его жизни. Количество некоторых углеродсодержащих отходов столь велико, что их рассматривают как вторичные техногенные сырьевые ресурсы.

Лигнин, как составная часть древесины, наиболее трудно утилизируемый отход, который образуется при её химической переработке на целлюлозно-бумажных и гидролизных предприятиях [1].

В гидролизной промышленности получают порошок так называемый гидролизный лигнин.

В целлюлозном производстве образуются водорастворимые формы лигнина. Существуют две основные технологии варки целлюлозы, более распространенная сульфатная варка (щелочная) и менее употребляемая в настоящее время, сульфитная (кислотная) варка.

Лигнин, получаемый в сульфатном производстве - сульфатный лигнин, в большой степени утилизируется в энергетических установках целлюлозных заводов.

В сульфитном производстве образуются растворы сульфитных лигнинов (лигносульфонатов), часть которых накапливается в лигнохранилищах, а часть уходит со сточными водами предприятия в реки и озера.

В настоящее время отсутствуют исчерпывающие технические решения по утилизации технических лигнинов, хотя обзор научной литературы последних лет свидетельствует о возрастающем интересе исследователей к этому сырьевому ресурсу [2-8].

Количество лигнинов в Украине (отходы дрожжевой, кормовой, целлюлозно-бумажной промышленности), по разным данным, составляет от 5 до 15 млн. т, в России и Белоруссии их на порядок больше.

В данной работе представлены результаты термодинамического моделирования процесса плазменной утилизации сульфитных лигнинов при атмосферном давлении ( $P=0,1$  МПа), для широкого диапазона температур (300-4000 К) и массовых долей воздушного плазменного теплоносителя. В расчётах использовались следующие брутто-формула ( $C_{26}H_{30}O_{12}S$ ) и средний элементный состав сульфитного лигнина (С-53,46%; Н-5,37%; ОСН3-12%; S-5,02%) [2].

На первом этапе были проведены расчеты равновесных составов продуктов плазменного горения при различной массовой доле воздушного плазменного теплоносителя.

На рисунках 1 и 2 представлены равновесные составы основных газообразных и конденсированных продуктов плазменного горения сульфитного лигнина в воздушной плазме при массовой доле воздушного плазменного теплоносителя 85% и 80 %.

Из анализа равновесных составов следует, что при массовой доле воздушного плазменного теплоносителя 85% (рис. 1) основными газообразными продуктами плазменного горения сульфитного лигнина при температурах 300ч1000 К являются  $N_2$ ,  $CO$  и  $CO_2$ . Малое содержание сажи  $C(s)$  и незначительное количество  $NO$  и  $NO_2$  указывают на то, что процесс плазменного горения сульфитного лигнина в воздушной плазме при массовой доле воздушного теплоносителя 85%, идет в оптимальном режиме.

Снижение массовой доли воздушного плазменного теплоносителя с 85% до 80% (рис. 2) приводит к повышению содержания сажи  $C(s)$  и  $CO$ , что указывает на неоптимальный режим плазменного горения сульфитного лигнина в воздушной плазме.

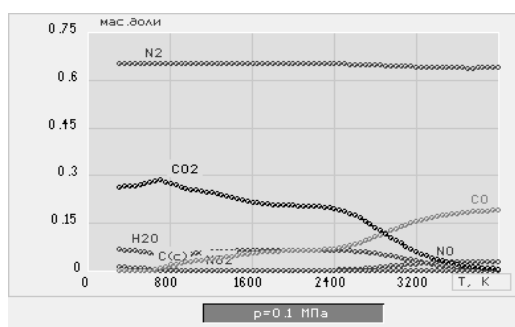


Рис. 1. Равновесный состав продуктов плазменного горения сульфитного лигнина в воздушной плазме (85% воздух : 15% сульфитный лигнин).

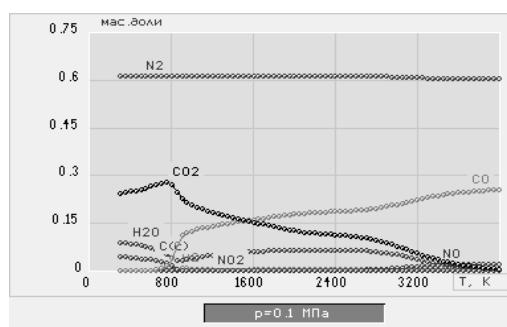


Рис. 2. Равновесный состав продуктов плазменного горения сульфитного лигнина в воздушной плазме (80% воздух : 20% сульфитный лигнин).

На втором этапе был произведен расчёт показателей горения модельных водноорганических композиций, имеющие высокую взаимную растворимость, и включающие сульфитный лигнин, воду и этиловый спирт.

На рисунке 3 показано влияние содержания сульфитного лигнина и этилового спирта на адиабатическую температуру горения водноорганических композиций «лигнин-вода-спирт» различного состава.

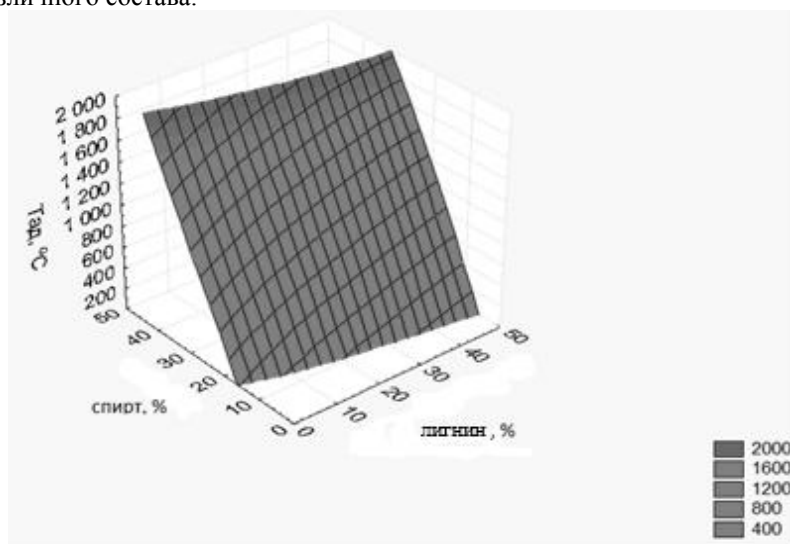


Рис. 3. Влияние содержания сульфитного лигнина и этилового спирта на адиабатическую температуру горения водноорганических композиций «лигнин-вода-спирт».

Из анализа полученных результатов определена оптимальная водноорганическая композиция с максимальным содержанием сульфитного лигнина, имеющая адиабатическую температуру горения  $\approx 1200$  °C (ВОК): 45% лигнин : 33% вода : 22% спирт.

На рисунке 4 и 5 представлены равновесные составы основных газообразных и конденсированных продуктов плазменного горения оптимальной водноорганической композиции

на основе сульфитного лигнина при массовой доле воздушного плазменного теплоносителя 70% и 65%.

Из анализа равновесных составов следует, что при массовой доле воздушного плазменного теплоносителя 70% (рис. 4) основными газообразными продуктами плазменного горения являются при температурах 1000÷1200 К  $N_2$ , CO и  $CO_2$ . Отсутствие сажи C(c) и незначительное количество NO и  $NO_2$  указывают на то, что процесс плазменного горения водноорганической композиции ВОК в воздушной плазме при массовой доле воздушного теплоносителя 70% идет в оптимальном режиме.

Снижение массовой доли воздушного плазменного теплоносителя с 70% до 65% (рис. 5) приводит к повышению содержания сажи C(c) и CO, что указывает на неоптимальный режим плазменного горения сульфитного лигнина в воздушной плазме.

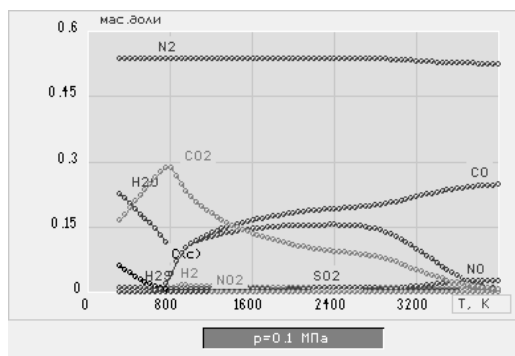


Рис. 4. Равновесный состав продуктов плазменного горения сульфитного лигнина в воздушной плазме в виде оптимальной водноорганической композиции (70% воздух : 30% ВОК).

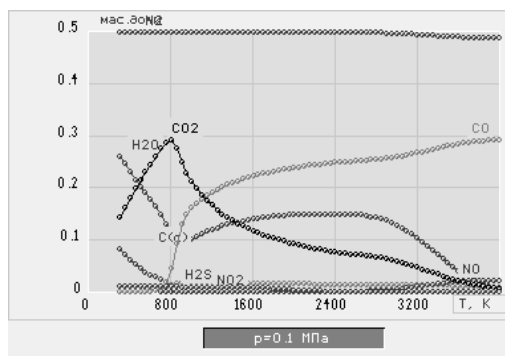


Рис. 5. Равновесный состав продуктов плазменного горения сульфитного лигнина в воздушной плазме в виде оптимальной водноорганической композиции (65% воздух : 35% ВОК).

С учётом полученных результатов могут быть рекомендованы для практической реализации процесса плазменной утилизации сульфитного лигнина в воздушной плазме следующие технологические режимы:

1. Интервал рабочих температур 1500±200 К;
2. Оптимальный состав ВОК: (45% лигнин : 33% вода : 22 % спирт);
3. Массовое соотношение: 70% воздух : 30% ВОК.

Результаты проведённых исследований могут быть использованы при создании технологии и оборудования для промышленной утилизации технических лигнинов.

#### Список используемой литературы:

1. Лигнины: Структура, свойства и реакции / Под ред. К. В. Сарканена, К. Х. Людвиг; Пер. с англ. – М.: – 1975. – 632 с.
2. Симонова В.В., Шендрик Т.Г., Кузнецов Б.Н. Методы утилизации технических лигнинов // Журнал Сибирского федерального университета. Химия. – 2010. – № 3. – С. 340 – 354.
3. Гоготов А. Ф., Рыбальченко Н. А., Бабкин В. А. Достижения и проблемы переработки лигнина в ароматические альдегиды (обзор) // Химия в интересах устойчивого развития. – 2001. – № 2. – С. 161 – 167.
4. Камалдина О. Д., Массов Я. А. Получение ванилина из лигносульфонатов. – М.: ЦБТИ ЦИНИС, – 1959. – 38 с.
5. Кузнецов Б.Н., Кузнецова С.А., Тарабанько В.Е. Новые методы получения химических продуктов из биомассы деревьев сибирских пород // Российский химический журнал. – 2004. – Т. 48. – № 3. – С. 4 – 19.
6. Тарабанько В.Е., Иванченко Н.М., Коропачинская Н.В., Кузнецов Б.Н. Исследование процессов переработки древесины и лигносульфонатов в продукты тонкого органического синтеза // Химия в интересах устойчивого развития. – 1996. – Т. 4. – № 4–5. – С. 405 – 418.
7. Тарабанько В. Е., Коропачинская Н. В., Кудряшев А. В., Кузнецов Б. Н. Влияние природы лигнина на эффективность каталитического окисления в ванилин и сиреневый альдегид // Изв. РАН, сер.хим. – 1995. – № 2. – С. 375 – 379.
8. Холькин Ю.И. Технология гидролизных производств. – М.: Лесная промышленность, – 1989. – с. 438 – 444.

**Расчет риска техногенной чрезвычайной ситуации на ЗАО «Том-Мас»****Е.В. Воробьева, Н.А. Чулков***Томский политехнический университет, г. Томск, Россия***E-mail: eworobieva@gmail.com**

Установлено, что расчет риска ЧС на ЗАО «Том-Мас» может быть проведен на основе математического моделирования. Сделан вывод о том, что вероятность одного из возможных сценариев, взрыв природного газа, не превышает нормативного значения, при реализации всех запланированных мероприятий в полном объеме.

В соответствии с [1, 2] необходимо для каждого объекта разрабатывать паспорт опасного объекта. Для ЗАО «Том-Мас», на котором применяется природный газ как топливо котельной, аммиак как хладагент и ряд других реагентов, актуально выполнение требований Федерального закона.

На основе анализа технической документации [3] предприятия и специальной литературы рассмотрены следующие сценарии возможных аварий:

1. Разгерметизация подводящего газопровода (трещина) —> выброс природного газа —> образование облака ТВС —> возгорание от источника огня -> дефлаграционный взрыв ТВС

Основные возможные причины которого: Ошибки персонала, технические неполадки, отказ оборудования, нарушение правил пожарной безопасности

2. Разгерметизация подводящего газопровода (свищ) -> выброс природного газа -> образование облака ТВС —> возгорание от источника огня —> дефлаграционный взрыв ТВС

Основные возможные причины которого: Ошибки персонала, технические неполадки, нарушение правил пожарной безопасности

3. Разгерметизация подводящего газопровода (полное) -> выброс природного газа -> образование облака ТВС —> возгорание от источника зажигания —> дефлаграционный взрыв ТВС

Основные возможные причины которого: Ошибки персонала, технические неполадки, нарушение правил пожарной безопасности

По сценарию 3 количество выбросов природного газа из подводящего газопровода принимается равным сумме выбросов газа от момента разгерметизации газопровода до закрытия задвижки и количества газа оставшегося в отключенном участке газопровода.

Основным поражающим фактором будет являться воздушная ударная волна, возникшая в последствии дефлаграционного взрыва ТВС. Количество опасного вещества участвующего в аварии и количество опасного вещества участвующего в создании поражающих факторов составит 12,3 т

Сценарий 3. Разгерметизация подводящего газопровода (полное раскрытие), - выброс природного газа, - образование облака ТВС, - возгорание от источника огня, - дефлаграционный взрыв ТВС.

Рассмотрим аварию, когда при разгерметизации газопровода на полное сечение, в окружающее пространство выбрасывается природный газ с последующим возникновением топливно-воздушной смеси. Воспламенение образовавшейся топливно-воздушной смеси с образованием избыточного давления возможно при наличии источника зажигания.

Расчет количества выбросов природного газа из газопровода проводится по «Методике по расчету удельных показателей загрязняющих веществ в выбросах (сбросах) в атмосферу (водоемы) на объектах газового хозяйства».

Исходные данные:

–	внутренний диаметр газопровода	$d = 98.0$ мм;
–	плотность природного газа	$\rho = 0,76$ кг/м <sup>3</sup> ;
–	абсолютное давление в газопроводе	$P = 0,6$ МПа;
–	расчетная температура воздуха	$t = 20$ °С;
–	время выброса газа	$T = 40$ мин.

По расчетам, выполненным в соответствии с «Методикой по расчету удельных показателей загрязняющих веществ в выбросах (сбросах) в атмосферу (водоемы) на объектах газового хозяйства», за 40 мин. из газопровода выйдет 16231 м<sup>3</sup> природного газа.

Расчеты зон действия воздушной ударной волны при дефлаграционном взрыве облака ТВС проводятся по Приложению Е ГОСТ Р 12.3.047-98 «Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля».

**Исходные данные:**

- объем газа, попавшего в атмосферу:  $V = 16231 \text{ м}^3$  (12,3 т.);
- удельная теплота сгорания газа:  $Q, = 41,84 \text{ МДж/кг}$ ;
- коэффициент участия:  $Z = 0.1$

Оценка последствий аварии.

Расчитали избыточное давление  $\Delta P$ , развиваемое при сгорании ТВС.

График зависимости расчетного избыточного давления  $\Delta P$  (кПа) от расстояния  $r$  (м) до центра облака ТВС представлен на рис. 1.

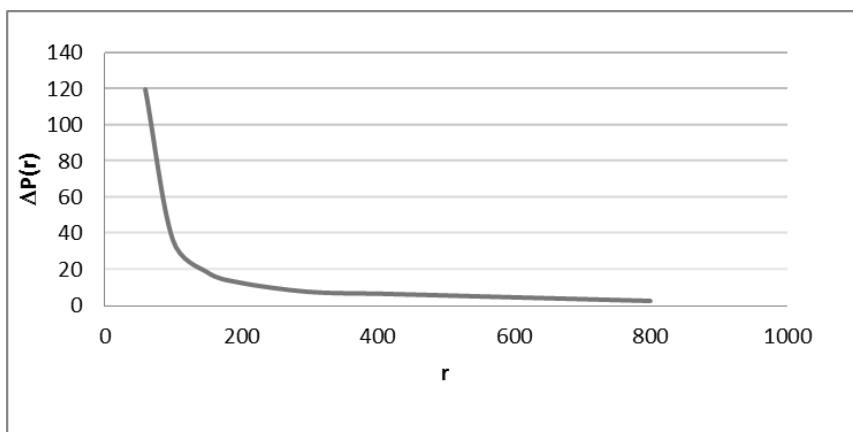


Рис. 1. Зависимость избыточного давления от расстояния.

Таким образом, в санитарно-защитной зоне возможны разрушения зданий [3]. Для жилых зданий расположенных за пределами санитарно-защитной зоны возможны незначительные разрушения.

**Список используемой литературы:**

1. Технический регламент «О требованиях пожарной безопасности», ФЗ-123 от 22.07.08 г.
2. О порядке проведения расчетов по оценке пожарного риска. Постановление Правительства Российской Федерации от 31 марта 2009г. № 272 г. Москва
3. РД 03-409-01. Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей, утв. постановлением ГТН России от 26.06.01 г. № 25.

УДК 621.181.018: 504.3.054

**Оценка выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от котельных малой мощности  
Томской области**

***Е.С. Воронцова, У.В. Дорохова, Т.С. Тайлашева***

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

***E-mail: ves@tpu.ru***

Описаны современные проблемы «малой» и «большой» энергетики. Показан и произведен аналитический метод расчета выбросов вредных веществ в атмосферу. Из расчетов установлено, что предельно-допустимая концентрация вредных выбросов не превышена. Сделаны выводы о необходимости проведения специальных мероприятий по увеличению эффективности функционирования предприятий энергетики.

Под словом «энергетика» чаще всего представляются крупные энергетические объекты по преобразованию, распределению и использованию ресурсов всех видов. По совокупности эти объекты представляют собой так называемую «большую» энергетику.

На сегодняшний день большинство существующих и работающих электро- и теплогенерирующих станций построены в середине 20 века и нуждаются в реконструкции и

модернизации как основного и вспомогательного оборудования, так и всего технико-экономического комплекса энергообъекта.

Немаловажным аспектом в поддержании и дальнейшем развитии энергетики является рациональное использование энергетических ресурсов. Программы по энергетической эффективности учитывают уровень развития техники и технологии и требования к охране окружающей среды. При выполнении данных программ, уместно задать вопрос: какими темпами современная техника и технологии внедряются в сегодняшнюю энергетику?

Также стоит помнить о том, что при разработке программ по энергоэффективности необходимо учитывать мощности «малой» энергетики, энергоснабжающие организации которой обеспечивают функционирование промышленного производства, образовательных учреждений, жилых домов и прочих потребителей.

Именно сегодня как «большая», так и «малая» энергетика нуждается в постановке новых задач и реализации новых решений. Лишь немногие компании ставят целью обновить производство, остальные же заменяют часть устаревшего оборудования, продолжая использовать установки, отработавшие ресурсный срок.

Наряду с этим, выявлены одни из главных проблем энергетики:

- техническая разница среди предприятий энергетической отрасли, вызванная условиями рыночной экономики. Многие предприятия России оказались в собственности разных хозяйствующих структур и относятся к разным видам собственности [1]. Руководства предприятий вынуждены искать дешевые способы получения тепло- и энергоснабжения, от части не задумываясь о качестве поставляемой и отпускаемой продукции.

- поставка большей части углей, являющихся преобладающим видом топлива, осуществляется железнодорожным транспортом. Здесь можно столкнуться с недобросовестностью поставщиков, что приводит к ухудшению качества топлива в процессе поставки из-за нарушения договора, правил перевозок и безопасности при транспортировке[2].

- проблема исчерпания запасов проектного топлива, которая ведет к изменению топливного режима энергетических объектов и использованию непроектного топлива. Использование непроектного топлива приведет к ухудшению технико-экономических показателей или снижению надежности работы основного и вспомогательного оборудования [3] энергопредприятия, а также к увеличению количества вредных выбросов.

Достоинство любого топлива в экологическом аспекте – это минимальное содержание в нем минеральной части, серы и топливного азота, от которых зависит выброс в атмосферу кислотообразующих компонентов и твердых частиц. Кроме того, в последнее время топливо начали оценивать и по содержанию в нем горючих водорода и углерода, последний образует при сжигании  $\text{CO}_2$ , который является основным компонентом парниковых газов [4], и изменение содержания которого называют основной причиной современного повышения температуры [5].

Нормативы удельных выбросов для котельных установок устанавливаются для следующих загрязняющих веществ: зола твердого топлива, оксиды азота (в пересчете на  $\text{NO}_2$ ), оксида серы, оксидов углерода[6].

В качестве объекта исследования были выбраны 7 котельных Томской области разной мощностью от 0,46 до 3,77 МВт, на которых эксплуатируются водогрейные котлы производительностью менее 30 Гкал/час. Для проведения расчетов выбраны следующие заводы – изготовители котлов: «Евротерм» (Чехия), ООО ПФ «Октан» (г. Омск), «ЭкоДРЕВ» (г. Тверь), ПО «Теплоресурс» (г. Ковров), которые частично введены или еще не введены в эксплуатацию на исследуемых котельных. Выбрано необходимое количество котлов – от 2 до 4 на каждой котельной, в зависимости от мощности.

В анализе используются следующие виды топлива: каменный уголь кузнецкого бассейна марки Д; низкосернистый мазут марки 40 и 100; топливо на основе древесины, спрессованное в древесные гранулы (пеллеты); топливо на основе торфа, спрессованное в топливные брикеты; природный газ Томской области для промышленного и коммунально-бытового назначения. Твердое топливо сжигается слоевым способом.

Исследование проводится аналитическим методом с применением анализа данных [7]. Для расчета валовых выбросов твердых частиц значения необходимых величин для каждого вида топлива выбираются по международным стандартам и справочным данным нормативного метода теплового расчета котлов [8] в соответствии со значением калорийности, способа сжигания, производительности котлов. Расчет ведется по формуле:

$$M_{TB} = B \cdot \frac{A^r}{100 - \Gamma_{yn}} \cdot a_{yn} \cdot (1 - \eta_3). \quad (1)$$

Здесь  $B$  – расход натурального топлива, т/г;  $A^r$  – зольность топлива на рабочую массу, %;  $a_{yn}$  – доля золы, уносимой газами из котла;  $\eta_3$  – доля твердых частиц, улавливаемых в золоуловителях;  $\Gamma_{yn}$  – содержание горючих в уносе, %.

При расчетах выбросов газообразных веществ были использованы справочные данные, паспортные данные котлов.

1 Оксиды азота:

1.1 Расчет выбросов оксидов азота при сжигании природного газа:

$$M_{NO_x} = B_p \cdot Q_i^r \cdot K_{NO_2}^r \cdot \beta_k \cdot \beta_t \cdot \beta_\alpha \cdot (1 - \beta_r) \cdot (1 - \beta_\delta) \cdot k_{II}. \quad (2)$$

1.2 Расчет выбросов оксидов азота при сжигании мазута:

$$M_{NO_x} = B_p \cdot Q_i^r \cdot K_{NO_2}^M \cdot \beta_t \cdot \beta_\alpha \cdot (1 - \beta_r) \cdot (1 - \beta_\delta) \cdot k_{II}. \quad (3)$$

1.3 Расчет выбросов оксидов азота при слоевом сжигании твердого топлива:

$$M_{NO_x} = B_p \cdot Q_i^r \cdot K_{NO_2}^T \cdot \beta_r \cdot k_{II}. \quad (4)$$

В данных формулах  $B_p$  – расчетный расход топлива, т/г ( $\text{м}^3/\text{г}$ );  $Q_i^r$  – низшая теплота сгорания топлива, МДж/кг ( $\text{МДж}/\text{м}^3$ );  $K_{NO_2}$  – удельный выброс оксидов в зависимости от вида сжигаемого топлива;  $\beta_k$  – безразмерный коэффициент, учитывающий принципиальную конструкцию горелок;  $\beta_t$  – безразмерный коэффициент, учитывающий температуру воздуха, подаваемого для горения;  $\beta_\alpha$  – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние избытка воздуха на образование оксидов вещества;  $\beta_r$  – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рециркуляции дымовых газов через горелки на образование оксидов азота;  $\beta_\delta$  – безразмерный коэффициент, учитывающий ступенчатый ввод воздуха в топочную камеру;  $k_{II}$  – коэффициент пересчета.

2 Оксид серы:

$$M_{SO_2} = 0,02 \cdot B \cdot S^r \cdot (1 - \eta'_{SO_2}) \cdot (1 - \eta''_{SO_2}), \quad (5)$$

где  $B$  – расход натурального топлива, т/г;  $S^r$  – содержание серы в топливе на рабочую массу, %;  $\eta'_{SO_2}$  – доля оксидов серы, связываемых летучей золой в котле;  $\eta''_{SO_2}$  – доля оксидов серы, улавливаемых в мокром золоуловителе попутно с улавливанием твердых частиц.

3 Оксид углерода:

$$M_{CO} = 10^{-3} \cdot B \cdot C_{CO} \cdot (1 - \frac{q_4}{100}), \quad (6)$$

где  $C_{CO}$  – выход оксида углерода при сжигании топлива, кг/т;  $q_4$  – потери тепла вследствие механической неполноты сгорания топлива, %.

Концентрация вредного вещества в пересчете на  $\alpha = 1,4$  выражается в виде:

$$C = n \cdot \frac{Q_i^r}{V_r} \cdot 10^3, \quad (7)$$

где  $n$  – удельный выброс загрязняющего вещества, г/МДж;  $Q_i^r$  – низшая теплота сгорания топлива, МДж/кг;  $V_r$  – объем дымовых газов при нормальных условиях  $\text{м}^3/\text{кг}$  ( $\text{м}^3/\text{м}^3$ ).

Удельный выброс выражается в виде:

$$n = \frac{M}{B \cdot Q_i^r}, \quad (8)$$

где  $M$  – величина выброса, г/с;  $B$  – расход топлива, кг/с.

Допускается не более чем двукратное превышение нормативов удельных выбросов в течение не более 30 минут при условии, что общая продолжительность 30-минутных превышений будет менее 5% времени за год [6].

Согласно ГН 2.1.6.1338-03 концентрации выбросов оксидов азота, серы и углерода подлежат суммации, сумма их концентраций не должна превышать 1 при расчете по формуле:

$$\frac{C_1}{ПДК_1} + \frac{C_2}{ПДК_2} + \dots + \frac{C_n}{ПДК_n} \leq 1, \quad (9)$$

где  $C_1, C_2, C_n$  – фактические концентрации веществ в атмосферном воздухе;  $ПДК_1, ПДК_2, ПДК_n$  – предельно допустимые концентрации тех же веществ в атмосферном воздухе [9].

Среднесуточная ПДК твердых частиц –  $0,02 \text{ мг/м}^3$ , оксидов азота –  $0,06 \text{ мг/м}^3$ , оксидов серы –  $0,05 \text{ мг/м}^3$ , оксидов углерода –  $3 \text{ мг/м}^3$ . Количество валовых выбросов загрязняющих веществ от каждой исследуемой котельной, а также их концентрация в атмосферном воздухе, рассчитаны по формулам (1) – (9). Таким образом, концентрация твердых частиц не превышает  $0,0198 \text{ мг/м}^3$ , оксидов азота –  $0,0012 \text{ мг/м}^3$ , оксидов серы –  $0,000001 \text{ мг/м}^3$ , оксидов углерода –  $0,0001 \text{ мг/м}^3$ . При обобщающем анализе полученных результатов можно сделать вывод, что концентрация загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу, от исследуемых котельных не превысила нормированные предельно допустимые концентрации.

Применение описанного метода служит одним из критериев по выбору оптимального вида топлива при условиях отдаленности месторождения, количества затрат разного рода и качества топлива, а также условием экологической обстановки местности.

Особенности расчета позволяют судить о необходимости установки дорогостоящего оборудования для улавливания твердых частиц и оксидов по ходу дымовых газов, и применении технологических методов снижения загрязняющих выбросов.

#### **Список используемой литературы:**

1. Кожуховский И.С., Эдельман В.И., Говсиевич Е.Р. Проблемы монополизма поставщиков твердого топлива на рынках энергетических углей // Теплоэнергетика. – 2006. – № 5. – С. 45–49.
2. Воронцова, Е.С., Дорохова У.В. Организация работы с энергетическим топливом // Современные техника и технологии: сб. трудов XVIII Междунар. науч-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых – Томск: ТПУ, 2012. – Т. 3. – С. 169-170.
3. Воронцова, Е.С. Особенности использования непроектных углей на ТЭС // Энергетика: эффективность, надежность, безопасность: труды XIV Междунар. студенческого науч-техн. сем. – Томск: ТПУ, – 2012. – Т. 2. – С. 23 – 27.
4. Беспалов В.И., Беспалова С.У., Вагнер М.А. Природоохранные технологии на ТЭС: учебное пособие – Томск: Изд. ТПУ, – 2010. – 240 с.
5. Клименко В.В., Терёшин А.Г. Мировая энергетика и глобальный климат после 2100 // Теплоэнергетика. – 2010. – № 12. – С. 38 – 44.
6. Временные методические указания по установлению технических (максимально допустимых) нормативов удельных выбросов загрязняющих веществ в атмосферу для действующих котельных установок. – Введ. 2001-02-13. – М.: – 2001. – 6 с.
7. Методика определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при сжигании топлива в котлах производительностью менее 30 тонн пара час или менее 30 Гкал в час.– Введ. 2000-01-01. – М.: – 1999. – 27 с.
8. Тепловой расчет котлов (Нормативный метод). – СПб.: Изд-во НПО ЦКТИ, 1998. – 256 с.
9. Бондалетова В.Т., Новиков В.Т., Алексеев Н.А. Расчет выбросов загрязняющих веществ при сжигании топлива в котлоагрегатах котельных. Методическое пособие по выполнению практических занятий – Томск: Изд. ТПУ, – 2000. – 39 с.

УДК 629.76+662.61.8:551.5

#### **Исследование термогазодинамических процессов в жидко-капельной среде при авиационном тушении пожаров**

***И.К. Жарова, Е.А. Козлов, Н.В. Коровина\*, В.Т. Кузнецов, А.С. Ткаченко\*\****

*Научно-исследовательский институт прикладной математики и механики*

*Томского государственного университета, г. Томск, Россия*

*\*Институт проблем химико-энергетических технологий*

*Сибирского отделения Российской академии наук, г. Бийск, Россия*

*\*\*Томский государственный педагогический университет, г. Томск, Россия*

***E-mail: Zharova@niipmm.tsu.ru***

В работе представлена физико-математическая модель эволюции облака хладагента в атмосфере. Приведены некоторые результаты расчетов процесса выпадения капель воды при авиационном тушении пожара.

При постановке задачи пожаротушения путем авиационного сброса распыленной воды с высот порядка сотен метров математическое моделирование и результаты численного анализа



процесса выпадения капель воды проводилось при следующих предположениях. Учитывались реальные метеорологические условия – сила и направление ветра: предполагалось, что на каждую каплю в аэрозольном облаке, выброшенную в атмосферу с заданной начальной скоростью и начальной температурой, действует сила тяжести, ветровая нагрузка и сила аэродинамического сопротивления, направленная навстречу суммарному вектору скорости капли. Также при моделировании учитывалось изменение во времени температуры капли вследствие конвективно-кондуктивного теплообмена с окружающим воздухом и вклад в теплообмен теплоты фазового перехода при испарении капли, при этом учитывалось изменение размера капли вследствие испарения. Полная система уравнений включает уравнения движения капли, уравнение теплового баланса и уравнение изменения размера капли за счет ее испарения:

$$\begin{cases} \frac{du_s}{dt} = \phi(u - u_s), \quad \frac{dv_s}{dt} = \phi(v - v_s), \quad \frac{dw_s}{dt} = \phi(w - w_s) + g, \\ \frac{dT_s}{dt} = \frac{3}{2} \frac{\lambda}{r_s^2 \rho_s c_p} \text{Nu}(T - T_s) - \frac{q_{vap} m_{vap}}{m_s c_p}, \quad \frac{dr_s}{dt} = -\frac{k}{\rho_s} \frac{p_0}{p - p_0}, \\ \frac{dx}{dt} = u_s, \quad \frac{dy}{dt} = v_s, \quad \frac{dz}{dt} = w_s, \end{cases} \quad (1)$$

где  $u_s, v_s, w_s$  – компоненты вектора скорости капли  $\vec{U}_s$ ;  $u, v, w$  – компоненты вектора скорости ветра  $\vec{U}$ ;  $\phi = \frac{3\rho}{8\rho_s r_s} C_D |\vec{U} - \vec{U}_s|$  – безразмерный комплекс;  $\rho$  – плотность воздуха;  $\rho_s$  – плотность жидкости;  $C_D$  – коэффициент сопротивления;  $r_s$  – радиус капли;  $g$  – ускорение свободного падения;  $T$  – абсолютная температура воздуха;  $T_s$  – температура капли (осредненная по объему);  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности воздуха;  $c_p$  – удельная теплоемкость жидкости;  $\text{Nu} = 2 + 0.6\text{Re}^{1/2} \text{Pr}^{1/3}$  – число Нуссельта;  $\text{Re} = 2\rho |\vec{U} - \vec{U}_s| r_s / \mu$  – число Рейнольдса относительного движения;  $\text{Pr}$  – число Прандтля;  $q_{vap}$  – удельная теплота испарения жидкости;  $m_{vap}$  – масса испарившейся жидкости;  $m_s$  – масса капли;  $k$  – коэффициент массоотдачи;  $p$  – давление окружающей среды;  $p_0$  – парциальное давление пара.

Учет дробления капель за счет неустойчивости Рэлея–Тейлора или Кельвина–Гельмгольца проводился путем расчета значений чисел Бонда  $\text{Bo} = \rho_s \omega D^2 / \sigma$  (где  $\omega$  – ускорение массовых сил) и Вебера  $\text{We} = \rho |\vec{U} - \vec{U}_s|^2 D / \sigma$ , согласно [1]. Предполагалось, что при достижении критического значения числа Бонда  $\text{Bo}_* = 90$  или критического значения числа Вебера  $\text{We}_* = 17$  капля дробится на две сферические капли равной массы [2]. В расчетах учитывалось, что дробление капель происходит не мгновенно, а через характерное время [1]  $t_* = \frac{2r_s}{|\vec{U} - \vec{U}_s|} \left( \frac{\rho_s}{\rho} \right)^{1/2}$ .

При выбросе в атмосферу сравнительно большого количества жидкости в результате спонтанного дробления отдельных неустойчивых объемов и капель жидкости образуется первичное облако капель с дифференциальной функцией счетного распределения, близкой к экспоненциальной. В настоящей работе была принята функция распределения числа капель воды по размерам [3]

$$f(D) = a \exp(-1,56D),$$

где  $a = 1,575 \text{ мм}^{-1}$  – нормирующий множитель;  $D$  – текущий диаметр капель, мм.

Исследование термогазодинамических характеристик капель при авиационном сбросе на основании математической модели (1) реализовано путем модельных расчетов для 6 фракций капель воды различных начальных размеров,  $D = (1 \div 6)$  мм, высоты сброса 300 м при нулевой начальной скорости. Считалось, что сброс осуществляется при наличии западного ветра, скорость ветра 6 м/с, температура окружающей среды 20 °С. Принималось, что в диапазоне высот от 0 до 50 м скорость восходящего потока воздуха линейно уменьшается от 0,5 м/с до 0. Температура воздуха в диапазоне высот от 0 до 200 м линейно уменьшается от 370 °С до 20 °С. На рис. 1–3

приведены полученные характеристики для капель воды разных размеров в аэрозольном облаке в зависимости от высоты.

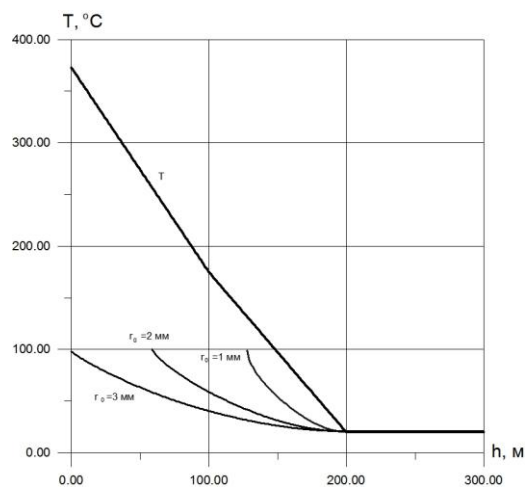


Рис. 1. Зависимость температуры капель разных начальных размеров от высоты (Т – температура окружающей среды).

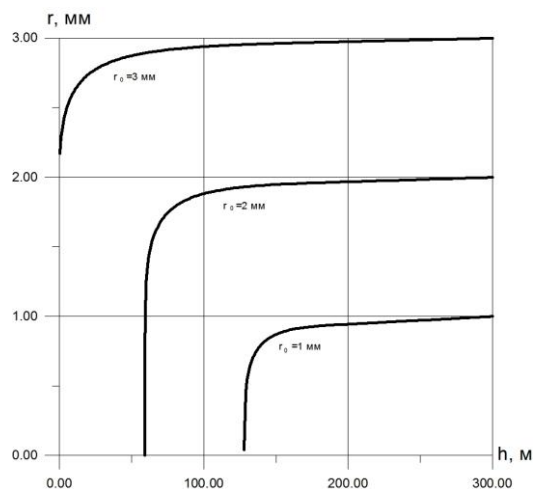


Рис. 2. Зависимость текущего радиуса капель разных начальных размеров от высоты.

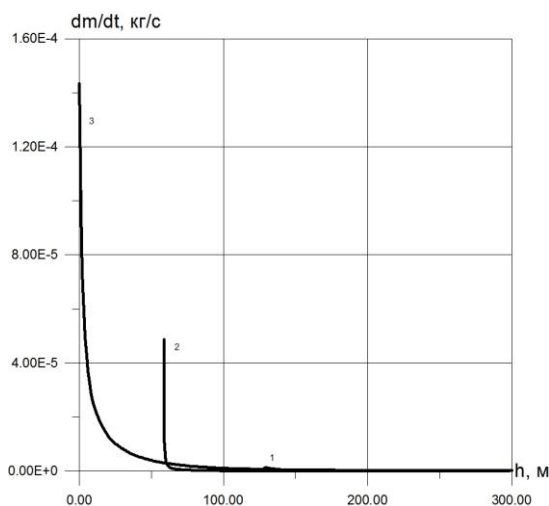


Рис. 3. Скорость испарения капель воды на разных высотах (цифрами 1, 2 обозначен начальный радиус капель, мм).

В модельных расчетах использованы исходные данные, соответствующие варианту сброса воды с нулевой начальной скоростью капель, что имитирует реальные условия при пожаротушении с вертолета при помощи водосливного устройства ВСУ–5.

Предварительный анализ исходных данных показал, что капли диаметром от 5 мм до 6 мм составляют всего 1,1 % от общего числа капель, однако в них содержится 20,4 % массы жидкости. При этом получено, что капли с начальным размером 1 мм и 2 мм начинают нагреваться с высоты 200 м и полностью испаряются на высотах соответственно 59 м и 128 м. Капли с начальным размером 3 мм прогреваются до температуры 97 °С, но не успевают полностью испариться. При этом их размер уменьшается до 2,2 мм. По мере входа капли в прогретую зону скорость испарения возрастает экспоненциально (рис. 3), причем для крупных капель увеличение скорости испарения наступает позднее в сравнении с мелкими каплями. Этот эффект объясняется тепловой инерцией крупных капель и их более высокой скоростью прохождения прогретой области.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ, грант № 12-08-90810-мол\_рф\_нр.

#### Список используемой литературы:

1. Нигматулин Р.И. Динамика многофазных сред. Ч. 1. – М.: Наука, – 1987. – 464 с.

2. Васенин И.М., Архипов В.А., Бутов В.Г., Глазунов А.А., Трофимов В.Ф. Газовая динамика двухфазных течений в соплах. – Томск: Изд-во Том. ун-та, – 1986. – 286 с.
3. Новый аэроклиматический справочник свободной атмосферы над СССР. Т. 1. – М.: Гидрометеиздат, – 1979. – 320 с.

УДК 621.867

### Экологичность и безопасность элеваторных систем транспортировки частиц в технологиях переработки дисперсных материалов

*М.В. Василевский, И.В. Додонова*

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

*E-mail: [my\\_mailboxxx@mail.ru](mailto:my_mailboxxx@mail.ru)*

В работе рассматриваются анализ механизмов образования пыли в элеваторах, усовершенствование аспирационных систем, сопоставление различных средств транспортировки сыпучих грузов с точки зрения энергозатрат и затрат на уменьшение выбросов пыли в окружающую среду. Предложены технические решения, позволяющие повысить эффективность пылеулавливающих систем.

При проектировании транспортных установок ставится задача наиболее рационального выбора машин, обеспечивающих наибольший технический эффект в работе производства. При этом определяются капитальные затраты, эксплуатационные расходы, служащие основным критерием при выборе оптимального варианта со следующими показателями: расход энергии, расход материалов на ремонт, число штатных единиц персонала, обслуживающих установку [1]. Однако вопросам безопасности, воздействия на окружающую среду уделяется мало внимания.

Механические элеваторы используют для непрерывного подъема грузов и делят на ковшовые, люльчатые и полочные. Преимущества механических элеваторов заключаются в сохранности транспортируемого материала, простоте конструкции, надежности при эксплуатации, возможности создания герметичного и звукоизолирующего кожуха, обеспечивающего охрану окружающей среды от шума. Недостатками являются большие габаритные размеры по сравнению с конвейерами сплошного волочения, износ и выход из строя ковшей при перемещении абразивных грузов, необходимость их аспирирования из-за больших перетоков пыли в подающий транспортер при подъеме дисперсных материалов.

Другим средством транспортирования являются пневматические элеваторы (эрлифты). Материал подается в загрузочную камеру, аэрируется и с высокой концентрацией транспортируется в приемник. Концентрация материала в транспортирующем воздухе составляет 200-600 кг/кг.

В рабочем здании элеватора размещают машины и механизмы для подъема зерна (нории), взвешивания, очистки, а также механизмы для перемещения и распределения зерна. Нория поднимает зерно на самый верх рабочего здания и сбрасывает его в лари, под которыми установлены ковшовые или автоматические весы. После взвешивания зерно попадает в подвесные лари или непосредственно на распределительный этаж, откуда самотеком по трубам направляется на очистку, сушку и хранение.

Движение ковшей создает завихрения воздуха в каналах нории, которое способствует

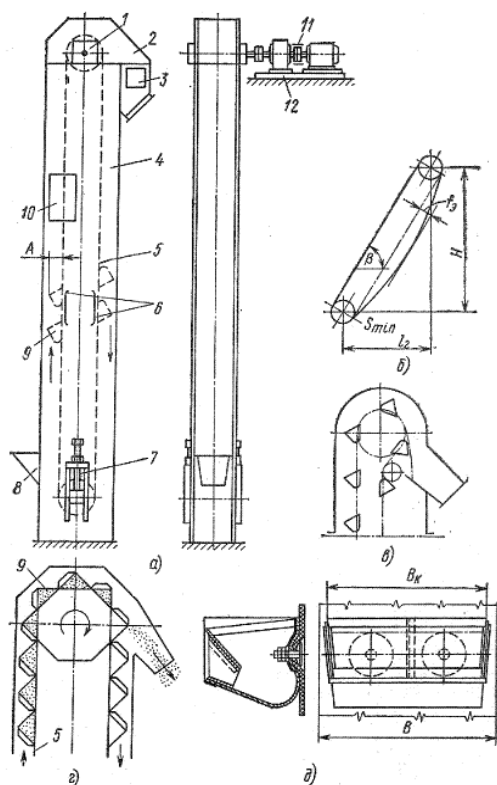


Рис. 1. Ковшовые элеваторы:

- 1 - барабан, 2 - головная часть, 3 - люк для ревизии, 4 - кожух 5 - тяговый орган, 6 - ковш, 7 - натяжное устройство, 8 - башмак, 9 - лента, 10 - люк, 11 - тормоз, 12 - привод.

повышенному диффузионному переносу пыли в объеме норрии, поэтому по высоте норрии формируется пылевой столб с концентрацией пыли, зависящей от содержания мелкой фракции в дисперсном материале, степени его электризации и распыления материала движущимися ковшами.



Рис. 2. Цемент улов, унос – увеличение 300.

циклона [2] с малым увеличением. Видно, что при малом увеличении проба уноса выглядит как совокупность агрегатов, а также, что крупные частицы на своих поверхностях содержат прилипшие мелкие частицы.

Таким образом, материал, выходящий из ковша, движется в виде струи или сгустками, мелкодисперсные материалы, транспортируемые норрией, могут разгружаться в головной части норрии, если отсутствует диспергация слоя материала, вышедшего из ковша, в процессе его полета к выгрузному патрубку. Однако диспергация присутствует и некоторая часть дисперсного материала в воздухе находится в виде индивидуальных мелких частиц.

Поскольку происходит непрерывное пополнение воздуха мелкими частицами, концентрация этих частиц в объеме норрии возрастает. Возрастает гидростатическое давление на подножье норрии, там, где находится загрузочный транспортер.

Движущийся материал, выброшенный из ковша, эжектирует окружающую запыленную среду в верхний разгрузочный транспортер. Поэтому, часть мелких частиц захватывается крупными частицам вместе с эжектируемым воздухом. Вопросам эжектирования воздуха в процессах пересыпки дисперсных материалов, движения его по желобам, при диспергации материала посвящена обширная литература [3].

Полагают, что количество эжектируемого воздуха определяется объемным расходом сыпучего, скоростью частиц, особенностями структуры потока. Известны эжекторные устройства для очистки газа, в которых напор создается распыленной жидкостью, эжектирующей очищаемый газ [4]. Анализ имеющихся исследований позволяет сделать вывод, что для крупных частиц (более 100 мкм) коэффициент эжекции, равный отношению объемного расхода воздуха к объемному расходу дисперсного материала  $k_э = Q_в/Q_м$ , находится в диапазоне 0,9–9.

Будем называть агломераты, которые попали в выгрузной патрубок также крупными частицами. Обозначим  $G_н$ – подачу норрии (кг/с),  $G_к$ –весовой расход крупных частиц, попавших в верхний транспортер (кг/с), плотность запыленного воздуха (плотность среды)  $\rho_c = \rho_в[1+(c_д/\rho_в)]$ , где  $c_д$  – концентрация частиц кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_в$  – плотность воздуха кг/м<sup>3</sup>. Объемный расход частиц определяется через весовой по формуле  $Q_к = G_к/\rho_д$ , где  $\rho_д$  – плотность частиц, количество мелкой пыли с воздухом, эжектируемой крупными частицами  $G_{с3} = Q_{с3}\rho_c = Q_{с3}\rho_в[1+(c_д/\rho_в)] = Q_кk_э\rho_в[1+(c_д/\rho_в)]$ . Подача норрии  $G_н = G_{с3}+G_к$ . Используя приведенные соотношения, получим

$$c_д = \left( \frac{G_н - G_к}{G_к k_э} \frac{\rho_д}{\rho_в} - 1 \right) \rho_в$$

$$\text{При } \frac{G_н - G_к}{G_к} = 0,02 \text{ и } \frac{\rho_д}{\rho_в} = 1000, \rho_в = 1,2 \text{ кг/м}^3, k_э = 5, c_д = 3,6 \text{ кг/м}^3$$

Давление пылевого столба на башмак норрии составляет величину  $P_{ст} = gHc_д$ . При высоте норрии 40 м давление составляет 1,4 кПа, что сопоставимо с сопротивлением аспирационной установки. При повышенном давлении пыль из башмака норрии поступает в загрузочный транспортер, распространяется по всей его длине и достигает начального пункта подачи материала. При отсутствии герметизации и аспирации пыль поступает в окружающую среду. Таким образом, нижняя часть норрии находится под высоким избыточным давлением.

В [5] проведена оценка существующих конструкций ковшовых подъемников в зависимости от их скоростного режима работы по такому показателю как расход энергии на транспортирование зерна. Для исследования были рассмотрены около 40 марок ковшовых

элеваторов, используемых для транспортирования материалов в вертикальном направлении. Результаты исследований представлены на рис. 3.

Из графика на рисунке 3 видно, что максимальные удельные энергетические затраты (более 7 Вт/т\*ч\*м.) наблюдаются у ковшовых элеваторов со скоростью движения ленты в пределах 1,0–1,5 м/с.

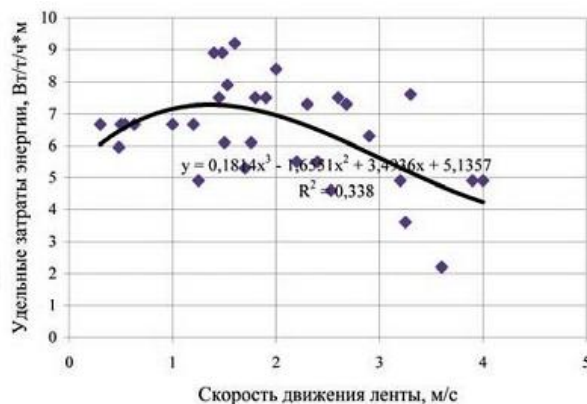


Рис. 3. Зависимость удельных энергетических затрат от скорости движения ленты при достоверности аппроксимации 0,338: у – удельные энергетические затраты, х – скорость ленты.

Нории, по сравнению с другими транспортирующими машинами, малоэнергоёмки. Однако, в зависимости от скорости транспортирования зерна, которая находится в пределах 0,5–4 м/с, мощность норий также будет

варьировать в широких пределах [5]. Мощность (кВт), определяется формулой

$$N = \frac{G_i H}{367\eta}$$

где  $G_i$  - производительность (т/ч),  $H$  - высота подъема (м), КПД нории 0,45-0,65.

Уменьшение или увеличение скорости движения ленты относительно указанного предела способствует снижению удельных энергетических затрат, причем в большей мере это относится к быстроходным элеваторам.

Таким образом, с целью снижения удельного расхода энергии на транспортирование зерна следует использовать быстроходные ковшовые элеваторы.

Полимерные ковши имеют ряд преимуществ, по сравнению с металлическими (в соответствии с ТУ 24.06.07.38-94):

- полностью обеспечивается взрывобезопасность: исключается возможность возникновения искры при задевании кромки ковша о норийную трубу;
- снижается расход электроэнергии на 15–20 %, механическая нагрузка на норийную ленту и привод нории, вследствие уменьшения массы ковша в 2–3 раза;
- практически не травмируется зерно и семена; исключается налипание трудносыпучих продуктов; обладают значительной прочностью: при ударах не теряют своей формы;
- электростатически искробезопасны;
- бесшумны в работе.

В [6] приводятся примеры оценки эффективности систем обеспыливания воздуха, которые применяются в элеваторных установках.

По итогам проделанной работы можно сделать следующие выводы:

1. Механические элеваторы ковшового типа являются наименее энергозатратными по сравнению с другими типами элеваторов. Однако их использование для транспортировки мелкодисперсных материалов требует эффективных систем аспирирования и возврата уловленной пыли в технологию.

2. Наиболее надежным средством транспортировки являются пневматические элеваторы. Количество воздуха, требуемого для перемещения материала приблизительно на порядок меньше количества воздуха, требуемого для аспирирования механических элеваторов. Однако затраты энергии на транспортировку в 2–3 раза выше.

3. Затраты на обеспыливание воздуха в пневматических элеваторах на порядок меньше по сравнению с механическими элеваторами.

#### Список используемой литературы:

1. Зенков Р.Л., Ивашков И.И., Колобов Л.Н. Машины непрерывного транспорта. – М.: Машиностроение, – 1980. – 304 с.
2. Василевский М.В., Романдин В.И., Разва А.С., Зыков Е.Г., Полюшко В.А. Влияние аутогезионных свойств тонкодисперсных материалов на характеристики фильтрующего слоя в

- пылеуловителе //Материалы семнадцатой Всеросс. науч.-техн. конференции "Энергетика: эффективность, надежность, безопасность." – Томск: Изд-во ТПУ, – 2011. С. 260 – 262.
3. Аэродинамические основы аспирации: Монография / И.Н.Логачев,К.И.Логачев. – Санкт-Петербург: Химиздат, – 2005. – □□659с.
  4. Справочник по пыле- и золоулавливанию // Под ред. М.И. Биргер, А.Ю. Вальдберг, Б.И. Мягков и др. Под общей ред. А.А. Русанова – 2 изд. М.: Энергоатомиздат, – 1983. – 312 с.
  5. <http://www.pole-news.ru/news-agro/news/tech-news/26-hi-tech/481-vliyanie-skorostnogo-rezhimara-boty-norij-na-ikh-moshchnostnye-pokazateli>.
  6. Василевский М.В. Обеспыливание газов инерционными аппаратами. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, – 2008. – 248 с.

УДК 621.928.9

**Метод определения характеристик слоя дисперсного материала на пористой фильтрующей перегородке**

**М.В. Василевский, В.И. Романдин\*, А.С. Разва, Е.Г. Зыков\*\*, В.А. Полюшко\***

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

*\*Томский государственный университет, г. Томск, Россия*

*\*\*ООО «Томсказоочистка», г. Томск, Россия*

**E-mail: [vasmix40@mail.ru](mailto:vasmix40@mail.ru)**

В процессе фильтрации газа через пористую перегородку осаждаемая пыль находится в агломерированном состоянии. Уплотнение слоя при накоплении частиц связано с переформированием агрегатов. Пористость слоя, расчетный диаметр частиц являются переменными величинами. В статье предлагается метод оценки характеристик слоя дисперсного материала на пористой перегородке.

В технике обеспыливания газов применяют разнообразные по свойствам фильтровальные перегородки. Для некоторых фильтровальных перегородок (ткани, волокнистые слои) характерна сжимаемость под воздействием разности давлений (толщина уменьшается, поры деформируются и уменьшаются). Частицы, увлекаемые потоком газа, попадают в различные условия. Частица может пройти через пору, задержаться в результате адгезии на поверхности от касания частицы при воздействии на нее инерционных сил при движении в искривленной поре. Структура осаждаемого слоя определяется гидродинамическими и физико-химическими факторами: пористость слоя, размер частиц, сферичность частиц, относительная влажность несущей среды, образование двойного электрического слоя на границе дисперсных материалов – перегородка, степень агломерации частиц, деформация агломератов с закупоркой пор [1, 2]. Способность к агрегированию сказывается на процессе фильтрования запыленных газов через пористую перегородку. В процессе фильтрования на перегородке образуется пористый пылевой слой, который под действием осаждающихся частиц претерпевает изменения. Средний размер и форма пор фильтровальных перегородок определяется размерами и формами элементов, из которых они изготовлены, а также технологией изготовления.

В зависимости от вида ткани допустимые значения удельной газовой нагрузки  $v_{\phi}$  [ $\text{м}^3/(\text{м}^2 \text{ мин})$ ] для разных пылей составляют: 0,6–1,2 – для хлопчатобумажной и шерстяной тканей; 0,5–1,0 – для синтетической; 0,3–0,9 – для стеклоткани.

Расчет рукавного тканевого фильтра сводится к определению общей поверхности фильтрования  $F_{\phi}$  и числа фильтров или секций. Расчетная поверхность фильтрования определяется по формуле

$$F_{\phi} = \frac{Q_{\Gamma} + Q_{\text{пр}} + Q_{\text{п.в}}}{v_{\phi}}$$

где  $Q_{\Gamma}$  – расход запыленного газа, поступающего в аппарат,  $\text{м}^3/\text{мин}$ ;  $Q_{\text{пр}} = (0,1-0,2)Q_{\Gamma}$  – расход продувочного воздуха,  $\text{м}^3/\text{мин}$  (меньшие значения принимают для синтетических тканей, чтобы предотвратить их переочистку);  $Q_{\text{п.в}}$  – расход подсазываемого в аппарат воздуха для снижения температуры,  $\text{м}^3/\text{мин}$ ;  $v_{\phi}$  – допускаемая удельная нагрузка тканевого фильтра по газу.

В общем виде сопротивление фильтра [3]

$$\Delta P_{\Sigma} = \mu(R_0 + R_{\tau})w, \quad (1)$$

где  $R_0 = r_0 h_0$  – сопротивление уравновешенного слоя (1/м),  $r_0 = k \frac{\varphi(1-\varepsilon)^2}{\varepsilon^3 \delta_0^2}$  – удельное

сопротивление (1/м<sup>2</sup>),  $h_0 = g_0 / \rho_n$  – толщина слоя (м),  $g_0$  – равновесная масса пыли в порах перегородки на единицу поверхности,  $\varphi = 1/\psi^2$ ,  $\psi$  – фактор формы – отношение поверхности шара к поверхности тела, имеющего тот же объем.  $R_\tau = r_0 h_\tau$ ,  $h_\tau = \frac{V_{\text{пт}}}{F_\phi} = \frac{C_0 w \tau}{\rho_\tau (1-\varepsilon)}$  – переменная толщина слоя

отфильтрованной пыли (м),  $V_{\text{пт}}$  – объем отфильтрованного слоя (м<sup>3</sup>),  $F_\phi$  – поверхность фильтра.

Однако пористость зависит от давления и расчетные формулы должны быть введены корректировки. В [3] приведен анализ способов определения удельного сопротивления осадка. По первому способу проводятся опыты по разделению исследуемой суспензии в заданных условиях на небольшом фильтре. Определяются расход, объем осадка, перепад давления, физические параметры воздуха. По этим данным определяется удельное сопротивление осадка. По второму способу удельное сопротивление определяется на предварительно сформированном на фильтре осадке. Результаты определения удельного сопротивления по способам обоих видов совпадают.

На рис. 1 представлена установка для определения уплотнения материала при фильтрации воздуха через слой дисперсного материала на фильтре. Площадь поперечного сечения сосудов  $S=344 \text{ см}^2$ , фиксированное изменение уровня при перетечке воды из верхнего бака в нижний  $h=1 \text{ см}$ ,  $H$  – разность уровней воды в системе (см), диаметр фильтра  $D_\phi=2,50 \text{ см}$ ,  $S_\phi=4,87 \text{ см}^2$ .

Скорость фильтрации при  $H=50-100 \text{ см}$   $v_\phi = \left( \frac{Sh}{t} \frac{P_H + B}{P_y + B} \right) / S_\phi$ , где  $P_H$  – давление

столба жидкости высотой  $H$ ,  $P_y$  – давление воздуха перед измерительным участком с дисперсным телом,  $B$  – барометрическое давление.

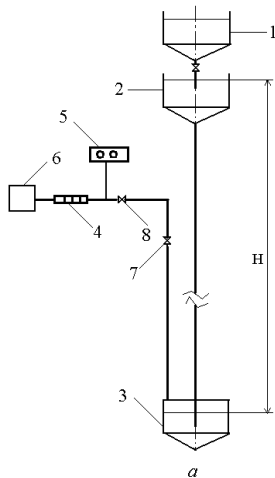


Рис. 1. 1, 2, 3 – сосуды;  
4 – исследуемый участок;  
5 – регистратор давления;  
6 – фильтр; 7 – дроссель; 8 – запорный вентиль.

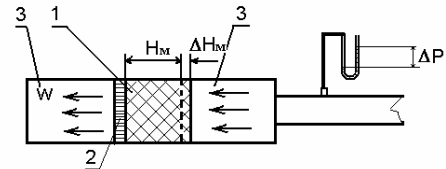


Рис. 2. Устройство для определения параметров дисперсного материала:  
1 – рабочая секция; 2 – фильтр;  
3 – вспомогательные секции.

1 кПа  $\approx 10 \text{ г/см}^2$ . Регистратор давления позволяет фиксировать минимальное и максимальное давления и время изменения давления на исследуемом участке.

Уплотнение материала характеризуется отклонением зависимости давления от скорости фильтрации воздуха от линейной.

**Уплотнение фильтрацией.** Микропорошок (корунд), цемент просеивают через сито с ячейкой  $1 \text{ мм}^2$  и порционно загружают в основной цилиндр, измеряют суммарную массу, вычисляют массу неуплотненного порошка и насыпную плотность. Объем цилиндра  $V_{\text{ц}}=23,5 \text{ см}^3$ ,

$\rho'_m = G'_m/V_{ц}$ . Масса цилиндра с фильтром  $G_{ц} = 31,0$  г. Вес материала в цилиндре равен разнице суммарного веса цилиндра с порошком и веса цилиндра:  $G'_m = G_{\Sigma} - G_{ц}$ . После уплотнения фильтрацией присоединяют второй цилиндр, добавляют порошок, снимают второй цилиндр, удаляют лишний слой порошка с первого цилиндра с образованием поверхности вровень с торцом. Цилиндры с порошком взвешиваются, определяется вес суммарной массы порошка в объеме цилиндра  $G''_m$ . Изменение объема материала после фильтрации  $\Delta V_m = \frac{G''_m - G'_m}{\rho'_m}$ . Опыты

проводились при постепенном повышении давления до заданного и при скачкообразном повышении давления. Определялась скорость фильтрации по времени изменения объема воды в верхнем бачке

$\Delta Q_H$ . В опытах величина  $\Delta Q_H$  равна  $344 \text{ см}^3$ . Данные опытов заносят в таблицу 1.

Каждая частица соприкасается с соседними частицами и с воздухом, протекающим через поры. Давление, оказываемое на частицу соседними частицами одинаково для всех слоев дисперсного тела, а давление воздуха меняется от слоя к слою. В этом случае  $\sigma_z$  – осевое напряжение, обусловленное взаимодействием частиц, будет равно перепаду давления на всем слое и постоянно по слою. Под действием давления форма агрегатов частиц изменяется таким образом, что пористость дисперсного тела  $\varepsilon$  уменьшается, а его сопротивление потоку воздуха возрастает. Отношение плотностей при таком методе определения может быть представлено как  $\rho''_m/\rho'_m = 1/(1-\Delta\varepsilon)$ . Оценки напряженного состояния дисперсного материала при уплотнении его плунжером рассмотрено в [4]. Изменение пористости в опытах [4]  $\Delta\varepsilon = (\rho''_m/\rho'_m) - 1$ . Сравнение данных отношения плотностей слоя частиц  $\rho''_m/\rho'_m$ , полученного уплотнением плунжером и фильтрацией, показывает, что это отношение в случае плунжера намного превышает значения при фильтрации. При уплотнении материала основное значение имеют контактные напряжения. Анализ показывает, что при уплотнении плунжером действующие контактные напряжения в скелете материала намного превышают расчетное напряжение по сечению. При уплотнении фильтрацией действующие контактные напряжения равны перепаду давления. В связи с этим требуется ввести поправки соответствия контактных напряжений при уплотнении плунжером и фильтрацией при одних и тех же давлениях.

Таблица 1. Изменение пористости в зависимости от скорости фильтрации

$$(\rho'_m = G'_m/V_{ц}, \Delta V_m = \frac{G''_m - G'_m}{\rho'_m}, \Delta\varepsilon = \Delta V_m/V_{ц})$$

М5						
$t$ с	$P$ кПа	$V_{ф}$ см/с	$\rho'_m$ г/см <sup>3</sup>	$\Delta V_m$ см <sup>3</sup>	$\Delta\varepsilon$	
128	2,5	0,55	0,74	2,44	0,104	
85	6,4	0,82	0,74	3,1	0,132	
51	9,6	1,38	0,75	3,73	0,16	
М14						
$t$ с	$P$ кПа	$V_{ф}$ см/с	$\rho'_m$ г/см <sup>3</sup>	$\Delta V_m$ см <sup>3</sup>	$\Delta\varepsilon$	
92	9,7	0,76	1,08	3,42	0,146	
98,5	6,7	0,7	1,1	2,9	0,124	
248	3,1	0,28	1,1	1,3	0,074	
цемент						
$t$ с	$P$ кПа	$V_{ф}$ см/с	$\rho'_m$ г/см <sup>3</sup>	$\Delta V_m$ см <sup>3</sup>	$\Delta\varepsilon$	
144	2,2	0,5	0,89	2,0	0,085	
84	5,2	0,83	0,89	2,25	0,096	
38,5	9,8	1,18	0,89	3,3	0,13	
М40						
$t$ с	$P$ кПа	$V_{ф}$ см/с	$\rho'_m$ г/см <sup>3</sup>	$\Delta V_m$ см <sup>3</sup>	$\Delta\varepsilon$	
26	9,2	2,69	2,04	0,047	0,0021	
64	3,5	1,08	2,04	0,042	0,0019	
225	1,35	0,38	2,04	0,041	0,0018	

Имеются различные соотношения, связывающие порозность с диаметром частиц. В [3] дан метод вычисления удельного сопротивления осадка, выраженного как  $r_0/(1-\varepsilon)$ . Для характерного размера частиц приведено соотношение  $r_0/(1-\varepsilon)=2300/\delta^2$ . В связи с тем, что удельное сопротивление осадка с увеличением содержания мелких частиц значительно возрастает даны соотношения  $r_0/(1-\varepsilon)=r_{cm} r_{cm} = (r_1/r_2)^{M_v} / [0,85(\delta_2/\delta_1)^2 + 0,5]$ , где  $r_1, r_2$  – удельные сопротивления осадков из



частиц с размерами  $\delta_1, \delta_2$  соответственно,  $M_v$ –доля тонкодисперсных частиц в смеси.

В [5] приведены данные при уплотнении апатита с высокой насыпной плотностью. Изменение плотности при давлении 100 кПа составило 6,5%. Изменение плотности корунда М40, согласно данным таблицы 1, составило 0,2%. Следовательно, слой из среднезернистых дисперсных материалов практически не меняет плотность при фильтрации. Удельное сопротивление является функцией пористости и удельной поверхности твердых частиц. Если рассматривать движение газа как ламинарное движение через систему сообщающихся пор, то можно использовать уравнение Гагена–Пуайзеля  $W = S_k \frac{\delta_3^2 \Delta P}{32 \mu h_{oc}}$ , где  $S_k$ –общая площадь

эффективного сечения пор на единицу площади фильтра,  $\delta_3$ –эквивалентный диаметр частиц.

$S_k \approx \varepsilon$ ,  $\delta_3 = \frac{4\varepsilon}{S_0(1-\varepsilon)}$ , где  $S_0$ –удельная поверхность твердых частиц осадка. Из уравнения Козени

–Кармана [3] получается соотношение  $S_0 = \sqrt{\frac{\varepsilon^2}{k(1-\varepsilon)^2} \frac{\Delta P}{\mu h_{oc} W}}$ .

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект №11–08–00059).

#### Список используемой литературы:

1. Справочник по пыле- и золоулавливанию //Под ред. М.И . Биргер, А.Ю. Вальдберг, Б.И. Мягков и др. Под общей ред. А.А. Русанова – 2 изд. – М.: Энергоатомиздат, – 1983. – 312 с.
2. Фильтры для улавливания промышленных пылей /М.Г. Мазус, А.Д. Мальгин, М.Л. Моргулис.– М.: Машиностроение, – 1985.– 240 с.
3. Жужиков В.А. Фильтрация: Теория и практика разделения суспензий. – М.: Химия, – 1980, – 400 с.
4. Василевский М.В., Некрасова К.В., Разва А.С., Зыков Е.Г. Оценка связности дисперсного материала из агрегированных частиц //Заводская лаборатория, – 2009, – т. 75, – № 5, с. 32 – 36.
5. Воронин В.Н., Егоров В.М. Экспериментальное исследование особенностей трения тонкодисперсных сыпучих материалов /Вопросы аэрогидромеханики и теплообмена.– Томск: Изд–во Томск. ун–та, – 1983. – С. 85 – 91.

УДК 544,772,3

#### Высокодисперсные капельные аэрозоли с заданными характеристиками

*Ишматов А.Н.\* , Елесин В.В.\*\* , Трубников А.А.\* , Огородников С.П.\*\**

*\*ИПХЭТ СО РАН, г. Бийск, Россия*

*\*\* ОАО «ФНПЦ «Алтай», г. Бийск, Россия*

*E-mail: ishmatoff@rambler.ru*

Решалась задача создания капельных аэрозолей заданной дисперсности. Проведена оценка возможности создания аэрозолей с частицами нанометрового диапазона.

#### Введение

Изучение принципов формирования аэрозолей имеет важное значение для создания систем эффективной нейтрализации токсичных аэрозолей и газов, создания автономных систем постановки аэрозольных завес для защиты от теплового излучения, систем подавления дыма в помещениях при эвакуации персонала во время пожара. Для описанных целей наиболее подходят высокодисперсные туманы. Важным является изучение эффективности туманов с различной дисперсностью капель и плотности.

В настоящей работе решается проблема создания капельных аэрозолей с заданными характеристиками для широкого круга научных задач.

#### Основная часть

Разработан прототип устройства для создания высокодисперсного тумана с регулируемыми характеристиками по размеру капель и массовому потоку. Суть устройства заключается в следующем. Аэрозоль, содержащий капли различных размеров, с определенной скоростью подается в канал в виде трубы («отсекатель»), закрученной по спирали вверх. При движении потока капель в канале за счет центробежных сил происходит сепарация, с осаждением крупных тяжелых капель на стенках канала с последующим сливом образовавшейся жидкости в приемник, расположенный в нижнем входном конце канала. Изменением параметров первоначального распыления, скорости потока, числа витков канала и угла закрутки регулируется степень

сепарации капель. Забор жидкости для распыления производится из приемника, расположенного в нижнем конце канала, тем самым производится повторное распыление жидкости, образовавшейся при осаждении на стенках канала крупных капель. Для эффективного «слива» жидкости стенки канала покрыты водоотталкивающим материалом. Численными методами 3-х мерной 2-х фазной газовой динамики проведено моделирование движения капельного потока через «отсекатель». Уравнения в форме Эйлера решались методом конечных объемов.

Уравнения сохранения импульса [1]:

$$\nabla \cdot (r_\alpha (\rho_\alpha \vec{U}_\alpha \times \vec{U}_\alpha)) = r_\alpha \nabla p_\alpha + \nabla \cdot r_\alpha \tau$$

Уравнение неразрывности

$$\nabla \cdot (r_\alpha \rho_\alpha \vec{U}_\alpha) = 0,$$

где  $\rho = \text{const}$  – плотность среды,  $r_\alpha$  – концентрация  $\alpha$  фазы,  $\alpha$  – фаза (жидкость или газ),  $\vec{U}$  – вектор скорости,  $p$  – парциальное давление,  $\tau$  – силы трения.

Начальные условия моделирования:

- расход воздуха: 180 л/мин;
- расход жидкости (вода): 200 г/мин;
- размеры капель: от 1 мкм до 100 мкм;
- все расчеты для стационарных условий течения;
- поток двухфазный, несжимаемый, равномерный;
- скорость движения на стенке «отсекателя» равна нулю (условие «прилипания» частиц);
- температура в потоке постоянная (293 К);
- испарение капель, диффузия газов, силы тяжести, силы Архимеда, взаимодействие капель, коагуляция не учитывались.

В результате расчетов для имеющихся условий распыления (см. ниже) выбраны оптимальные геометрические параметры конструкции для обеспечения получения на выходе капель с размерами до 10 мкм. На рис. 1 представлены результаты расчета степени осаждения капель на стенках «отсекателя». В экспериментальном исследовании использовался распылитель аэродинамического типа. Давление распыливающего газа составляло 0,4 МПа, расход воздуха 180 л/мин, расход распыливаемой жидкости 200 г/мин, дисперсность распыла приведена на рис. 2. Для измерения характеристик распыла применялась установка «Malvern Spraytec». Для стабилизации получаемых капель в воду добавляли глицерин, получали 20 % раствор, который применялся для распыления.

При пропускании получаемого аэрозоля через трубу-отсекатель на выходе получали сепарированный аэрозоль (рис. 2).

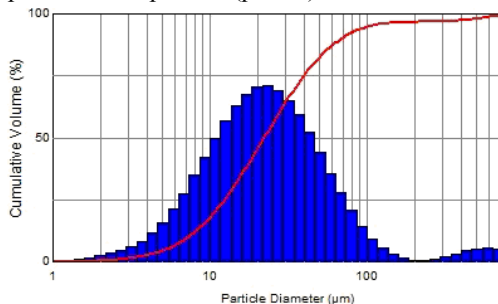


Рис. 2. Функция массового распределения капель в распыле

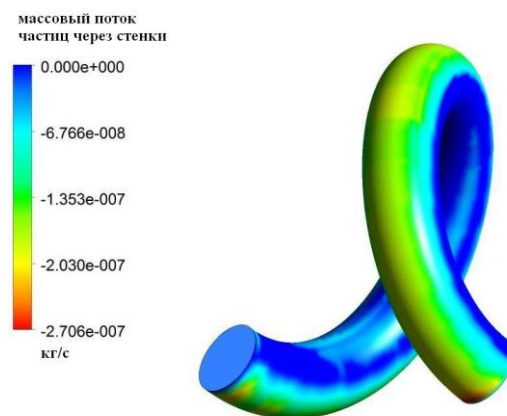


Рис. 1. Массовый поток капель через стенки трубы-отсекателя

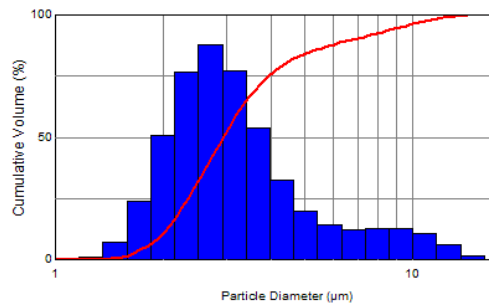


Рис. 3. Функция массового распределения капель на выходе трубы-отсекателя

Содержание капель до 10 мкм составляло 96 %, в первоначальном распыле процент капель до 10 мкм порядка 8 %. При этом коэффициент оптического пропускания среды для первоначального распыла равен 46 %, для получаемого на выходе отсекаателя – 87 %. Дополнительная настройка системы позволила получать, практически, монодисперсный аэрозоль с каплями до 3 мкм (рис. 4.).

На рис. 4 наличие «крупных частиц» (1 мм) объясняется случайным «пролетом» через отсекаатель отдельных капель, наличие которых в аэрозоле на фоне мелких капель значительно сказывается. Таким образом, отсекаатель позволяет сепарировать капли в распыле. С помощью регулировки системы можно регулировать степень сепарирования. Проведена серия экспериментов по изучению возможностей повышения производительности системы. Для этого через один отсекаатель пропускался аэрозоль, созданный группой

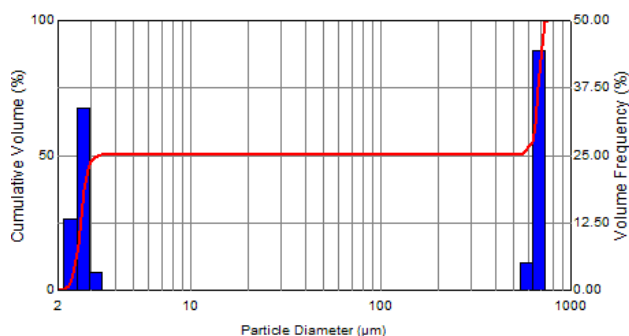


Рис. 4. Функция массового распределения капель на выходе трубы-отсекателя (тонкая настройка)

распылителей. Системы из двух распылителей позволяла получать капли до 10 мкм с производительностью 18-25 г/мин; система из четырех распылителей позволяла получать до 35 г/мин. При этом концентрация аэрозоля на выходе составляла порядка 100 г/м<sup>3</sup>.

Таким образом, была показана возможность создания аэрозолей с требуемыми характеристиками по концентрации и размерам капель. Для получения субмикронных и наноразмерных частиц предлагается экспериментальная методика по распылению растворов с содержанием неиспаряемой примеси [2, 3]. Методика построена по принципу получения тонкодисперсных порошков NaCl, полистирола, оксида железа и др., при распылении их растворов с легкоиспаряемым растворителем [4, 5, 6]. Оценка степени уменьшения аэрозольных частиц вследствие испарения определяется из условия равенства массового содержания неиспаряемой примеси в капле первоначального раствора и частицы после полного испарения растворителя:

$$m = \tilde{N}_m \rho_{\delta-\delta a} V_1 = \rho_1 V_2,$$

где  $m$  – масса примеси в капле раствора;  $\tilde{N}_m$  – относительная массовая концентрации примеси в растворе;  $\rho_{\delta-\delta a}$ ,  $\rho_1$  – плотность раствора и примеси в растворе, соответственно;  $V_1$ ,  $V_2$  – объем капли и примеси в ней, соответственно.

Выразив объем через диаметр сферы, получим уравнение для расчета диаметра конечной сферической частицы ( $D_2$ ), оставшейся после испарения растворителя из начальной капли диаметром ( $D_1$ ):

$$D_2 = D_1 \sqrt[3]{\tilde{N}_m \rho_{\delta-\delta a} / \rho_1} \tag{1}$$

Выражение (1) также позволяет оценить размер образуемых капель по известным конечным частицам. Данная особенность полезна, например, для исследования жидкокапельных аэрозолей методами электронной микроскопии пробоотборников с конечными частицами твердого вещества и в случае исследования наноразмерных аэрозольных частиц может быть единственно возможным способом измерения. Пример расчета для оценки изменения размеров капель при испарении раствора NaCl для различных концентраций с учетом изменения плотности раствора [7] приведен на рис. 1. Для NaCl  $\rho_1=2165$  кг/м<sup>3</sup>.

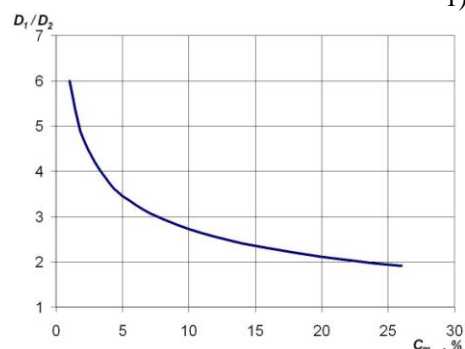


Рис. 5. Расчетный график изменения размеров конечных частиц в зависимости от массовой концентрации NaCl в распыливаемом растворе

Из рис. 5 следует, что путем изменения концентрации растворов можно получать аэрозоли с частицами заданных размеров, в том числе субмикронными и наноразмерными.

#### **Заключение**

В ходе выполнения работы разработан прототип устройства для создания высокодисперсного тумана с регулируемыми характеристиками по размеру капель и массовому потоку. С помощью моделирования процессов осаждения капель на стенках закрученного канала получены оптимальные параметры сепаратора (трубы-отсекателя). Показана возможность эффективного получения мелкодисперсной фракции капель заданной дисперсности.

*Работа выполнена при частичном финансировании по программе Минобрнауки РФ (ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России», соглашение № 8883) и гранту РФФИ (проект № 12-08-31282 мол\_а).*

#### **Список используемой литературы**

1. Соркин Р.Е. Газотермодинамика ракетных двигателей на твердом топливе. – М., 1967 г. – 368с.
2. Ишматов А.Н., Ворожцов Б.И. Метод исследования тонкодисперсного распыления жидкостей // Оптика атмосферы и океана. – 2012. – Т. 25, №7. – С.653-656.
3. Ишматов А.Н. Методика исследования жидкокапельных аэрозольных сред по солевого остатку, образованному при распылении растворов NaCl // Южно-Сибирский научный вестник. – 2012. – № 1. – С. 58-60.
4. Liu H. Science and Engineering of Droplets - Fundamentals and Applications. – William Andrew Publishing: Noyes, 2000. – 508 p.
5. Lefebvre A.H. Atomization and Sprays. – Hemisphere, New York, 1989. – 417 p.
6. Ишматов А.Н., Ворожцов Б.И. Исследование развития высокодисперсного аэрозоля жидкости с учетом влияния слабоиспаряемой примеси // Краткие сообщения по физике. ФИАН – Москва. – № 1 – 2010. – С. 22-27.
7. Иванов В.М., Семенов К.А., Прохорова Г.В., Симонов Е.Ф. Аналитическая химия натрия. – М.: Наука, 1986. – 245 с.

УДК 621.7.08

#### **Измерение дисперсности капель методом «солевого остатка»**

***А.Н. Ишматов, Б.И. Ворожцов, В.А. Архипов***

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки*

*Институт проблем химико-энергетических технологий*

*Сибирского отделения Российской академии наук, г. Бийск, Россия*

***E-mail: ishmatoff@rambler.ru***

В работе предложен метод исследования дисперсного состава капель в факеле распылителей, основанный на анализе частиц солевого остатка, сформированного в результате испарения капель при распылении модельных водных растворов NaCl.

#### **Введение**

Проведение экспериментальной отработки устройств тонкодисперсного распыления жидкостей и исследование процессов формирования жидкокапельных сред связаны со значительными трудностями ввиду малого времени существования мелкодисперсных испаряющихся капель. Оптические методы позволяют проводить измерения с малым временным шагом непосредственно в самом потоке. Основной является проблема использования этих методов в условиях повышенной плотности и нестационарности дисперсного потока [1, 2]. Также существует проблема выбора измерительной области в потоке, поскольку сложно оценить расстояние, на котором еще протекает стадия диспергирования; не исключена коагуляция капель и к тому же их форма может отличаться от сферической. В случае выбора заведомо большего расстояния результаты измерений будут отражать картину по истечении промежутка времени, за которое размер капель может измениться вследствие испарения. Проблему с испарением и аморфностью форм можно решить методами заморозки жидких капель: например, использовать метод «парафинового» моделирования [3]. Вместо жидкости распылять расплавленный парафин, свойства (плотность, вязкость, поверхностное натяжение) которого можно промоделировать в некоторых пределах, нагревая его до определенной температуры. Метод в своем роде уникален, поскольку позволяет оперировать не с выборочной пробой, а со всем множеством капель,

формирующихся при распылении. Из-за своей сложности повседневное применение метода ограничено, но он может считаться эталонным.

### Основная часть

Предлагается экспериментальный метод также позволяющий оперировать со всем ансамблем капель образующихся при распылении. Метод заключается в распылении раствора NaCl с последующим определением дисперсного состава капель по результатам исследования кристаллов соли, сформированных в результате испарения капель. Размер частиц сухого остатка напрямую связан с содержанием неиспаряемой примеси в капле, а дисперсный состав первичных капель определяется по формуле:

$$D_1 = D_2 \sqrt[3]{\tilde{N}_m \rho_d / \rho_{imp}}, \quad (1)$$

где  $D_1$  – диаметр начальной капли;  $D_2$  – эквивалентный диаметр конечной частицы;  $\rho_{imp}$  – плотность растворенного вещества;  $\tilde{N}_m$  – относительную массовая концентрация растворенного вещества в растворе;  $\rho_d$  – плотность капли. Уравнение (1) получено из условия равенства массы неиспаряемой примеси в капле раствора и массы частицы после полного испарения растворителя при выражении объема капли и конечной частицы через диаметры эквивалентных сфер.

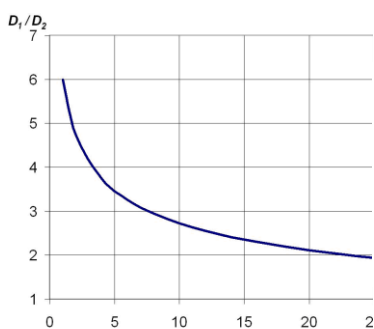
$$m_{imp} = m_2; \tilde{N}_m \rho_d \pi D_1^3 / 6 = \rho_{imp} \pi D_2^3 / 6, ,$$

где where  $m_{imp}$  – масса примеси в капле раствора,  $m_2$  – масса частицы солевого остатка.

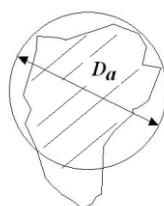
Выбор концентрации NaCl в растворе обусловлен с одной стороны относительно небольшим отличием размера капли и конечного кристалла сформированного при испарении, с другой – удаленностью от границы насыщения раствора. Пример расчета отношения размеров первоначальных капель к диаметру конечных частиц при испарении раствора NaCl различных концентраций приведен на рис. 1. Эквивалентный диаметр частицы используется в виду того, что форма частиц может отличаться от сферической и представляет собой диаметр эквивалентной сферы  $D_a$ , площадь которой равна площади проекции частицы (рис. 2). Для NaCl  $\rho_{imp} = 2165 \text{ kg/m}^3$ , в зависимости от ее содержания в растворе  $\rho_d$  находится из таблицы [4]:

**Таблица 2.** Плотность водных растворов NaCl

Параметр	Значение параметра									
$\tilde{N}_m, \%$	2	6	10	14	16	18	20	22	24	26
$\rho_d, \text{kg/m}^3$	1012	1041	1071	1101	1116	1132	1148	1164	1180	1197



**Рис 1.** Зависимость отношения  $D_1/D_2$  от концентрации раствора NaCl различных концентраций



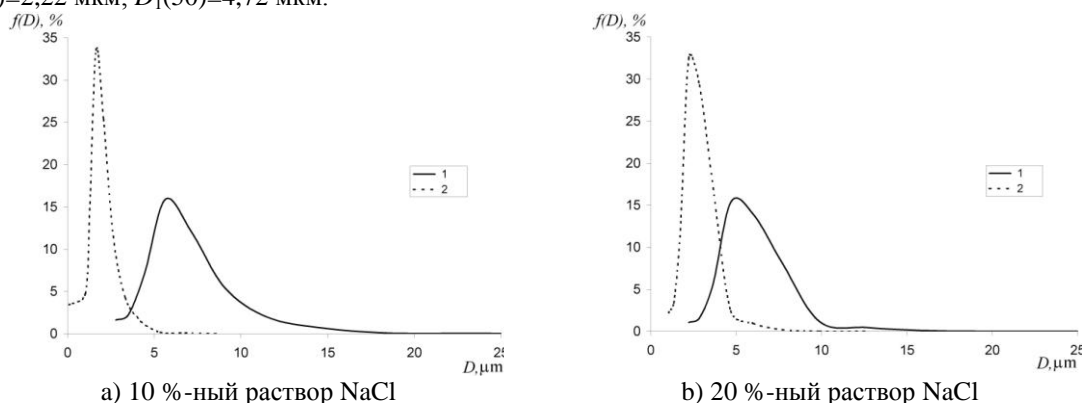
**Рис. 2.** Эквивалентный диаметр частицы солевого остатка

Метод «солевого остатка» по своей сущности близок к методу «парафинового» моделирования, не требует разработки сложных механизмов и специальной подготовки пробоотборников, допускает использование комплексного подхода (одновременное использование нескольких методов исследования), что особенно актуально для максимальной информативности измерений в одном эксперименте. Например, использование методов электронной микроскопии при исследовании капель затруднительно, а при исследовании частиц твердого остатка вполне возможно.

### Результаты и их обсуждение

Практическое применение методики для анализа дисперсности ультразвукового распыления на частотах 2,4 МГц показало, что в случае 10 %-ного модельного раствора (рис. 3а) средний размер частиц солевого остатка ( $D_2(50)$ ) составил 1,98 мкм, средний размер

восстановленных каплей ( $D_1(50)$ ) – 5,38 мкм, для случая 20 %-ного раствора (рис. 3б):  $D_2(50)=2,22$  мкм;  $D_1(50)=4,72$  мкм.



**Рис. 3.** Восстановление начальной функции распределения (1) по распределению частиц солевого остатка (2) при ультразвуковом распылении модельных растворов NaCl

Различное содержание NaCl в воде обуславливает отличие по вязкости ( $\mu_d$ ) и плотности раствора (10 %-ный раствор NaCl:  $\mu_d = 1,19$  Па·с;  $\rho_d = 1071$  кг/м<sup>3</sup>; 20 %-ный раствор NaCl:  $\mu_d = 1,56$  Па·с;  $\rho_d = 1148$  кг/м<sup>3</sup> [4]), этим объясняется (с учетом особенностей ультразвукового распыления [5]) смещение размеров каплей в сторону меньших значений при распылении 20 %-ного раствора. Описанный способ применялся также для исследования дисперсности импульсного распыления жидкостей устройствами на основе гидродинамической трубки с использованием высокоэнергетических материалов в качестве энергоносителя [6]. Метод распыления обусловлен скоротечностью процессов (менее 8 мс) формирования жидкокапельной среды и сложен для исследования. Методика «солевого остатка» по своей сути близка к методу «парафинового» моделирования и не требует разработки сложных механизмов и специальной подготовки пробоотборников, допускает использование комплексного подхода (одновременное использование нескольких методов исследования), что особенно актуально для максимальной информативности измерений в эксперименте.

#### Заключение

По результатам применения методики показано, что предложенный способ позволяет восстанавливать реальную функцию распределения начальных каплей по частицам их солевого остатка, также допускает использование комплекса методов исследования, что существенно увеличивает информативность измерений. При должном подходе по частицам солевого остатка возможно составить и описать особенности формирования дисперсной фазы в результате быстротечных процессов, когда прямые измерения развития дисперсного потока на начальных этапах невозможны ввиду его высокой плотности и скоростей выброса.

*Работа выполнена при частичном финансировании по программе Минобрнауки РФ (ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России», соглашение № 8883) и гранту РФФИ (проект № 12-08-31282 мол. а).*

#### Список используемой литературы

1. Boyaval S., Dumouchel C. Investigation on the Drop Size Distribution of Sprays Produced by a High-Pressure Swirl Injector. Measurements and Application of the Maximum Entropy Formalism // Particle & Particle Systems Characterization. 2001. Vol. 18. Issue 1. P. 33-49.
2. Ишматов А.Н., Ахмадеев И.Р., Ворожцов Б.И., Титов С.С., Кудряшова О.Б. Лазерная измерительная установка для исследования высококонцентрированных жидкокапельных аэрозолей // Датчики и системы. 2011. № 11. С. 61-63.
3. Пажи Д.Г. Основы техники распыливания жидкостей / Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии / Д. Г. Пажи, В.С. Галустов. – М.: Химия, 1984. – 256 с.
4. Иванов В.М., Семенов К.А., Прохорова Г.В., Симонов Е.Ф. Аналитическая химия натрия. М.: Наука, 1986. 245 с.
5. Хмельёв В.Н., Попова О.В. Многофункциональные ультразвуковые аппараты и их применение в условиях малых производств, сельском и домашнем хозяйстве: научная монография. Барнаул: изд. АлтГТУ, 1997. 160 с.

6. Ворожцов Б.И., Кудряшова О.Б., Ишматов А.Н., Ахмадеев И.Р., Сакович Г.В. Взрывная генерация высокодисперсных жидкокапельных аэрозолей и их эволюция // Инженерно-физический журнал. 2010. Т. 83, № 6. С. 1084-1104.

УДК 376.5

### **Формирование ключевых экологических компетенций методом проектов**

***О.В. Ротарь, А.В. Искрижицкая,***

*Томский политехнический университет, СШ №4, г. Томск, Россия*

*E-mail: rotarov@tpu.ru*

Показана возможность использования интерактивных методов в изучении основ экологии, способствующих формированию экологической культуры, мировоззрения и этики, а также в изучении иностранных языков.

Проблема качества образования и подготовки специалистов по-прежнему является первостепенной задачей в образовательной системе. Общим определением понятия «качество» может быть следующие: «качество – это степень соответствия ожиданиям», или «качество – это степень соответствия уровня образования и подготовки специалиста уровню согласованных требований по освоению той или иной программы, степень соответствия образовательному стандарту». Качество высшего образования - это сбалансированное соответствие образования и подготовки специалиста, как процесса и результата, потребностям личности, общества и государства. Конкурентоспособность выпускников вузов на рынке труда во многом зависит от его образованности, способности овладевать новыми технологиями, адаптироваться к изменяющимся условиям труда. Одним из ответов системы образования на этот запрос времени является идея компетентностно-ориентированного образования.

Под компетенцией понимается готовность специалиста эффективно мобилизовать внутренние и внешние ресурсы для достижения поставленной цели. В основу формирования компетенции личности ложится такой результат образования, как ключевые компетентности, выражающийся в овладении студентами определенным набором способов деятельности, в результате получает опыт интеграции различных результатов образования (знаний, умений, навыков, ценностей и т.д.), а значит, происходит осознание процесса управления своей деятельностью.

Достижение нового результата образования должно опираться на новые педагогические технологии. Базовой образовательной технологией, поддерживающей компетентностно-ориентированный подход в образовании, является метод проектов. Метод проектов нацелен на формирование способностей, обладая которыми, выпускник ВУЗа оказывается более приспособленным к жизни, умеющим адаптироваться к изменяющимся условиям, ориентироваться в разнообразных ситуациях, работать в различных коллективах, потому что «проектная деятельность является культурной формой деятельности, в которой возможно формирование способности к осуществлению ответственного выбора».

Метод проектов описывает комплекс действий студента и способы (техники) организации педагогом этих действий, то есть является педагогической технологией. Предлагаемый метод овладения новыми умениями и навыками является одним из немногих, который можно применить в любой форме обучения при выполнении различного рода проектов. Работая над своим проектом, студенты получают свободу действий, что даёт им возможность творчески мыслить, учит самостоятельности.

Тематика проектов может касаться какого-то теоретического вопроса школьной программы с целью углубить знания (по иностранному языку) отдельных учеников по этому вопросу, дифференцировать процесс обучения. Чаще, однако, темы проектов, особенно рекомендуемые органами образования, относятся к какому-то практическому вопросу, актуальному для практической жизни и вместе с тем, требующему привлечения знаний учащихся не по одному предмету, а из разных областей, их творческого мышления, исследовательских навыков. Современная ситуация, сложившаяся в отношении между обществом и окружающей средой, отличается сложностью и противоречивостью: с одной стороны – негативное воздействие на окружающую природную среду человека в виде возрастающего потребления природных ресурсов, с другой стороны – острота ситуации не учитывается. Как строить образовательный процесс, какие принципы должны быть положены в основу образовательной модели экологического обучения – это те проблемные вопросы, решение которых определяет

формирование конкретной модели и методов экологически образовательной деятельности учащихся. Необходим качественно новый подход к экологическому образованию и воспитанию, целью которого должно стать обучение осмысленному пониманию природы и бережному отношению к ней. Воспитать гармонически развитую, экологически подготовленную личность, которая была бы способна опираться на идеи коэволюции природы и общества, устойчивого развития биосферы – задача, стоящая перед педагогами.

Одной из форм обучения в настоящее время чаще всего обсуждается «проектирование» или «проектная деятельность». Данная форма обучения успешно внедрена нами в курсе преподавания общей экологии и основ экологии. Проектная деятельность (проектирование) – это выполнение учебного проекта для обобщения и интеграции знаний, полученных за весь период обучения; это организованная и целенаправленная деятельность, результатом которой является получение новой информации. Обучение на основе метода проектов состоит из нескольких этапов:

1. Определение темы, цели и задачи проекта, подбор участников проекта.
2. Творческий поиск идей решения задач проекта.
3. Получение ожидаемого результата и его оценка.

Созданный на базе Томского политехнического университета (кафедра технологии основного органического синтеза) и Центра допрофессионального образования учащихся «Планирование карьеры» химико-экологический профиль позволяет не только повысить уровень экологического образования и воспитания студентов и школьников, но также способствует вовлечению молодежи в решение экологических проблем региона. Нами разработана программа, в которой предлагаем модульную концепцию преподавания химии, считая, что главная её цель – раскрыть содержание химической науки и её методов, законов химии, которые помогают учащимся сквозь призму химических знаний здраво оценить экологическую ситуацию и найти выход из неё. Исходя из того, что существующей парадигмой образования является «познание мира», а студент или школьник рассматривается как объект воздействия, то мы рассматриваем учащихся как субъект воздействия, который может изменить мир. На передний план выдвигается идея саморазвития личности, для которой определяющими становятся морально-этические принципы. Экологическое образование в данном случае ориентировано на раскрытие потенциальных неповторимых способностей учащихся. Именно поэтому в созданном блоке «Школа- ВУЗ - Профессиональная деятельность» создана такая модель образования, в основе которой лежит естественно - научная предметная интеграция и теория преобразующей практики.

На кафедре технологии органических веществ и полимерных материалов (ТОВПМ) школьники принимают непосредственное участие в научно-исследовательской деятельности вместе со студентами. Профиль работает уже несколько лет. Результатом работы является выполнение следующих проектов:

1. Утилизация отходов коксохимического сырья
2. Получение фоточувствительного материала
3. Изучение адгезии полимеров к металлам (на примере металлических труб для городского водоснабжения)
4. Утилизация отходов производства ДСП
5. Очистка почвы от нефтепродуктов
6. Очистка почвы от пестицидов

В результате выполнения проекта у учащихся развивается креативность мышления – ряд мыслительных качеств, благодаря которым возможно осуществление творческого процесса. В числе креативного ряда качеств можно отметить: открытость опыту, наблюдательность, чувствительность к новым проблемам, самостоятельность, необычность, нестандартность.

Приобщение школьников к научной школе играет в процессе экологического образования огромную роль, поскольку является предпосылкой осуществления идеи непрерывности в развитии образовательно-научных традиций.

В процессе ассимиляции молодежи с научно-исследовательской работой происходит освоение исследовательских ориентиров, усвоение исследовательского и методологического аппарата. Особенностью научной школы является непосредственная связь между школьниками, учащимися и руководителем, который в качестве средств обучения выбирает диалог, а исследовательский поиск включает неформальные компоненты, способствующие творческому развитию личности.

Результаты исследований ежегодно успешно докладываются на Всероссийском конкурсе исследовательских работ имени В.И.Вернадского и подтверждаются дипломами.



Учащиеся вместе со студентами принимают активное участие в региональных научно-исследовательских конференциях (г. Томск, г. Красноярск, г. Новоуральск), а также в Областной научно-практической конференции («Сибирские Афины: вчера, сегодня, завтра»).

#### **Список используемой литературы:**

1. Ротарь О.В. Метод проектов как способ развития экологического образования Журн. Современные наукоемкие технологии, Москва, 2004, - №11. – С. 97-97.
2. Ротарь О.В., Сутягин В.М. Формирование и развитие творческого потенциала учащихся при изучении основ экологии. Журн. Успехи современного естествознания Москва, 2004, - №12. – с 96 – 97.
3. Ротарь О.В., Искрижицкий А.А. Метод проектов как способ развития экологического образования. Сообщение 2. Журн. Успехи современного естествознания, Москва, 2005. №1. – с.29 – 30.
4. Ротарь О.В. Искрижицкий А.А. Роль химико-экологического профиля в формировании экологического мировоззрения Организации предпрофильной подготовки и профильного обучения: Сборник материалов Международной научно – практической конф. Новокузнецк, 2005. – с. 48 – 49.
5. Ротарь О.В. Научная деятельность учащихся в рамках НОУ Научная деятельность учащихся в рамках Формирование инновационной модели развития системы воспитания в образовательных учреждениях НПО: Международная научно – практическая конф. –Томск, 2005. -. 33-35.
6. Величко А.В., Митин О.В., Ротарь О.В. Экологическое образование как форма гармонизации отношений .Модернизация российского образования. Сборник научных трудов, Санкт – Петербург, 2005. – т. -№1. – с.54 – 57.
7. Ротарь О.В. Мыслить глобально – действовать локально Итоги работы Дома техники НПО. Информационно – методический бюллетень, Томск, 2006,№1, с.28 -29.
8. Ротарь О.В., Величко А.В., Искрижицкий А.А. Предметная интеграция в довузовской подготовке Химико – экологического профиля. Международная научно – практическая конференция. Инновационные технологии в техническом ВУЗе: на пути к новому качеству. – Пенза, 23 -28 марта.2006, - с.123 – 124.
9. Ротарь О.В. Некоторые методологические подходы к экологическому образованию. Региональная научно – практическая конференция «Непрерывное экологическое образование: проблемы, опыт, перспективы».-Томск 2- 4 ноября 2006,-с.4-5. 2. Коробин В.И., Передельский Л.В. Экология. – Ростов н/Д.: «Феникс», 2001.-576с.

#### **Сообщества коловраток в водоёмах Каргасокского района**

***В.В. Шмырина***

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

***E-mail: [shv@sibmail.com](mailto:shv@sibmail.com)***

Исследовано 4 водных объекта Каргасокского района. Рассмотрена динамика численности сообществ и видовое разнообразие коловраток. Выявлена зависимость видового разнообразия коловраток от степени загрязнённости водоёмов.

По территории Томской области антропогенная нагрузка распределена неравномерно, и наибольшее загрязнение отмечается в местах размещения предприятий нефтедобывающей отрасли: в Каргасокском, Парабельском, Александровском районах. Основанная масса выбросов от нефтеперерабатывающих заводов приходится на Каргасокский район. В Каргасокском районе основой промышленного производства является нефтегазодобывающая отрасль, актуальными вопросами являются разработка и совершенствование методов оценки качества природных вод. На основе динамики численности различных групп гидробионтов сделано заключение, что оптимальной группой для анализа и контроля загрязнения вод является микрзоопланктон (Кренева, 1992). Коловратки представляют основную биомассу зоопланктона, для них характерен короткий жизненный цикл, колебания численности при изменениях условий обитания: трофические и токсические факторы. Доказано, что многие виды гидробионтов используются в качестве индикаторов загрязнённости водоёмов (Кутикова, 1970, 1984) [1-5,9,10].

Коловратки (*Rotatoria*) - класс первично - полостных червей (тип *Nemathelminthes*), принадлежат к микроскопическим организмам (Кутикова, 1970, 1985). Размеры их не превышают

2,5 мм, но чаще колеблются в пределах от 100 до 300 мкм, существуют и более мелкие формы. Тело коловратки подразделяется на головной отдел, туловище и хвостовой отдел, или ногу. Головной отдел снабжен чувствительными щетинками и 1-2 пигментированными глазками. В процессе эволюции у коловраток выработались приспособления к различным условиям существования. Они входят в состав пресноводного планктона, перифитона, бентоса, населяют влажный мох и почву. Целью работы являлось изучение родового разнообразия коловраток в озёрах Каргасокского района [3,5,6,7].

#### Методы исследования

Сбор коловраток осуществлялся стандартными гидробиологическими методами из 4 озёр Каргасокского района. Изучение населения конкретного биотопа включает отбор образцов, извлечение организмов из воды, определение вида и численности. Пробы микрозоопланктона отбирались прозрачными бутылками методом водозачерпывания от дна до поверхности воды. Все пробы одного водоема объединяются и обрабатываются как одна проба. Материал в живом виде доставляется в лабораторию без фиксации формалином, как положено в общепринятых методиках, фиксация 4% формалином приводит к деформации беспанцирных коловраток. Пробы просматриваются в первые часы после взятия. Обработка зоопланктона проводилась в лабораторных условиях по общепринятой методике. Пробы коловраток обрабатывались камерным методом счета в камере Богорова в 5 повторностях под световыми микроскопом «Биомед 70». Проводилась видовая оценка численности коловраток. При необходимости, коловратку при помощи пипетки отсаживала на предметное стекло, помещала в каплю глицерина и исследовала под микроскопом. Первоначально просмотр проводился при малом увеличении микроскопа; после выбора объекта наблюдения используются большие увеличения. Идентификацию коловраток производила до рода по определителям [5,7,8].

При определении панцирных коловраток выясняют наличия панциря, формы, в каком направлении он сплюснен, целый он или составлен из пластинок. Для определения беспанцирных коловраток используется характерный морфологический тип челюстного аппарата [8].

#### Результаты и их обсуждение

С 26 июня 2012 года по 20 августа 2012 года исследовано 4 водных объекта Каргасокского района Томской области: Объект А-искусственный водоем-пруд, созданный в целях разведения рыбы. Объект Б-искусственный водоем-пруд, который загрязнён бытовыми и хозяйственными отходами. Объект В -боковая канава, кювет, проходящей вдоль дороги одной из улиц с. Каргасок, с автозаправкой. Объект Г-р. Исаевка, расположенная вблизи завода ООО «Томскнефтегазпереработка» с автотрассой, нефтепроводом и ЛЭП.

В исследованных объектах обнаружены коловратки следующих родов: *Lecane*, *Polyarthra*, *Cephalodella*, *Conochilus*, *Trichocerca*, *Colurella*, *Brachionus*, *Philodina*.

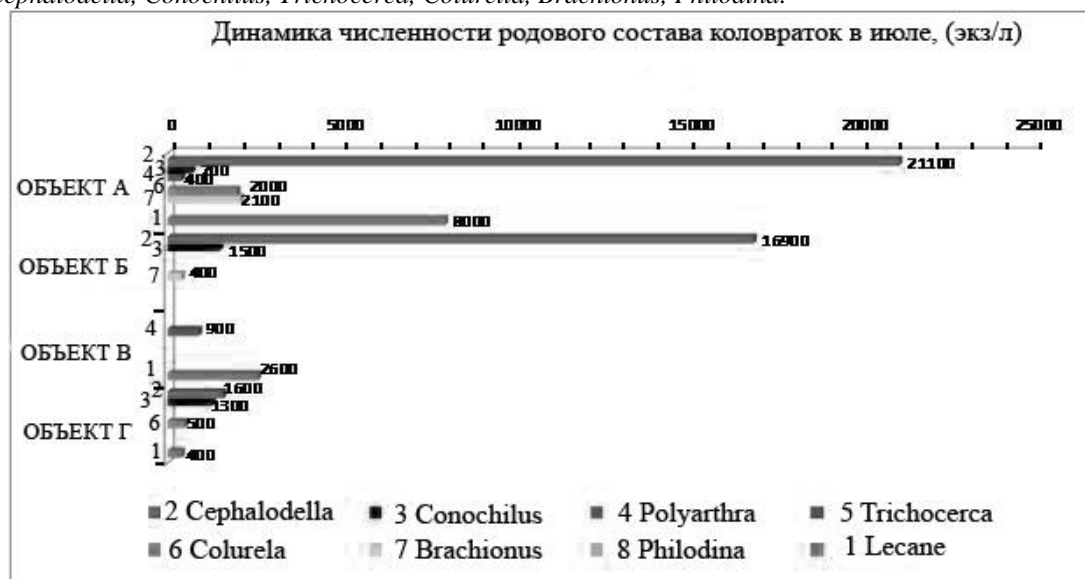


Рис. 1. Динамика численности родового состава коловраток в июле, (экз/л).

На протяжении всего исследования подсчитывалось количество коловраток в 10 мл каждой взятой пробы с пересчётом на 1 литр. Составлялась таблицы за июль, август, в которых отмечалось количество коловраток по каждому объекту. На основании составленных таблиц

построена диаграмма, отображающая динамику численности родового состава коловраток за июль, август в исследуемых водоёмах Каргасокского района.

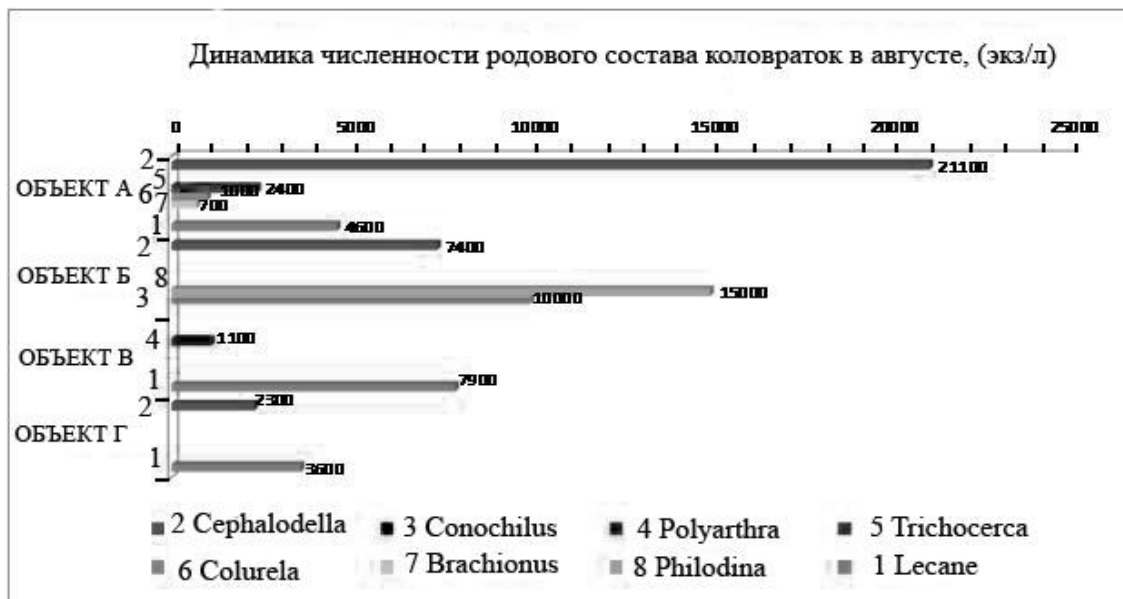


Рис. 2. Динамика численности родового состава коловраток в августе, (экз/л)

Анализ среднестатистических результатов, представленных на Рис.1,2 позволяет заметить, что для всех объектов характерно дифференцированное количество и представительство родов в сообществе коловраток. Максимальное количество видов встречается в объекте А, который относится к самым чистым водоёмам. На протяжении всего исследования доминирующим является род *Cephalodella*. В августе встречается род *Trichocerca* в 2х объектах: А и В. В небольших количествах представлен род *Polyarthra*. В объекте Б при разнообразной кормовой базе в виде бактерий, детрита и водорослей встречается расширенное разнообразие сообщества коловраток. Преобладающим родом в июле является *Cephalodella*, в августе- *Philodina*, который наблюдался в исследованном водоёме. В объекте В встречается всего 2 рода коловраток: род *Lecane* и род *Polyarthra*. В Объекте Г численность коловраток невысокая в сравнении с другими объектами. В июле встречаются: *Cephalodella*, *Conochilus*, *Colurella*, *Lecane*, в августе- *Cephalodella*, *Lecane*.

Сообщества коловраток, исследованных водоёмов представлены разной численностью и родовым составом. В искусственном водоёме, созданном в целях разведения рыбы, встречается максимальное количество видов коловраток. В канаве- кювете, проходящей вдоль дороги одной из улиц с. Каргаска наблюдается снижение численности и видового разнообразия беспозвоночных. В р. Исаевка, расположенной вблизи завода ООО «Томскнефтегазпереработка», рядом расположены автотрасса, нефтепровод и ЛЭП численность и родовой состав представлены в наименьшем количестве. Следовательно, численность и количество родов коловраток существенно зависят от уровня техногенной нагрузки, что является биоиндикатором степени деградации биоценозов водоёмов.

#### Список используемой литературы:

1. Карташев А.Г., Ковальская М.В. Влияние нефтезагрязнений на коловраток. Сибирский экологический журнал, № 4 (2012) С. 505-510.
2. Кухарская Е.В., Долгин В.Н. Распределение зоопланктона в болотных экосистемах бассейна среднего течения р. Чулым // Вестник Томского государственного университета, 2009а. № 3, Вып. 3 (81) С. 70–77.
3. Кухарская Е.В., Долгин В.Н. Зоопланктон бассейна р. Чулым // Вестник Томского государственного университета, 2009б. № 6, Вып. 6 (84) С. 141–147.
4. Кухарская Е.В., Долгин В.Н. Итоги изучения зоопланктона бассейна реки Чулым. Вестник Томского государственного университета, 2011. Вып. 5 (107) С. 77–83.
5. Кутикова Л. А. Коловратки фауны СССР (Rotatoria). Л. : Наука, 1970. 744 с.
6. Киселев И.А. Планктон морей и континентальных водоёмов// Наука.1969.- 663 с.

7. Коловратки фауны СССР (Rotatoria). Определитель. 104. Л. «Наука»: 1970 г., 744 с.;
8. Определитель пресноводных беспозвоночных европейской части СССР, Л. «Гидрометеиздат», 1977 г., 512 с.
9. <http://www.kargasok.ru/>
10. <http://www.parabel.tomsk.ru/news-602.html>

УДК 544.478

## Влияние добавки оксида марганца (IV) на процесс горения отходов деревообработки

*М.В. Жданова*

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

*E-mail: marina.zhdanova@mail.ru*

Показано действие добавки оксида марганца (IV) на процесс горения березовых опилок в воздухе. Установлено, что в присутствии добавки диоксида марганца тепловой эффект увеличивается на 7 – 12 %, а скорость окисления (горения) возрастает максимально в 14 раз. Каталитическое действие добавки связано со снижением энергии активации окисления древесных опилок.

Использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ) является эффективным способом экономии и частичного замещения углеводородного топлива. Одним из видов ВЭИ является получение энергии из биомассы. В качестве биомассы могут быть использованы отходы лесозаготовок и лесопереработки [1]. Их сжигание обычным способом имеет следующие недостатки: образуются вредные газообразные продукты, низкий тепловой эффект сгорания отходов деревообработки. Для того чтобы данный процесс был более энергоэффективным, его можно перевести в низкотемпературный режим горения с помощью введения различных добавок ряда неорганических веществ. Это позволит с одной стороны увеличить тепловой эффект от сгорания отходов деревообработки, с другой снизить содержание вредных газообразных примесей.

**Целью** данной работы являлось установление оптимального количества добавки оксида марганца (IV), позволяющей достичь увеличения теплового эффекта сгорания отходов деревообработки, а так же снизить содержание вредных газообразных продуктов сгорания.

### 1. Материалы и методы их исследования

В качестве отходов деревообработки были выбраны березовые опилки, так как они не содержат большого количества смолистых веществ, которые дают разброс данных при проведении эксперимента. Исследованные в работе образцы представляют собой смеси березовых опилок с добавкой оксида марганца (IV). Размер частиц составлял не более 1 мм. Опилки смешивали в сухом виде с оксидом марганца. Масса анализируемой навески составляла около 10 мг, катализатор добавляли сверх 100%. Анализ смеси проводили с помощью термоанализатора Q600 STD, совмещенного с масс-спектрометром. Нагрев со скоростью 10°/мин проводили в атмосфере воздуха с отбором газообразных продуктов горения и их анализом с помощью масс-спектрометра. Диапазон регистрируемых масс составлял от 2 до 60 а.е.м.

### 2. Экспериментальные результаты

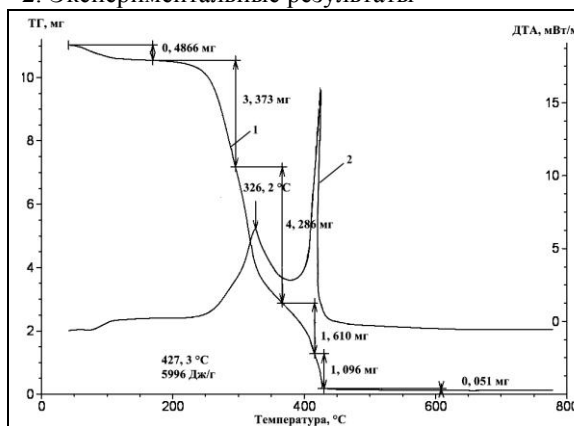


Рис. 1. Термограмма березовых опилок без добавок

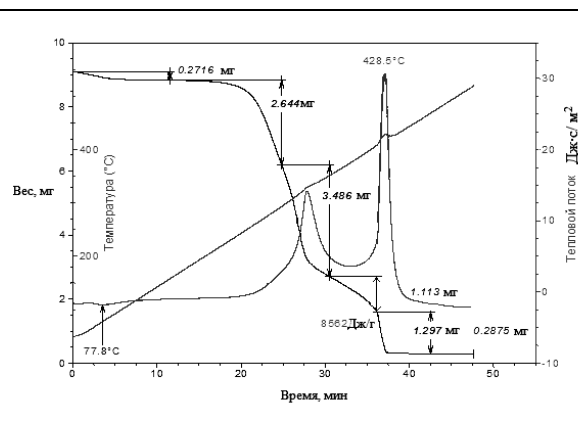


Рис. 2. Термограмма опилок с добавкой MnO<sub>2</sub> (4 мас. %)

Для определения параметров активности исследуемых смесей использовались следующие характеристики образцов: температура начала окисления ( $T_{\text{н}}$ , °C), максимальная скорость окисления ( $v_{\text{ок}}$ , мг/с); твердый остаток (в %), тепловой эффект химической реакции ( $\Delta H$ , Дж/г) (табл. 1) [2].

Таблица 1. Параметры химической активности горения смеси опилок с оксидом марганца (IV).

№ п/п	Добавка катализатора, мас. %	$T_{\text{н}}$ , °C	$v_{\text{ок}}$ , мг/с	Относительная скорость окисления, отн.ед	$\Delta H$ , Дж/г *	Относительный тепловой эффект, отн.ед	Масса твердого остатка, %
1	0,00	188,00	0,0046	1,00	6612,40	1,00	0,46
2	2,00	195,00	0,0312	6,78	7070,76	1,07	2,76
3	4,00	210,00	0,0259	5,63	7452,36	1,13	3,16
4	8,00	210,00	0,0440	9,56	7427,75	1,12	3,90
5	16,00	210,00	0,0650	14,13	7064,97	1,07	7,91

\* Тепловой эффект приведен к массе, равной 10 мг

### 3. Обсуждение результатов

Исходя из полученных данных, смесь березовых опилок и диоксида марганца окисляются с повышением температуры температуры на 5...15 °C. Максимальная скорость горения соответствовала содержанию катализатора и в эксперименте возрастала в 14 раз. Тепловой эффект также возрастал, он проходит через максимум при содержании в смеси 4 мас. % добавки оксида марганца (IV). Дальнейшее увеличение добавки катализатора способствовало снижению теплового эффекта (табл. 1). Количество твердого остатка повышалось, это связано с увеличением содержания катализатора в смеси.

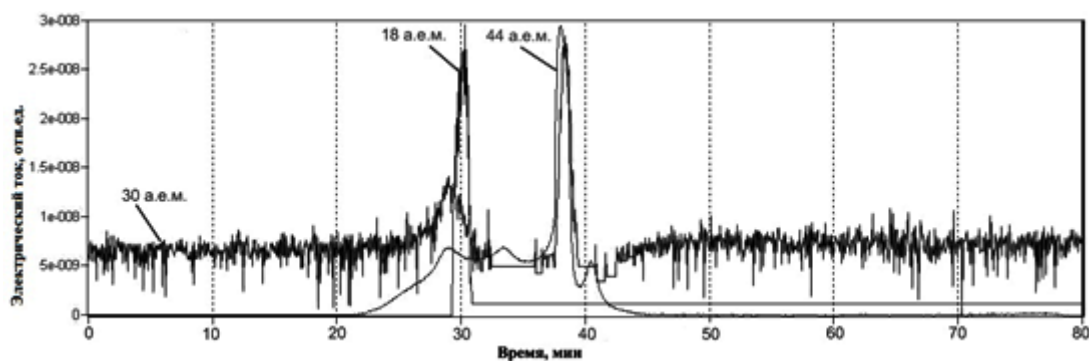


Рис. 3. Масс-спектр газообразных продуктов горения опилок без добавок

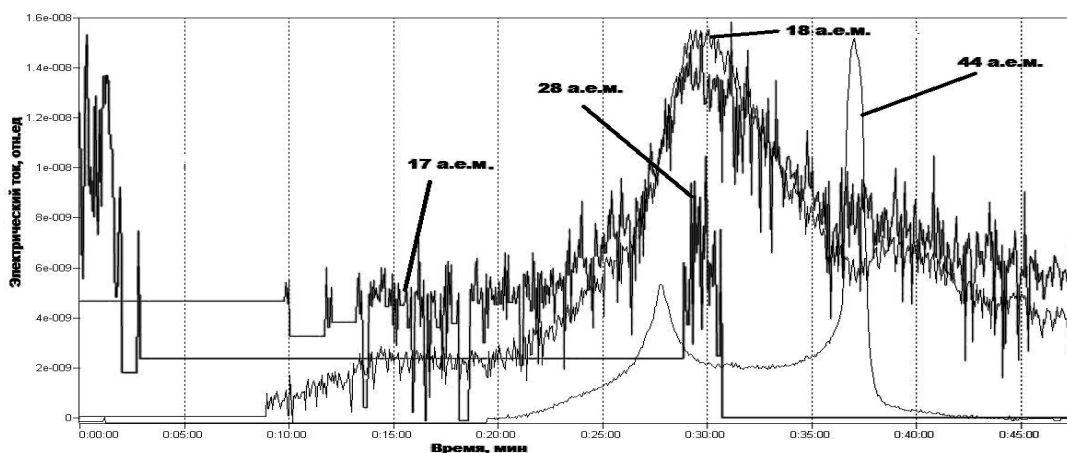


Рис.4. Масс-спектр газообразных продуктов горения опилок с добавкой  $\text{MnO}_2$  4 мас. %

Параллельно с термическим анализом производили отбор газообразных продуктов горения на анализ в масс-спектрометре. Согласно полученным результатам, при сжигании опилок без добавок наблюдалась эмиссия  $\text{H}_2\text{O}^+$  при температуре 325°C, максимальная эмиссия  $\text{CO}_2^+$  при 388°C, предположительно  $\text{CH}_2\text{O}^+$  при температуре 312°C.

При сжигании опилок с добавкой  $\text{MnO}_2$  в количестве 4 мас. % наблюдалась эмиссия  $\text{CO}_2^+$ , которая достигала максимума при температуре 350 °C,  $\text{H}_2\text{O}^+$ ,  $\text{OH}^+$  и  $\text{CO}^+$  при 325°C.

**Выводы**

1. Добавка диоксида марганца, при ее содержании 4 мас. %, повышает тепловой эффект сгорания древесных опилок на 13 %. При большем содержании тепловой эффект снижается.
2. Максимальная скорость горения опилок растет с увеличением добавки диоксида марганца, и при максимальном содержании – возрастала в 14 раз.
3. При нагревании древесных опилок без добавок в масс-спектре обнаруживаются ионы  $\text{H}_2\text{O}^+$  (18 а.е.м.),  $\text{CO}_2^+$  (44 а.е.м.) и формальдегид  $\text{CH}_2\text{O}^+$  (30 а.е.м.), в то же время в присутствии диоксида марганца (4 мас.%) в масс- спектре обнаружены  $\text{CO}_2^+$ ,  $\text{H}_2\text{O}^+$ ,  $\text{OH}^+$  и продукт с массой 28 а.е.м. ( $\text{N}_2^+$  или  $\text{CO}^+$ ).

#### **Список используемой литературы:**

1. Занегин Л. А. Биомасса древесины и биоэнергетика: Монография / Л.А. Занегин, И.В. Воскобойников, В.А. Кондратюк, В.М. Щелоков – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2008. – Т. 1. – 428 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.

### **Водолазное обследование подводной части гидротехнических сооружений как элемент обеспечения безопасной эксплуатации опасного промышленного объекта**

*Л.А. Торгашов*

*директор Северского филиала ФГУП АТЦ СПб, г. Северск, Россия*

Излагается методика проведения водолазного визуально-инструментального обследования гидротехнических сооружений.

Гидротехнические сооружения (ГТС) объектов промышленности и энергетики напрямую или опосредованно задействованы в технологическом цикле опасных производственных объектов и представляют особую опасность для людей и окружающей среды, так как являются при авариях не только источниками гидродинамического воздействия, но источниками загрязнения поверхностных и подземных вод, территорий и воздушного бассейна. Аварии на гидротехнических сооружениях являются одними из самых опасных по последствиям и скоротечности.

В этих условиях существенно возрастает значение своевременного и качественного обследования подводной части ГТС для обоснования продления срока их безопасной эксплуатации и как элемент Декларирования безопасности ГТС.

В основу предлагаемой методики обследования подводной части ГТС положены общие подходы к проведению обследования подводной части ГТС [4, 5], а также многолетний опыт организации и проведения водолазного визуального и приборно-инструментального обследования подводной части отечественных ГТС.

#### **1. Общие требования при обследовании подводных частей ГТС**

1.1. Работы по обследованию начинаются с разработки Программы обследования (ПО) и согласования ее с заказчиком.

1.2. Обследование подводной части ГТС производится с соблюдением требований безопасности труда [3] следующими направлениями методик:

**1) визуальный** (водолазное обследование с использованием фото- и видеосъемки) производится выявление поверхностной коррозии, обрастания конструкций, трещин, и других видов разрушений бетонных конструкций, размывов грунтовых оснований, оползневых явлений на откосах, накопление иловых отложений и посторонних предметов на дне сооружений, при отсутствии прямого безопасного доступа водолаза к обследуемому объекту следует применять телеуправляемые подводные аппараты;

**2) приборно-инструментальный** (обследование дна и откосов гидролокатором) производится контроль поверхности дна, определение месторасположения посторонних предметов на дне; при общем удовлетворительном состоянии конструкций производится

исследование прочности бетона выборочно (не менее чем у 10 % конструкций) неразрушающими методами контроля с использованием ультразвуковых и ударно-импульсных приборов.

### 1.3. Использование водолазного снаряжения и оборудования

На основе опыта проведения обследований установлено, что использование вентилируемого водолазного снаряжения в значительной степени затрудняет проведение обследования в связи с созданием повышенной мутности воды, что характерно для водных объектов с малыми скоростями течения и высокой заиленностью дна. Наиболее удобным для использования является легководолазное снаряжение с открытой схемой дыхания, позволяющее длительное время находиться в воде, не касаясь дна водоема и не создавая дополнительную мутность воды.

В случае невозможности прямого безопасного доступа водолаза к обследуемому объекту необходимо применять телеуправляемые подводные аппараты (ТПА), оборудованные видеокамерами и приборами измерения.

## 2. Методика обследования

2.1. Методика обследования подводной части ГТС зависит от их конструктивных характеристик, в значительной степени определяющих условия эксплуатации.

2.2. Перед началом обследования каждого объекта, задействованный на обследовании персонал (инженер-гидротехник, водолазный специалист, водолазы и т.д.), детально изучают документацию по обследуемому объекту:

- проектно-исполнительную документацию;
- материалы предыдущих обследований и наблюдений за сооружениями в период его эксплуатации;
- эксплуатационную документацию.

2.3. Полученные результаты обследования заносятся в Ведомость дефектов обследуемого объекта и фиксируются на фото- и видеосъемку для дальнейшей обработки.

2.4. Обследование вертикальных стенок проводится вертикальными полосами шириной 2 м, начиная от дна до верха по спусковому концу с балластом. Производится видеосъемка с передачей изображения по кабелю на видеомонитор к оператору (руководителю работ) и одновременной записью на цифровой носитель. Особое внимание уделяется зоне переменного уровня, в наибольшей степени подверженной погодно-климатическому воздействию, а также узлам сопряжения вертикальных стенок с дном и откосами водоприемного ковша.

2.5 При обследовании устанавливается:

- наличие трещин в бетоне, их направление (косые, вертикальные, горизонтальные), размеры (глубина, длина и ширина раскрытия), и причины их образования (просадка основания, усадочные трещины, результат внешних нагрузок);
- наличие сколов бетона;
- состояние железобетонных поверхностей: отслоение или разрушение защитного слоя (арматуры), обнажение арматуры и степень коррозии, раковины строительного происхождения, каверны, выщелачивание поверхности бетона (глубина и площадь выщелачивания); зоны истирания бетона, кавитации; состояние бетона в зоне переменного уровня;
- объемы и размеры обнаруженных в бетонных конструкциях разрушений (длина, ширина, глубина) с привязкой их в пространстве;
- обрастание поверхности бетона водной растительностью и ракушкой дрейссены;
- наличие и объем иловых отложений, донного мусора (на дне камер и каналов).

При просмотре изображения на мониторе в режиме реального времени и обнаружении дефектов руководитель работ передает водолазу задание о замере габаритов дефектов (замер производится металлической мерной линейкой, шупом и штангенциркулем).

При необходимости следует задействовать дополнительное освещение обследуемого объекта. Для более точной оценки состояния узла конструкции проводится зачистка осматриваемой поверхности от обрастания водной растительностью и коррозии.

2.6. Обследование дна и откосов водоприемных ковшей и каналов выполняется двумя способами: визуальное водолазное обследование откосов и гидроакустическая съемка дна с GPS-привязкой.

Визуальное обследование осуществляется с целью получения информации о внешнем состоянии всего сооружения или отдельных его элементов. Результатом его является обнаружение очевидных и возможных скрытых повреждений конструкции, а также других дефектов, затрудняющих или делающей невозможной безопасную работу всего сооружения или отдельных его участков.

При обследовании железобетонных конструкций крепления откосов и дна водоприемного ковша и каналов устанавливается:

- наличие и мощность донных отложений и крупного мусора;
- состояние защитного покрытия из монолитных железобетонных плит (трещины, сколы бетона, обнажение арматуры и степень коррозии, состояние швов, состояние упорной призмы);
- наличие разрушений строительных и температурных швов;
- подмыв железобетонных плит (пустоты под плитами), просадка откосов;
- наличие смещений железобетонных плит, подмыв и просадка упорного зуба;
- состояние узлов сопряжения откоса с подпорными стенками и др. сооружениями;
- наличие оползневых явлений на откосах.

Обследование представляет собой осмотр сооружений и конструкций водолазом с выполнением инструментальных измерений (линейкой, штангенциркулем, молотком, щупами и т.п.) в целях определения параметров и качественных признаков технического состояния объектов на момент обследования. При необходимости проводится зачистка отдельных участков сооружения от обрастания и коррозии для более тщательного осмотра.

Водолазное обследование выполняется в следующей технологической последовательности:

- производится разбивка базисной линии;
- в створе базисной линии устанавливаются створные знаки для обозначения поперечников с шагом через 50 м;
- укладывается на дно канала ходовой конец, выводится на берег и закрепляются концы на берегу к якорям;
- по створам натягивается канат с метками через 5 м (канат натягивается выше уровня воды на  $0,2 \pm 0,5$  м);
- шлюпка или модульный пластиковый понтон устанавливается ниже по течению обследуемого поперечника;
- постепенно перемещая шлюпку вдоль поперечника, замерщик с лодки через 5 м определяет глубину при помощи лота, параллельно по дну двигается водолаз, который контролирует правильность замера лотом (фиксирует натяжение каната, зависание каната на ветках и других предметах), а также осматривает состояние железобетонных конструкций дна и откосов канала.

Гидроакустическая съемка проводится с целью поиска на дне канала крупного донного мусора, определения просадок крепления дна и толщины донных отложений наносов при высоких скоростях течения.

При обследовании параметрическим эхолотом устанавливаются точные контуры отложений наносов, наличие и количество топляков и других крупных предметов, с фиксированием их в плановом положении GPS-навигатором.

2.7. Обследование закрытых железобетонных водоводов выполняется по этапам:

2.7.1. До спуска водолаза водовод осматривается при помощи телеуправляемого подводного аппарата на наличие предметов, препятствующих безопасной работе водолаза, при необходимости производится измерение скорости воды в трубе при помощи измерителя скорости потока.

2.7.2. Протягивается мерный трос с закрепленной маркировкой длины с шагом не менее 5 м для определения местоположения водолаза в водоводе.

2.7.3. Водолазное обследование водовода выполняется через входной или выходной оголовок. Спуск водолаза производится по штатному или переносному трапу. До начала движения водолаза фиксируется нулевой отсчет на мерном тросе.

В случае необходимости для более точной оценки состояния узла конструкции проводится зачистку осматриваемой поверхности от обрастания водной растительностью и коррозии.

В ходе обследования сооружения водолаз при обнаружении разрушений или дефектов конструкции проводит привязку по мерному тросу, замеры дефекта измерительным инструментом (мерная линейка, щуп и т.д.), фото, видеосъемку и доклад оператору (руководителю работ).

2.8. При обследовании металлоконструкций устанавливается:

- наличие разрывов металла;
- наличие деформаций конструкций;
- степень коррозии;
- состояние и наличие антикоррозийного покрытия.



### 3. Оформление результатов водолазного обследования

3.1. Результаты водолазного обследования, выводы о техническом состоянии гидротехнических сооружений, причины появления дефектов и повреждений, рекомендации по улучшению состояния сооружений, предложения по дальнейшей эксплуатации и ремонту конструкций подводных частей обследованных ГТС необходимых для поддержания ресурса строительных конструкций, излагаются в техническом отчете и документируются в форме протокола водолазного обследования подводной части ГТС.

3.2. Технический отчет по результатам обследования должен содержать:

- перечень обследованных сооружений и конструкций;
- сроки проведения обследования;
- техническую характеристику объектов обследования;
- сведения об условиях эксплуатации строительных конструкций;
- данные о ремонтах и реконструкциях с начала эксплуатации;
- результаты визуальных осмотров и инструментальных измерений (видеозапись дефектов, поперечные разрезы линейных сооружений и т.д.);
- перечень использованного оборудования и средств измерений;
- ведомость дефектов конструкций, вид, место расположения и размеры;
- результаты испытаний конструкций методами неразрушающего контроля;
- выводы о техническом состоянии конструкций, степени износа и снижения несущей способности основных несущих и ограждающих конструкций;
- рекомендации и технические решения (предложения) по восстановлению или усилению конструкций ГТС и улучшению условий эксплуатации;
- заключение о состоянии исследуемых конструкций подводных частей ГТС и технической возможности их дальнейшей эксплуатации;
- фото- или видеоматериалы подводного обследования.

#### Выводы

Предлагаемая методика проведения водолазного обследования подводной части ГТС детализирует общие подходы к обследованию гидротехнических сооружений с учетом их конструктивных характеристик и условий эксплуатации, а также оптимизирует методы обследования на основе процессного подхода, а также применения новейшего водолазного снаряжения и приборной базы.

Методика апробирована при обследовании гидротехнических сооружений Госкорпорации «Росатом», ТЭЦ г. Северска, ОАО «Томская судоходная компания», ООО «Газпром энерго» (Южный филиал, г. Астрахань) и др.

Данная методика с незначительными изменениями и дополнениями применялась и для обследования подводной части ГТС с использованием телеуправляемых подводных аппаратов.

#### Список используемой литературы:

1. Федеральный закон от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».
2. Федеральный закон от 21 июля 1997 года № 117-ФЗ «О безопасности гидротехнических сооружений».
3. ПОТ РМ-030-2007 - Межотраслевые правила по охране труда при проведении водолазных работ.- М: Фирма «Слово».- 2007.- 318 с.
4. Красов Н.В. Подводно-технические работы.- М: Транспорт.- 1975. -276 с.
5. Забела К.А., Кушнирюк Ю.Г. Пособие по подводно-техническим работам в строительстве.- Киев: Будивельник.- 1975.- 256 с.

УДК 628.1

#### Проблема повышенного содержания кремния в питьевой воде

*Е.В. Заболотская, Я.Н. Богданова, О.Б. Назаренко*

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

*E-mail: obnaz@mail.ru*

Представлены результаты экспериментальной оценки качества питьевой воды по содержанию в ней кремния. В настоящее время содержание кремния в подземных водах г. Томска превышает предельно допустимую концентрацию. Обсуждаются причины повышенного содержания кремния в питьевой воде. Предлагаются пути решения проблемы.

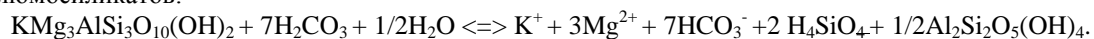
Вода относится к веществам, без которых жизнь невозможна, что обусловлено уникальными физико-химическими свойствами воды. В настоящее время проблема качества воды является актуальной как для потребителей – рядовых жителей нашей планеты, так и для производителей питьевой воды и напитков. Согласно СанПиН 2.1.4.1074-01 [1] питьевая вода должна быть не только безопасной для здоровья, но ещё и полезной, т. е. должна быть насыщенной полезными микро- и макроэлементами.

Несмотря на обилие открытых водоемов на территории Западной Сибири, из-за сильного их загрязнения для питьевого водоснабжения г. Томска используются подземные источники. Запасы подземных вод на территории Западно-Сибирского артезианского бассейна достаточно велики. Кроме того, скважинные воды, по сравнению с поверхностными, имеют лучшие физико-химические и бактериологические показатели, менее подвержены загрязнению антропогенного характера и сезонным колебаниям. Качество подземных вод по ряду показателей не отвечает нормативным требованиям. Так, например, содержание железа в подземных водах Томского месторождения составляет (5–18,5)ПДК, марганца – (1,2–2,7)ПДК, кремния – 1,2ПДК [2]. После очистки и обеззараживания на станции водоподготовки ООО «Томскводоканал», вода, поступающая в водоводы, идущие в г. Томск, отвечает установленным нормативам по всем показателям, кроме кремния и постоянно низких концентраций фтора. Таким образом, в настоящее время встает вопрос об обескремнивании воды, причем при сохранении ее физиологической полноценности.

Цель данной работы – проанализировать качество доступных для населения г. Томска питьевых вод на соответствие нормативному документу по содержанию кремния.

Мнения о пользе кремниевой воды, а так же о необходимых количествах поступления кремния в организм в современной науке неоднозначные. С одной стороны, кремниевая вода обладает антибиотическим, антисептическим, регенерационным действием, улучшает обмен веществ и т. д. С другой стороны, при регулярном употреблении питьевой воды, имеющей содержание кремния более ПДК (10 мг/л), увеличивается вероятность возникновения онкологических заболеваний, отмечены случаи возникновения ишемической болезни сердца и мочекаменной болезни [3].

Главным источником соединений кремния в природных водах являются процессы химического выветривания и растворения кремнийсодержащих минералов, например алюмосиликатов:



Формы соединений, в которых находится кремний в растворе, весьма многообразны и меняются в зависимости от минерализации, состава воды и значений pH. Часть кремния находится в истинно растворенном состоянии в виде кремниевой кислоты и поликремниевых кислот:



В поверхностных водах содержание кремния обычно невелико, но в водах болот и рек, имеющих болотистый тип питания, концентрация соединений кремния может составлять несколько десятков мг/л. Концентрация кремния в речных водах колеблется обычно от 1 до 20 мг/дм<sup>3</sup>; в подземных водах его концентрация возрастает от 20 до 30 мг/дм<sup>3</sup>, а в горячих термальных водах содержание кремния может достигать сотен миллиграммов в 1 дм<sup>3</sup>. Сравнительно малое содержание кремния в поверхностных водах указывает на наличие в воде процессов, уменьшающих его концентрацию. К ним надо отнести потребление кремния водными организмами. Кроме того, кремниевая кислота как более слабая вытесняется из раствора угольной кислотой.

Исследование гидрогеохимического режима вод Томского месторождения подземных вод за 25-летний период показало, что их состав изменялся неравномерно на разных участках водозабора [4]. Превышения величин ПДК в водах эксплуатируемого комплекса наблюдаются для таких природных компонентов как  $\text{Fe}_{\text{общ}}$ ,  $\text{Mn}_{\text{общ}}^{2+}$ , Si,  $\text{NH}_4^+$ , показателей общей жесткости и ХПК. Установлено, что наблюдаемая трансформация состава подземных вод в процессе их эксплуатации связана как с вертикальной инфильтрацией загрязнителей, так и с антропогенно-иницированными процессами перетоков из смежных с эксплуатируемым водоносных комплексов, процессами растворения минералов при изменении интенсивности водообмена и другими неблагоприятными для качества вод процессами [4]. Динамика изменения концентрации кремния в подземных водах представлена в табл. 1.

Таблица 1

## Динамика изменения концентрации кремния в водах Томского водозабора

Дата	Поверхностные объекты				Неоген-четвертичный комплекс		Палеогеновый комплекс		
	1995-96	01.09.95	11.08.99	11.08.99	20.06.07	21.04.07	11.11.07	24.07.08	28.09.09
Si, мг/л	4,3	6,9	6,8	6,0	8,1	9,8	3,75	11,2	17,5

Учитывая данные о повышенном содержании кремния в подземных водах Томской области [2, 4], а также неоднозначность информации о пользе и необходимых количествах поступления кремния в организм человека, представляло интерес проанализировать качество доступных для населения г. Томска питьевых вод на соответствие нормативному документу по содержанию кремния.

Таблица 2. Результаты фотометрического определения кремния в питьевой воде

№	Наименование	Место положения	Результаты измерений, мг/л
1	Минеральная вода Омега ООО «Холдинг ОМЕГА»	с. Зырянское скважина 3001 м	10,99
2	Природная вода Чажемто ОАО «Томское пиво»	Колпашевский район скважина 2770 м	0,37
3	Питьевая бутилированная вода Афины ОАО «Томское пиво»	глубина скважины 90 м, г. Томск, ул. Учебная	11,91
4	Вода централизованного водоснабжения	г. Томск, ул. Тверская	12,46
5	Вода централизованного водоснабжения очищенная с помощью бытового фильтра Барьер	г. Томск ул. Тверская	11,73
6	Вода автономной системы водоснабжения	Пос. Семилужки Томской области	11,36
7	Вода автономной системы водоснабжения	г. Томск, Асиновская улица	8,06
8	Питьевая бутилированная вода «Ключевая линия» ООО «Ключевая вода»	г. Томск ул. Нижнелуговая скважина 120 м	0,49
9	Водопроводная вода	Шерегеш, Кемеровская область	9,32
10	Вода нецентрализованного водоснабжения после фильтра обезжелезивания	Пос. Калтай Томская область	8,87
11	Вода централизованного водоснабжения	г. Томска, (Лагерный сад)	11,73
12	Бутилированная вода Архыз, горная природная вода гидрокарбонатная магниевая-кальциевая	Добывается на высоте 1507 м, пос. Архыз, Карачаево-Черкесская республика	5,31
13	Артезианская вода скважины «Ожга»	пос. Кунгус, Пермский край	8,79
14	Бутилированная хлоридно-гидрокарбонатная натриевая борная минеральная питьевая природная лечебная газированная вода Ессентуки 17	Ессентуки Нагутское месторождение	1,10
15	Бутилированная лечебно-столовая сульфатно-гидрокарбонатная магниевая-кальциевая природная минеральная питьевая вода натуральной газации «Нарзан»	г. Кисловодск	3,66

Для сравнительного анализа эксперименту подверглись наиболее популярные источники питьевой воды, находящиеся в городе Томске и за его пределами, включая водопроводную

питьевую воду, бутилированную, воду скважин Томской и других областей.

Измерение концентрации кремния в пробах воды проводилось с помощью РД 52.24.433-2005 «Массовая концентрация кремния в поверхностных водах суши. Методика выполнения измерений фотометрическим методом», который устанавливает методику выполнения измерений массовой концентрации силикатов и всех форм кремниевой кислоты в пробах неокрашенных или слабоокрашенных поверхностных вод суши в диапазоне от 0,5 до 15,0 мг/дм<sup>3</sup> в пересчете на кремний фотометрическим методом. Определение массовой концентрации кремния фотометрическим методом основано на взаимодействии мономерно-димерной формы кремниевой кислоты и силикатов с молибдатом аммония в кислой среде с образованием молибдокремниевой гетерополиоксидной кислоты желтого цвета. При проведении эксперимента использовался фотоколориметр КФК-2.

Результаты определения концентрации кремния в воде Томской и других областей приведены в таблице 2. ПДК кремния для питьевых вод составляет 10 мг/л. Из таблицы видно, что в большинстве вод ПДК либо не выдержан, либо содержание кремния в воде критически мало. Содержание кремния в воде централизованного водоснабжения превышено на 17,3–24,6 %.

Следует отметить, что для организма большой вред может принести как превышение ПДК, так и критически малое содержание кремния в питьевой воде. Так, например, превышение ПДК по кремнию в питьевой бутилированной воде «Афины» составило 19,1 %. Содержание кремния в «Ключевой воде», наоборот, критически мало. В условиях жесткой конкуренции на современном рынке бутилированных вод, обеим фирмам необходимо больше внимания уделять проблеме содержания кремния в воде.

При анализе системы водоподготовки питьевой воды «Афины» выявлено, что содержание кремния не изменяется после прохождения существующего водоподготовительного оборудования и остается выше предельно допустимых значений [5]. Очевидно, что используемое оборудование не предназначено для изменившегося со временем состава подземных вод. С целью понизить содержание кремния можно порекомендовать использовать в качестве дополнительного элемента в системе водоподготовки нанофильтрационные мембраны NF90 фирмы FilmTec (США) [6]. Данное дополнение повысит качество питьевой воды и ее конкурентоспособность.

#### **Список используемой литературы:**

1. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. СанПиН 2.1.4.1074-01».
2. Качество подземных вод // Сайт территориального центра Томскгеомониторинг [электронный ресурс] – режим доступа: <http://www.tgm.ru/water.php?ind=voda&rz=kpvod&lv=2&menu=vrto>.
3. Крылов Г.В., Шиблева Л.Г., Демидович В.Н., Макаров В.В. Проблемы подготовки качественной питьевой воды из подземных и поверхностных водоисточников // Стройпрофиль. 2003. – № 7. – С. 29–36.
4. Хвощевская А.А., Копылова Ю.Г. Оценка качества бутилированных вод г. Томска // КарлсТом 2010 – Современные проблемы очистки воды. Наночастицы в водных объектах: Материалы V Российско-германского семинара. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – С. 73–79.
5. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды, расфасованной в емкости. Контроль качества. СанПиН 2.1.4.1116-02».
6. Мачехина К.И., А. Клюпфель. Использование процессов ультра- и нанофильтрации в технологиях водоподготовки // КарлсТом 2010 – Современные проблемы очистки воды. Наночастицы в водных объектах: Материалы V Российско-германского семинара. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – С. 33–38.

УДК 628.394

**Оценка качества воды реки Томи в зоне влияния ЗАО «ГОС»  
Е.А. Назорных, Т.И. Кручинина, Е.В. Ларионова, О.Б. Назаренко  
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия  
E-mail: obnaz@mail.ru**

Выполнена оценка качества воды реки Томь в зоне влияния ЗАО «ГОС» с помощью интегральных показателей качества. Причинами низкого качества воды является неудовлетворительная работа канализационных очистных сооружений. Необходимо разрабатывать мероприятия для повышения

эффективности очистки, а также методики определения загрязняющих веществ для контроля качества воды.

Вода является важнейшим природным ресурсом. Сброс сточных вод в водные объекты приводит к снижению качества воды поверхностных водных объектов.

Под качеством воды понимается характеристика ее состава и свойств, определяющая ее пригодность для конкретных видов водопользования; при этом критерии качества представляют собой признаки, по которым производится оценка качества воды.

Нормирование качества воды состоит в установлении для воды водного объекта совокупности допустимых значений показателей ее состава и свойств, в пределах которых надежно обеспечиваются здоровье населения, благоприятные условия водопользования и экологическое благополучие водного объекта. Водопользование классифицируется по следующим признакам: по целям использования вод, по объектам водопользования, по техническим условиям водопользования, по условиям предоставления водных объектов в пользование, по характеру использования воды, по способу использования водных объектов.

К водным объектам рыбохозяйственного значения относятся водные объекты, которые используются или могут быть использованы для добычи (вылова) водных биоресурсов. Различают три категории водных объектов рыбохозяйственного значения. К высшей категории относят места расположения нерестилищ, массового нагула и зимовальных ям особо ценных видов рыб и других промысловых водных организмов; к I категории – водные объекты, используемые для сохранения и воспроизводства ценных видов рыб, обладающих высокой чувствительностью к содержанию кислорода; ко II категории – водные объекты, используемые для других рыбохозяйственных целей.

В реке Томь обитают виды рыб, имеющие промысловое значение, в том числе ценные и особо ценные (стерлядь, таймень) [1]. Поэтому река Томь определена как объект рыбохозяйственного значения высшей категории. Данное определение дано Томским отделом государственного контроля, надзора и охраны водных биоресурсов и среды в соответствии с Приказом Федерального агентства по рыболовству от 17.09.2009 г. № 818 «Об установлении категорий водных объектов рыбохозяйственного значения и особенностей добычи (вылова) водных биологических ресурсов, обитающих в них и отнесенных к объектам рыболовства», Приказом Федерального агентства по рыболовству от 16.03.2009 г. № 191 «Об утверждении Перечня особо ценных и ценных видов водных биоресурсов, отнесенных к объектам рыболовства». Согласно «Методики разработки нормативов допустимых сбросов вредных веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей», утвержденной Приказом Минприроды России от 17.12.2007 г. № 333, для водоемов рыбохозяйственного значения утверждены наиболее жесткие нормативы.

На экологическое состояние реки Томи оказывает влияние деятельность промышленных предприятий, в том числе и канализационных очистных сооружений г. Томска.

ЗАО «Городские очистные сооружения (ГОС)» принимает на очистку производственные и хозяйственно-бытовые сточные воды г. Томска. В состав сточных вод поступающих на очистку входят: сточные воды г. Томска – производственные и хозяйственно-бытовые; химически загрязненные стоки ТЭЦ-3; химически загрязненные стоки ООО «Томскнефтехим»; сточные воды сельхозпредприятий; ливневые стоки ООО «Томскнефтехим»; хозяйственно-бытовые стоки от объектов ООО «Томскнефтехим»; хозяйственно-бытовые и дренажные стоки от объектов ГОС; осветленные воды из илонакопителей и промывные воды от барабанных сеток.

Мощность очистных сооружений составляет 80300 тыс. м<sup>3</sup> в год. Сточные воды, поступившие на очистные сооружения, проходят механическую очистку, биологическую, доочистку и обеззараживание. Продукцией предприятия является биологически очищенная вода.

Сброс сточных вод происходит за чертой населенного пункта (с. Орловка) через рассеивающий выпуск длиной 28 м в 72-х м от смешенного уреза воды от меженного уреза воды. Оголовок один с 9 отверстиями, каждое из которых имеет диаметр 200 мм. Для измерения объема сточных вод используются расходомер ультразвуковой АКРОН -01 и лоток Венгури. Показания ежесуточно регистрируются в журнале учета количества поступающих сточных вод.

Нормативно-очищенные сточные воды, сбрасываемые в р. Томь, должны отвечать требованиям СанПин 2.1.5.980-00 «Гигиенические требования к охране поверхностных вод и Разрешению № 25 на сброс загрязняющих веществ в окружающую среду, выданного Западно-Сибирским управлением Ростехнадзора от 06.07.2010г.

Качество природных водных объектов оценивается системой совокупных требований: санитарно-гигиенических, рыбохозяйственных и общеэкологических. Методы оценки

качественного состояния поверхностных вод разнообразны и многочисленны [2–6]. Широкое распространение получили следующие методы: метод оценки качества воды по гидрохимическим показателям, метод комплексной оценки качества воды, включающий общесанитарный индекс, индекс загрязненности и индекс качества воды. Показателем, с помощью которого можно оценить экологическое состояние природных вод, является интегральный индекс экологического состояния, учитывающий наибольшее количество аспектов экологического состояния водоемов.

В данной работе проведена оценка качества воды реки Томи в зоне влияния ЗАО «ГОС» с помощью интегральных показателей качества. Для расчета были использованы данные об эффективности работы очистных сооружений за 2009 год.

1. Общесанитарный индекс качества воды (ИКВ) представляет собой обобщенную числовую оценку качества воды по совокупности основных показателей и видам водопользования. Для определения общесанитарного ИКВ сначала проводится анализ проб воды, в котором устанавливаются величины показателей, затем проводится их балльная оценка, после чего определяется величина ИКВ. Согласно расчетам  $ИКВ = 3,89$ . Этому значению ИКВ соответствует класс качества 3, качественное состояние воды – «умеренно загрязненные».

2. Гидрохимический индекс загрязнения воды (ИЗВ) представляет собой среднюю долю превышения ПДК по строго лимитированному числу ингредиентов. На практике обычно ведут расчет для шести компонентов, имеющих наибольшую кратность превышения (С/ПДК), в число которых входят в обязательном порядке концентрация растворенного кислорода и значение БПК. В зависимости от величины ИЗВ участки водных объектов подразделяются по качеству на 7 классов. Согласно расчету  $ИЗВ = 6,6$ . Это позволяет отнести качество воды участка реки Томи, находящегося в зоне влияния ОАО «ГОС», к классу 6, а качественное состояние оценить как «очень грязные».

3. Интегральный индекс экологического состояния (ИИЭС) позволяют учесть большое количество аспектов экологического состояния водоемов. В данной работе при расчете использовали четыре показателя: ПДК, класс опасности вещества, а также комплексные показатели ИКВ и ИЗВ. По рассчитанной величине ИИЭС – 2,25 рассматриваемому участку реки Томи можно присвоить класс качества II, а экологическое состояние определить как «экологический кризис». Таким образом, интенсивности антропогенных факторов на данном участке водного объекта вызывают статистически достоверные изменения в показателях структурно-функциональной организации популяции или сообщества, выходящие за пределы адаптационных возможностей биосистемы.

Следует отметить, что проведенная оценка характеризует качество лишь в створе реки Томи, где производит выпуск очищенных сточных вод предприятие ЗАО «ГОС», без учета последующего разбавления.

Систематическое наблюдение за состоянием поверхностных вод на территории Томской области осуществляется ГУ «Томский ЦГМС» Западно-Сибирского УГМС. Анализ результатов контроля качества воды в основных реках области показал [1], что в створе реки Томи ниже города в 2011 г. наблюдалась единичная загрязненность азотом аммонийным, неустойчивая загрязненность ХПК, азотом нитритным, медью, цинком, фенолами; устойчивая – железом общим; характерная – нефтепродуктами. Уровень загрязненности по ХПК и цинку – низкий; по остальным ингредиентам – средний. Величина УКИЗВ в 2011 г. в створе ниже города составила 2,98, что соответствует 3 «А» классу качества, загрязненная вода. В 2010 г. УКИЗВ – 3,61, что соответствует 3 «Б» классу качества – очень загрязненная вода. Таким образом, качество воды в реке Томь в 2011 г. улучшилось по сравнению с 2010 г.

По результатам проведенного расчета и данным мониторинга [1] можно сделать вывод, что канализационные очистные сооружения г. Томска, технологическая схема которых включает стадию биологической очистки, имеют низкую эффективность очистки: после очистки наблюдается многократное увеличение нитратов, очень низка эффективность очистки от фосфатов, тяжелых металлов, хлоридов, сульфатов. Фактические показатели эффективности работы очистных сооружений объясняются изменением качественных и количественных характеристик сточных вод, поступающих на очистку, изношенностью технологического оборудования и несвоевременной корректировкой технологического режима.

Поэтому важной является работа, направленная на разработку мероприятий, позволяющих увеличить эффективность очистки стоков, в частности, от биогенных веществ – азотсодержащих и фосфорсодержащих. На любой стадии процесса очистки необходимо количественно оценить содержание примесей. В связи с этим актуальными становятся работы по разработке методик определения таких компонентов сточных вод как фосфаты, нитриты, нитраты, аммонийный азот.

Среди методов количественного определения примесей избирательностью, высокой чувствительностью, экспрессностью отличаются фотометрические методы анализа. Для контроля качества воды проведена апробация методик фотометрического определения указанных веществ на учебно-лабораторном комплексе «Экологический мониторинг» и фотометре «ТА Эколаб-2».

#### Список использованной литературы

1. Экологический мониторинг: Доклад о состоянии окружающей среды Томской области в 2011 году / Гл. ред. А.М. Адам; Департамент природн. ресурсов и охраны окружающ. среды Том. обл., ОГБУ «Облкомприрода». – Томск: Издательство «Графика ДТР», 2012. – 166 с.
2. Хабарова Е.И., Роздин И.А., Никитина С.В., Леонтьева С.В. Расчет и оценка эколого-значимых параметров. Учебно-методическое пособие. – М.: МИТХТ, 2010. – 64 с.
3. Емельянова В.П., Данилова Г.Н., Колесникова Т.Х. Оценка качества поверхностных вод суши по гидрохимическим показателям // Гидрохимические материалы. – Л.: Гидрометеоздат, 1983. – Т. 88. – С.119–130.
4. РД 52.24.643-2002 Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям.
5. Гурарий В. И., Шайн А.С. Комплексная оценка качества воды // Проблемы охраны вод. – Харьков, 1975. – Вып. 6. – С. 143–151.
6. Временные методические указания по комплексной оценке качества поверхностных и морских вод по гидрохимическим показателям. М., 1986. 5 с. (утв. Госкомгидрометом СССР).

УДК 539.1.074

#### Оптимизация характеристик времяпролетного детектора на основе микроканальных пластин

*С.Ю. Назаренко, Н.А. Кузьминчук\*, М. Дивиш\**

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

*\*Университет им. Ю. Либиха, г. Гиссен, Германия*

*E-mail: svetana@mail.ru*

Проведена работа по улучшению временных характеристик микроканальных пластин времяпролетного детектора. Внедрение новой конструкции анода и оптимизация параметров резистивно-емкостного делителя напряжения позволили уменьшить время нарастания сигнала с микроканальных пластин на 25 %, а время спада и ширину сигнала – на 50 %.

**Введение.** Одной из задач современной ядерной физики является определение массы ядер [1, 2]. Для точного измерения масс экзотических нуклидов со временем жизни в несколько десятков микросекунд применяется изохронная масс-спектрометрия. В тяжело-ионном ускорительном комплексе GSI в г. Дармштадт (Германия) изучают фундаментальные свойства протоноизбыточных ядер, далеких от стабильности, в результате фрагментации на лету (in-flight fragmentation), с последующим их накоплением и охлаждением в экспериментальном накопительном кольце ESR. Точные значения масс ядер определяют путем измерения частоты вращения ионов микроканальными пластинами времяпролетного детектора, установленного на накопительном кольце ESR [3]. Группа IONAS в университете им. Ю. Либиха г. Гиссена использует для своих исследований времяпролетный детектор, идентичный детектору, работающему на экспериментальном накопительном кольце ESR. Это позволяет исследовать и улучшать технические характеристики прибора в офлайн экспериментах, а затем переносить разработки на детектор в ESR для измерения масс экзотических ядер в онлайн режиме. Временное разрешение времяпролетного детектора является одним из критических параметров, так как оно напрямую влияет на точность измерения масс ядер. Целью данной работы являлось улучшение регистрации сигнала времени события с микроканальных пластин путем внедрения новой конструкции анода и оптимизации схемы делителя напряжения.

**Методика экспериментов.** Схема времяпролетного детектора представлена на рис. 1. Впервые такой детектор был сконструирован и испытан в Калифорнийском Университете Д. Боуманом и Р.Г. Хеффнером [4]. При каждом обороте в кольце ионы, проходящие через детектор, выбивают вторичные электроны из тонкой углеродной фольги. Вторичные электроны отклоняются в прямом и обратном направлении относительно траектории ионов электрическим и магнитным полями и направляются на детекторы с микроканальными пластинами (МКП). МКП-детекторы расположены под углом 180° относительно фольги в одной плоскости. Каждый МКП-

детектор состоит из двух микроканальных пластин (МКП<sub>1</sub> и МКП<sub>2</sub>). Число вторичных электронов увеличивается двухкаскадной сборкой МКП примерно до 10<sup>6</sup> и регистрируется анодом для получения измеряемого сигнала. Времяпролетный детектор установлен в вакууме, давление которого составляет 1·10<sup>-7</sup> мбар. Напряжение на установку подается с помощью делителя напряжения.

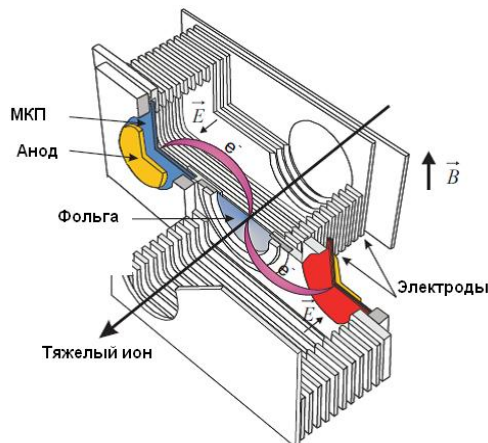


Рис. 1. Схема времяпролетного детектора

Временная точность детектора была исследована путем измерения временных совпадений сигналов прямого и обратного МКП-детекторов. Точность для стандартных настроек детектора составила  $\sigma_{\text{совп}} = 67$  нс (стандартное отклонение временного распределения).

С помощью математического моделирования и измерений были установлены факторы, которые влияют на временное разрешение времяпролетного детектора и приводят к погрешностям измерения: пролет вторичных электронов от углеродной фольги до МКП; прохождение вторичных электронов через каналы МКП; определение времени события [5]. Анализ данных показал, что для улучшения определения времени события по сигналу с МКП необходима реконструкция анодного блока и применение для регистрации сигнала осциллографа с большей полосой пропускания.

Во время эксперимента было проведено несколько серий измерений. В каждой серии измерений были изучены следующие характеристики сигналов с микроканальных пластин: время нарастания, время спада и ширина сигнала. Для измерений были использованы осциллографы LeCroy Waverunner 6100 A (1 ГГц, 10 Гвыб/с) и Textronix TDS 7404 (4 ГГц, 20 Гвыб/с).

**Результаты экспериментов и обсуждение.** Моделирование показало, что временные характеристики МКП-детектора имеют ограничения из-за конструктивных особенностей анода [5]. Большие «паразитные» емкости между держателем анодной пластины, анодной пластиной и МКП предотвращают прохождение высокочастотных сигналов через МКП-детектор и их регистрирование на аноде. На основании этих данных для оптимизации пропускной способности детектора и качества МКП сигнала была разработана новая конструкция анода (рис. 2).

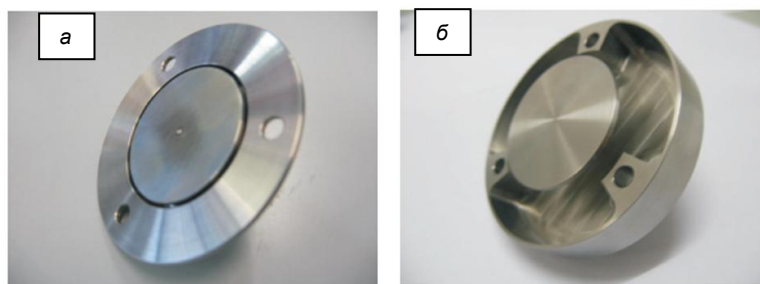


Рис. 2. Фотографии прежнего анода (а) и нового анода (б), сконструированного для получения улучшенной формы сигнала МКП детектора

На рис. 3 показаны формы сигналов с МКП-детектора для разных конструкций анода, полученные с помощью осциллографа LeCroy Waverunner 6100 A. В результате внедрения нового анода форма сигнала стала более симметричной, а время спада сигнала уменьшилось с 2,06 до 1,22 нс. Однако параметры ширины и времени нарастания сигнала немного ухудшились (табл. 1).



Это связано с тем, что в новой конструкции расстояние между выходной МКП<sub>2</sub> и анодом стало больше. Электроны, испускаемые МКП<sub>2</sub>, не фокусируются на аноде, что приводит к разбросу электронов по времени пролета от последней МКП до анода и к увеличению ширины сигнала. Для устранения этого недостатка был сконструирован новый резистивно-емкостный делитель напряжения.

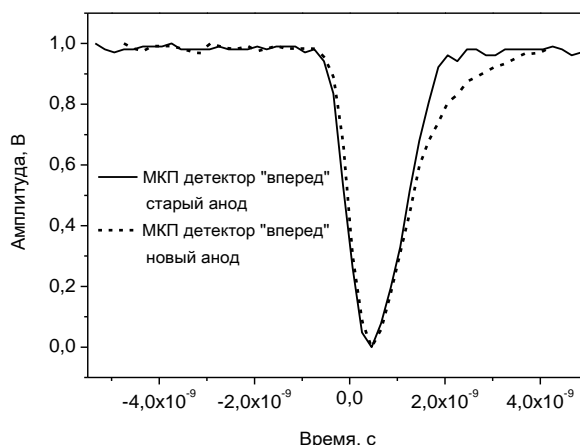


Рис. 3. Форма сигнала с микроканальных пластин для прежней и новой конструкции анода

Таблица 1

Сравнительные характеристики сигналов, полученных для разных конструкций анода

	Прежний анод		Новый анод	
	МКП-детектор «вперед»	МКП-детектор «назад»	МКП-детектор «вперед»	МКП-детектор «назад»
Время нарастания	598,7 пс	530,42 пс	673,24 пс	624,24 пс
Время спада	2,06 нс	2,58 нс	1,22 нс	1,03 нс
Ширина	1,33 нс	1,36 нс	1,44 нс	1,18 нс

Сборка электродов с двумя микроканальными пластинами в каждом МКП-детекторе показана на рис. 4. Главное напряжение, подаваемое на новый делитель напряжения, составляло 3 кВ. Это напряжение делилось с помощью делителя напряжения на четыре напряжения, подаваемые затем на сборку электродов МКП-детектора. С помощью разности потенциалов  $U_{МКП1} = U_2 - U_1$  и  $U_{МКП2} = U_4 - U_3$  прикладывалось напряжение на входную МКП<sub>1</sub> и выходную МКП<sub>2</sub>. Ускоряющий потенциал  $U_{\text{между}} = U_3 - U_2$  между двумя микроканальными пластинами оставался неизменным и был равен 200 В. Ускоряющий потенциал  $U_{\text{анод}}$  от выходной МКП<sub>2</sub> до анодной пластины был увеличен в новом делителе напряжения примерно до 900 В.

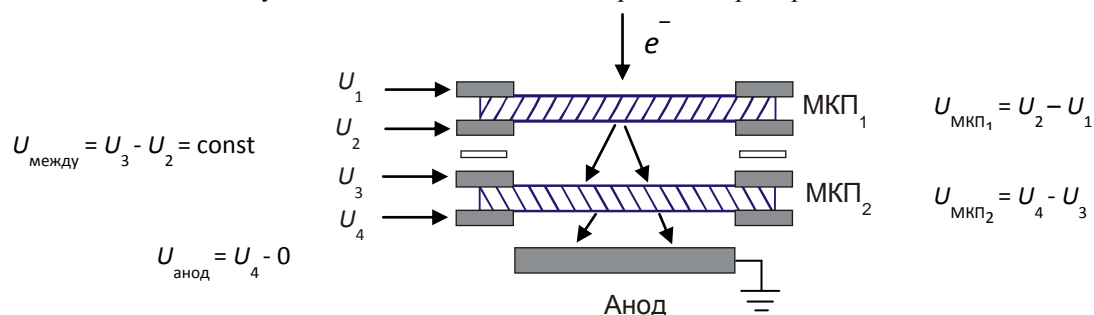


Рис. 4. Схематичное представление сборки электродов и микроканальных пластин в МКП-детекторе

После установки нового делителя напряжения была проведена серия измерений характеристик сигнала. Ширина сигнала с МКП при использовании нового делителя напряжения существенно уменьшилась (с 1,44 нс до 856,6 пс), а время нарастания и спада сигнала улучшилось незначительно (с 673,24 до 637,1 пс и с 1,22 до 1,0 нс, соответственно). Поэтому было решено

уменьшить расстояние между МКП<sub>2</sub> и анодом. При уменьшении этого расстояния с 7 до 3 мм фокусировка вторичных электронов после вылета с МКП<sub>2</sub> с ускоряющим потенциалом 900 эВ стала достаточной для получения быстрого сигнала со временем нарастания в 526 пс. Ширина сигнала при этом снижена до 741 пс. Время спада сигнала практически не изменилось.

Чтобы исключить влияние собственных характеристик осциллографа LeCroy Waverunner 6100 А, 1 ГГц, таких как ширина пропускания сигнала, на форму сигнала, было решено использовать осциллограф с большей шириной пропускания (Textronix TDS 7404, 4 ГГц). С помощью высокочастотного осциллографа удалось достичь уменьшения времени нарастания сигнала с МКП-детекторов «вперед» и «назад» с 452 до 428 пс, ширина МКП сигнала при этом составила 704 пс.

**Заключение.** В результате проведенной работы по разработке и внедрению сборки микроканальных пластин с усовершенствованной конструкцией анода, оптимизации параметров схемы делителя напряжения, а также применения для регистрации сигнала осциллографа с большей полосой пропускания удалось получить сигнал с микроканальных пластин времяпролетного детектора с шириной 704 пс и фронтом 526 пс. Проведенные исследования по улучшению временных характеристик сигнала микроканальных пластин позволят точнее определить время обращения ионов в накопительном кольце, детектируемых с помощью времяпролетного детектора, лучше разделять лежащие сигналы в спектре, что приведет к повышению точности измерения масс экзотических ядер в будущих экспериментах на накопительном кольце научно-исследовательского центра по изучению тяжелых ионов GSI.

#### **Список используемой литературы:**

1. Тарантин Н.А. Методы измерения атомных масс в ядерной физике. Массы атомных ядер как объекты измерений // Физика элементарных частиц и атомного ядра. – 1995. – Т. 26. – Вып. 4. – С. 1046–1107.
2. Пенионжкевич Ю.Э. Физика экзотических ядер // Соросовский образовательный журнал. – 1995. – № 1. – С. 92–98.
3. Fabian B. Characterization and Optimization of a Time-of-Flight Detector for Isochronous Mass Measurement at the ESR. – PhD thesis, Justus-Liebig Universitat Gießen, 2008. – 137 p.
4. Bowman J. and Heffner R. A novel zero time detector for heavy ion spectroscopy // Nuclear Instruments and Methods. – 1978. – Vol. 148. – Is. 3. – P. 503–509.
5. Kuzminchuk N. Performance Studies and Improvements of a Time-of-Flight Detector for Isochronous Mass Measurements at the FRS-ESR Facility. – PhD thesis, Justus-Liebig Universitat Gießen, 2011. – 139 p.

УДК 621.384.6

### **О возможности непрерывного мониторинга магнитного поля на ускорительном комплексе**

***С.Ю. Назаренко***

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

***E-mail: svetana@mail.ru***

В работе проведено измерение времени хранения электронов в ловушке установки HITRAP, показана необходимость непрерывного мониторинга магнитного поля. Проведена калибровка датчика магнитного поля.

Ускорительный комплекс FAIR (Facility for Antiproton and Ion Research), расположенный в GSI (г. Дармштадт, Германия), позволяет получать высокоэнергетичные, прецизионно настроенные пучки антипротонов и различных ионов для изучения структуры ядра, адронов, исследований в области астрофизики, физики сверхплотной электромагнитной плазмы, радиационного материаловедения, медицины, биологии [1]. Установка HITRAP (Highly Charged Ion Trap) в составе ускорительного комплекса FAIR предназначена для получения высокозаряженных ионов низкой энергии для дальнейшего их использования в различных экспериментах, например, для спектроскопических измерений сверхтонкого расщепления основного состояния водородоподобных систем. Для выполнения прецизионных экспериментов нужно, чтобы вторичные пучки имели определенную энергию и все частицы пучка двигались в одном направлении с одинаковой скоростью. Это достигается с помощью электронного охлаждения пучка, при котором ионы замедляются до одной и той же скорости при периодическом взаимодействии с параллельным пучком электронов, имеющих строго

определенную скорость. Охлаждающая ловушка установки HITRAP – это ловушка Пеннинга для удержания и охлаждения высоко заряженных ионов.

Целью данной работы являлось экспериментальное измерение времени хранения электронов в ловушке и исследование возможности непрерывного мониторинга магнитного поля.

Схема тяжелоионного ускорительного комплекса показана на рис. 1 [2]. Универсальный линейный ускоритель UNILAC предназначен для ускорения умеренно заряженных ионов до релятивистских энергий и последующего их ввода в синхротрон SIS. Ионный пучок с энергией 400 МэВ/нуклон фокусируется на мишени на входе фрагмент-сепаратора FRS, где ионы теряют свои электроны после столкновения с атомами мишени, после чего вторичный пучок ионов направляется в экспериментальное накопительное кольцо ESR – первую ступень системы торможения ионов до энергии 4 МэВ/нуклон. На второй ступени ионы тормозятся до энергии 6 кэВ/нуклон. Затем ионы захватываются ловушкой Пеннинга, где охлаждаются до температуры 4 К.

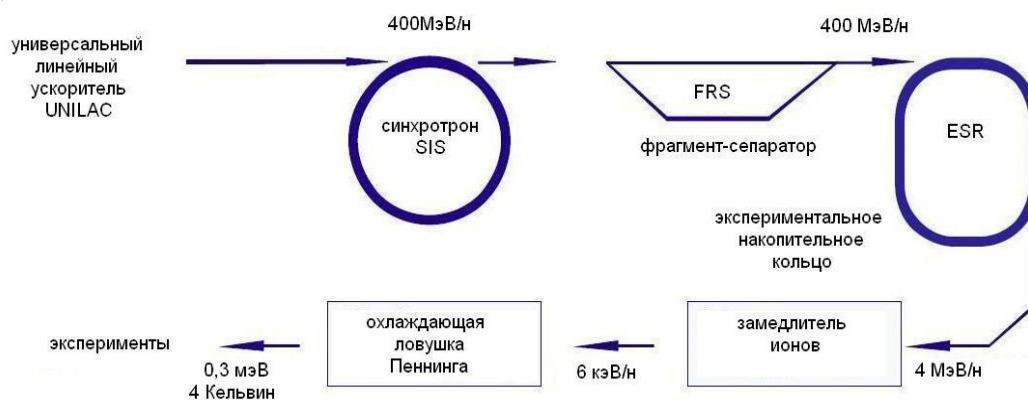


Рис. 1. Схема ускорительного комплекса и установки HITRAP

В ловушке Пеннинга для удержания частиц используется сильное однородное вертикальное магнитное поле, ограничивающее радиальные движения частиц, и гармоническое электрическое поле, ограничивающее вертикальные движения. Магнитное поле 6 Тл достигается за счет применения сверхпроводящего магнита. Ловушка установки HITRAP позволяет осуществить одновременно захват положительно и отрицательно заряженных частиц, и оборудована системой электронного охлаждения [2]. Конструкцию охлаждающей ловушки определяют следующие требования: ловушка должна захватывать  $10^5$  высоко заряженных ионов за каждые 10 сек;  $10^9-10^{10}$  электронов требуется, чтобы выполнить электронное охлаждение ионов до 10 эВ; для дальнейшего охлаждения используется резистивное охлаждение.

Для заполнения ловушки Пеннинга электронами в данном исследовании использовалась электронная пушка на основе арсенид-галлиевого (GaAs) фотокатода. В отличие от термоэлектронного катода, работа фотокатода не приводит к ухудшению вакуума [3]. Кроме того, преимуществом фотоэлектронного источника является возможность работы при комнатной температуре. Пушка установлена в диагностической камере ионного пучка на выходе из охлаждающей ловушки.

Для захвата электронов через 5 мкс после подачи импульса на фотокатод и поступления электронного пучка в ловушку создается блокирующее поле путем подачи напряжения на электрод. Зная время пролета электронов через ловушку, можно выбрать момент закрытия входного электрода. Количество инжектированных электронов фиксируется на осциллографе как импульс тока.

На рис. 2 показана зависимость интенсивности инжектируемых электронов от времени их хранения. С увеличением времени хранения количество инжектируемых электронов уменьшается. Уровень, на котором сигнал стабилизируется после 80 мкс – это фоновый уровень, обусловленный шумом измерительного контура [4]. Полученное время хранения примерно в 1000 раз меньше требуемого. Возможной причиной такого короткого времени хранения является недостаточность вакуума или неоднородность магнитного поля. Поэтому при работе установки необходима система непрерывного мониторинга магнитного поля.

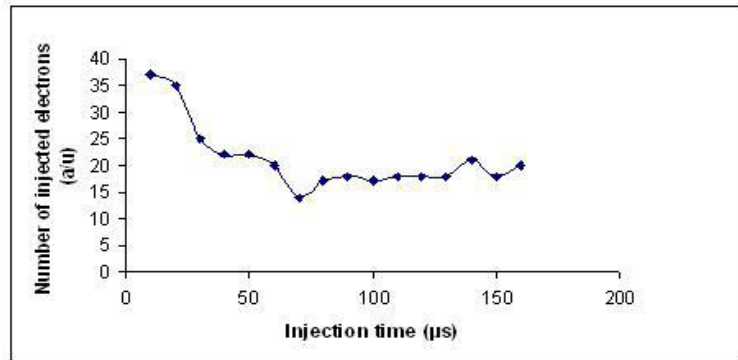


Рис. 2. Зависимость интенсивности инжектируемых электронов от времени хранения

Одним из этапов внедрения системы мониторинга магнитного поля является калибровка магнитного датчика, установленного в определенной позиции на внешнем экране магнита 6Т охлаждающей ловушки установки НИТРАР. Используя магнитный датчик, можно независимо контролировать магнитное поле. Это особенно важно в инерционном режиме, когда система подачи энергии отключена от магнитной катушки.

Для обеспечения магнитного поля 6 Тл, необходимого для удержания высоко заряженных ионов, на охлаждающей ловушке установки НИТРАР установлен сверхпроводящий магнит компании CRYOGENIC. Внутренний канал магнита имеет криогенную температуру, а поток жидкого гелия вокруг сверхпроводящих обмоток отсутствует [5]. Для подавления поля вне магнита он оснащен железным экраном.

Измерение индукции магнитного поля в работе проводилось с помощью тесламетра 6010/Teslameter компании Sypris на основе датчиков Холла. Диапазон измерений составляет от 0,1 мкТл до 29,99 Тл, в зависимости от типа используемого датчика. На рис. 3 показана зависимость между магнитным полем датчика внешнего экрана  $B_{pr\ out}$  и магнитным полем источника питания магнита  $B_{ps}$ . Неопределенность для нашего режима измерения (постоянный ток) составляет 0,3 % от показаний. Полученный график является линейной аппроксимацией данных. Функция описывается уравнением:  $y(x) = a + bx$ , где смещение  $a = 0$ , наклон  $b = 2,8 \pm 0,018$ .

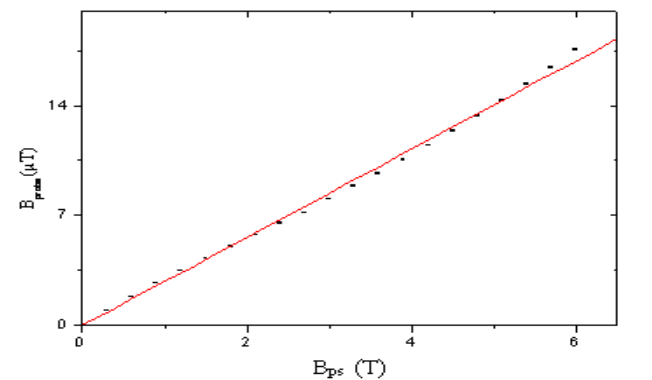


Рис. 3. Зависимость индукции магнитного поля датчика от магнитного поля источника питания

Таким образом, в данной работе на основании результатов измерения времени хранения электронов в ловушке установки НИТРАР показана необходимость непрерывного мониторинга магнитного поля. Проведена калибровка датчика магнитного поля. Параметры калибровки внесены в программу мониторинга магнитного поля.

Автор благодарит профессора лаборатории атомной физики GSI Франка Херфурта за постановку задачи, помощь при выполнении работы и полезные советы в процессе обсуждения результатов.

#### Список используемой литературы:

1. Фортов В.Е., Шарков Б.Ю., Штокер Х. Научная программа в новом международном центре фундаментальной физики – Европейском центре антипротонных и ионных исследований

- FAIR // Успехи физических наук. – 2012. – Т.182. – № 6. – С. 621–644.
2. HITRAP [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://gsi.de/forschung/ap/projects/hitrap/index\\_e.html](http://gsi.de/forschung/ap/projects/hitrap/index_e.html), свободный. – Загл. с экрана.
  3. Krantz C. Intense Electron Beam from GaAs Photocathode as a Tool for Molecular and Atomic Physics. – Ph.D. thesis, Ruprecht Karls Universität, Heidelberg, Germany, 2009.
  4. Nazarenko S. Storage and cooling of highly charged ions // From Quarks to Neutron Stars: International Summer Student Program 2011: Proceedings. – Darmstadt: GSI, 2011. – P. 97–100.
  5. Maero G. Cooling of highly charged ions in a Penning trap for HITRAP. – Dissertation, University of Heidelberg, Darmstadt, Germany, 2008.

УДК 621.3.082.77

**Анализ условий синтеза нанопорошков сложного композиционного состава методом электрического взрыва проводников**

*А.П. Ильин, О.Б. Назаренко, Е.В. Старцева, Д.В. Тихонов*  
 Томский политехнический университет, г. Томск, Россия  
 E-mail: [obnaz@mail.ru](mailto:obnaz@mail.ru)

Проведен анализ термодинамических условий формирования нанопорошков химических соединений при электрическом взрыве проводников в многокомпонентных реакционных средах. Обсуждаются результаты исследования свойств продуктов электрического взрыва алюминиевых и титановых проводников в суспензии гексаметилентетрамина в декане, которыми являются нитрид и карбид алюминия или карбид титана, соответственно. В случае близких величин верхней температурной границы устойчивости двух и более химических соединений в процессе электрического взрыва возможно получение нанопорошков сложного фазового и химического состава. В случае различия этих величин образуется преимущественно продукт, устойчивый до более высоких температур.

Электрический взрыв проводников (ЭВП) в углеродсодержащих средах является одним из методов синтеза порошков карбидов металлов нанодисперсного диапазона размеров частиц [1]. Диспергирование металла в процессе электрического взрыва сопровождается высокотемпературным пиролизом окружающей проводник среды. Образующиеся при этом активные атомы (углерода, азота, кислорода и т.д. в зависимости от состава среды) участвуют в образовании химических соединений металла с компонентами среды. Процесс образования химических соединений в условиях ЭВП ограничивается строго определенным диапазоном термодинамических параметров: давлением, температурой, концентрацией продуктов диссоциации в газообразной фазе и наличием или отсутствием конденсированной фазы. Продукты диспергирования проводников вступают в химическое взаимодействие с компонентами среды на такой стадии разлета и охлаждения, когда их температура снижается до термодинамически возможной для протекания той или иной химической реакции: ~5000–4000 К. При более высокой температуре наблюдается деструкция химических веществ. При температуре ниже 500 К скорости реакций малы. Следовательно, формирование химических соединений может происходить в температурном диапазоне от 5000 до 500 К.

ЭВП является быстропротекающим и неравновесным процессом [2], но в диапазоне температур протекания химических реакций скорость охлаждения относительно невысока. Так, если средняя скорость охлаждения продуктов ЭВП непосредственно после взрыва составляет  $10^7$  К/с, то в области протекания химических процессов, ниже 5000 К, не превышает  $10^3$  К/с. Поэтому к анализу механизма химических реакций в условиях ЭВП может быть привлечен такой термодинамический параметр как энергия Гиббса.

Как известно, знак энергии Гиббса  $\Delta G$  позволяет судить о принципиальной возможности или невозможности осуществления процесса, в том числе химической реакции. Условием принципиальной возможности процесса является  $\Delta G < 0$ .

Из уравнения для изменения энергии Гиббса следует, что с ростом температуры повышается роль энтропийного фактора:

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S,$$

где  $\Delta H$  и  $\Delta S$  – изменение энтальпии и энтропии при температуре  $T$ . Поэтому с повышением температуры преобладают процессы разложения, диссоциации.

В процессе взрыва и охлаждения продуктов диспергирования проводников происходит одновременно деструкция компонентов окружающей проводник среды и накопление активных атомов, молекул, кластеров – углерода в случае углеродсодержащих сред или кислорода в случае

кислородсодержащих сред. При достижении пороговой температуры образования определенного химического соединения ( $\Delta G < 0$ ) происходит формирование этого соединения. При достаточном охлаждении химический процесс затухает: фактором, ограничивающим протекание процесса, является кинетический параметр – активационный барьер. Уменьшение скорости химического взаимодействия, несмотря на термодинамическую разрешенность реакций ( $\Delta G < 0$ ) и смещение равновесия в системе металл-окислитель в сторону продуктов окисления, связано с нарастанием торможения диффузии окислителя через слой образовавшихся химических соединений.

Ранее был проведен ряд экспериментов по проверке термодинамических закономерностей при формировании химических соединений в процессе ЭВП [1, 3]. Например, были получены нанопорошки сложного композиционного состава  $AlN-Al_4C_3-Al$ . В качестве рабочей среды для электрического взрыва алюминиевых проводников использовалась суспензия гексаметилентетрамина (уротропина)  $(CH_2)_6N_4$  в жидком углеводороде декане  $C_{10}H_{22}$ . Выбор уротропина в качестве реагента связан с его свойством давать активные атомы азота при термораспаде:  $(CH_2)_6N_4 \rightarrow 4N + 6C + 6H_2$ . При высокотемпературном пиролизе жидкого углеводорода образуются активные атомы углерода:  $C_{10}H_{22} \rightarrow 10C + 11H_2$ . Проводники взрывались при значении введенной в проводник энергии  $e/e_c = 1,2$  ( $e$  – удельная введенная в проводник энергия,  $e_c$  – энергия сублимации материала проводника). По данным рентгенофазового анализа в составе продуктов электровзрыва был обнаружен нитрид алюминия (22,5 %), карбид алюминия (25 %) и непрореагировавший алюминий. Содержания химических соединений оценивали по соотношению интенсивностей их 100%-ных рефлексов и алюминия на рентгенограммах. В случае электрического взрыва титанового проводника в той же рабочей среде были получены нанопорошки карбида титана. Нитрид титана в продуктах ЭВП обнаружен не был.

Анализ зависимости энергии Гиббса от температуры [4] показал, что для титана при температуре выше 1847 К термодинамически более вероятной является реакция карбидообразования в сравнении с образованием нитрида:  $Ti_{ж} + C_{тв} = TiC_{тв}$ . При температуре плавления титана (1944 К) значения энергии Гиббса образования карбида и нитрида титана будут следующие:  $|\Delta G_{TiC}| = 166$  кДж/моль,  $|\Delta G_{TiN}| = 155$  кДж/моль, причем с ростом температуры разность между  $|\Delta G_{TiC}|$  и  $|\Delta G_{TiN}|$  увеличивается. На более поздних стадиях процесса охлаждения продуктов диспергирования проводника, при температуре ниже 1847 К,  $|\Delta G_{TiC}|$  становится меньше, чем  $|\Delta G_{TiN}|$ , но образующийся слой карбида затрудняет диффузию азота к металлу. Поэтому в продуктах электровзрыва титановых проводников обнаружен только карбид титана.

Верхние температурные границы стабильности карбида алюминия и нитрида алюминия примерно одинаковы. Нитрид алюминия сублимирует при температуре, равной 2723 К [4]. При 2700 К значения энергии Гиббса образования карбида и нитрида алюминия таковы:  $|\Delta G_{Al_4C_3}| = 8,3$  кДж/моль, а  $|\Delta G_{AlN}| = 15,7$  кДж/моль. В случае электровзрыва алюминиевых проводников в суспензии гексаметилентетрамина в декане протекают следующие реакции:  $Al_{ж} + \frac{1}{2} N_{2г} = AlN_{тв}$ ,  $4Al_{ж} + 3C_{тв} = Al_4C_{3тв}$ . Сравнительно низкий выход карбида и нитрида алюминия при ЭВП объясняется тем, что температурный предел устойчивости данных соединений ограничивается ~3000 К. При электровзрыве алюминиевых проводников в используемой суспензии химическая реакция протекает при охлаждении первичных продуктов диспергирования за счет диффузии атомов углерода и азота в частицы алюминия. По мере протекания реакции на поверхности металлической частицы образуется слой химического соединения, ограничивающий диффузию атомов углерода и азота к металлу.

Таким образом, при ЭВП в многокомпонентных реакционных средах возможно получение нанопорошков сложного фазового и химического состава при условии близких величин верхней температурной границы устойчивости химических соединений. В случае различия этих величин образуется преимущественно продукт, устойчивый до более высоких температур. Анализ термодинамических характеристик реакций образования карбидов, нитридов, оксидов и сульфидов некоторых металлов позволил выбрать условия экспериментов для синтеза нанопорошков сложного композиционного состава  $MoS_2-MoC-Mo$  и  $WS_2-WC-W$ . Порошки такого состава представляют интерес для использования в качестве высокотемпературных твердых смазок, катализаторов в органическом синтезе, для производства твердых сплавов и композитных материалов, используемых в машиностроении, горнодобывающей промышленности и т.д. Недостатками известных способов получения сульфидов и карбидов молибдена и вольфрама является необходимость длительного нагревания реакционной смеси при повышенных температурах (4–8 ч), высокий расход электроэнергии [5, 6]. Рабочей средой может служить жидкий углеводород декан, а источником атомов серы – диметилсульфоксид  $C_2H_6OS$  – бесцветная жидкость с температурой кипения 189 °С.

### Список используемой литературы:

1. Ильин А.П., Назаренко О.Б. Синтез нанодисперсных карбидов металлов при электрическом взрыве проводников в жидком углеводороде // Перспективные материалы. – 2011. – № 3. – С. 93–97.
2. Бурцев В.А., Калинин Н.В., Лучинский А.В. Электрический взрыв проводников и его применение в электрофизических установках. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 289 с.
3. Назаренко О.Б. Влияние условий синтеза на свойства электровзрывных нанопорошков карбидов металлов // Известия Томского политехнического университета. – 2003. – Т. 306. – № 6. – С. 62 – 66.
4. Куликов И.С. Термодинамика карбидов и нитридов: Справочник. – Челябинск: Metallurgia, 1988. – 320 с.
5. Самсонов Г. В., Дроздова С.В. Сульфиды. – М.: Metallurgia, 1972. – 304 с.
6. Большаков К.А. Химия и технология редких и рассеянных элементов. – М.: Высш. шк., 1976. – Т. 3. – 320 с.

УДК 628.316

### Изучение возможности очистки воды от фосфатов на фильтре с цеолитовой загрузкой

*А.С. Вейсгейм, Р.Ф. Зарубина, Е.А. Назорных, О.Б. Назаренко*

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

*E-mail: obnaz@mail.ru*

Исследована возможность очистки воды от фосфат-ионов при использовании в качестве фильтрующей загрузки природного цеолита Бадинского месторождения. Установлено влияние скорости фильтрации раствора на эффективность очистки. Механизмом удаления фосфатов является химическое осаждение фосфатов на ионах кальция.

**Введение.** В последние десятилетия наблюдается ухудшение качественных показателей состояния водных объектов, используемых для хозяйственной деятельности. Это связано с увеличением объемов сброса в них сточных вод, содержащих большое количество вредных веществ, в том числе соединений фосфора и азота.

Поступление в природные водоемы со сточными водами биогенных веществ в повышенных концентрациях вызывает в них нарушение естественного равновесия, приводит к их эвтрофикации, уменьшению содержания растворенного кислорода, оказывает токсическое влияние на рыб, вследствие чего они включены в число главных показателей при оценке степени загрязнения водоисточников. В связи с этим разработка эффективных методов удаления биогенных веществ из сточных вод является одной из важнейших проблем водоочистки.

На сегодняшний день существует большое количество различных методов обработки воды, многие из которых имеют ряд недостатков и не обеспечивают необходимую эффективность. Удаление из сточных вод соединений фосфора может быть осуществлено такими методами как биологический, адсорбционный, электрокоагуляционно-флотационный, реагентный [1]. Наиболее доступным и высокоэффективным для очистки больших объемов сточных вод считается реагентный, предусматривающий использование CaO, FeCl<sub>3</sub>, FeSO<sub>4</sub>, Fe<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> на различных стадиях очистки. При этом происходит загрязнение воды в зависимости от применяемых реагентов ионами железа, кальция, алюминия, а также хлоридами и сульфатами.

Одним из наиболее простых и дешевых способов очистки воды является фильтрование воды через природные сорбенты. Перспективным материалом для повышения качества воды являются природные цеолиты. Это широко распространенные и дешевые минералы, обладающие уникальным спектром физических, физико-химических, адсорбционных и ионообменных свойств, возможностью их модифицирования, утилизации и регенерации, благодаря чему они нашли широкое применение во многих отраслях народного хозяйства, в том числе и в практике очистки сточных вод [2, 3].

Ранее была показана высокая эффективность процесса очистки воды на природных цеолитах от примесей, характерных для подземных вод Томской области (ионов железа, марганца, кальция) [4, 5]. Концентрация примесей после очистки не превышала ПДК, что позволило рекомендовать исследованные цеолиты в технологии подготовки питьевой воды.

Целью данной работы является изучение возможности очистки модельных растворов от фосфат-ионов на фильтре с цеолитовой загрузкой.

Цеолиты относятся к группе каркасных алюмосиликатов, кристаллическая решетка которых образуется тетраэдрами  $[\text{SiO}_4]^{4-}$  и  $[\text{AlO}_4]^{5-}$ , объединенными общими вершинами в трехмерный каркас [6]. Структурная формула цеолита может быть представлена следующим образом:  $M_{m/n}[(\text{AlO}_2)_x(\text{SiO}_2)_y] \cdot z\text{H}_2\text{O}$ , где  $x+y$  – сумма тетраэдров в элементарной ячейке,  $m$  – число катионов  $M$  (калия, натрия, кальция, магния),  $n$  – валентность катиона. Наличие полостей и каналов в микроструктуре цеолитов, а также достаточно большая свобода движения катионов и молекул воды определяет уникальные свойства цеолитов. В водной среде цеолиты легко обменивают свои катионы ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  и др.) на другие катионы, находящиеся в растворе. В процессах адсорбции и ионного обмена цеолиты проявляют тенденцию к избирательному поглощению одних ионов или молекул перед другими (молекулярно-ситовые свойства).

В России цеолитовые породы широко распространены, причем более 70 % всего объема разведанных запасов природных цеолитов сосредоточено в Забайкалье. Бадинское месторождение, расположенное в Читинской области, является одним из наиболее крупных. Химический состав цеолитовой породы Бадинского месторождений представлен в табл. 1. По химическому составу данная цеолитовая порода относится к высококремнеземистой, характеризуется высоким отношением  $\text{Si}/\text{Al}$ , общее содержание  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  составляет 79,4...84 %.

Таблица 1

Химический состав природного цеолита Бадинского месторождения

Компонент	$\text{SiO}_2$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{TiO}_2$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{O}$
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

**Методики исследования.** Для исследований свойств бадинского цеолита и проведены следующие методы анализа: рентгенофазовый анализ (РФА) (дифрактометр ДРОН-3.0), термический анализ (термоанализатор SDT-Q600), инфракрасная (ИК) спектроскопия (спектрометр Nicolet 5700), фотоколориметрический анализ (фотоколориметр КФК-2).

В экспериментах использованы фракция цеолита размером 2,0 мм. В стеклянную колонку было помещено 25...70 мл цеолита. Перед экспериментом образец цеолита был промыт дистиллированной водой и высушен при температуре 20 °С.

Для изучения способности бадинского цеолита удалять фосфаты из воды были приготовлены модельные растворы из ГСО  $\text{PO}_4^-$  1 г/л на фоне натриевых солей. Предварительно образец цеолита промыли большим количеством городской водопроводной воды, которая характеризуется как гидрокарбонатная кальциевая. Такая обработка способствовала насыщению его ионами кальция. После этого цеолит промыли дистиллированной водой. Таким простым способом цеолит перевели в кальциевую форму, что позволит уменьшить расход реактивов в технологии водоочистки. Модельные растворы с концентрацией фосфатов 3,4...4,1 мг/л приготовили на фоне растворов солей натрия ( $\text{NaHCO}_3$  и  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ) и пропустили через колонку цеолитом с последовательным отбором проб по 50 мл. Скорость фильтрования растворов составляла 0,7; 1,6; 10 и 25 мл/мин. Производилась консервация проб хлороформом. Отобранные пробы отфильтровывались через бумажные фильтры, предварительно смоченные дистиллированной водой, что позволило избежать осаждения фосфатов на фильтре. Определение фосфатов проводили по методике РД 52.24.382-2006.

**Результаты и их обсуждение.** Согласно результатам РФА исследуемый образец цеолитсодержащей породы состоит из клиноптилолита (70...80 %), а также примесных пород – кварца, монтмориллонита, полевого шпата и кристобалита [7, 8]. С помощью термического анализа определено, что образец бадинского цеолита содержит в своем составе связанную и сорбированную воду. Кривая дегидратации как функция температуры является плавной, что характерно для фазы клиноптилолита [6]. 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 [7, 8].

Результаты определения фосфатов после фильтрования модельных растворов представлены на рис. 1.

Эффективность удаления фосфатов составила 22...78 % и определяется скоростью фильтрации. Наилучший результат удается достигнуть при наименьшей скорости фильтрации – 0,7 мл/мин.



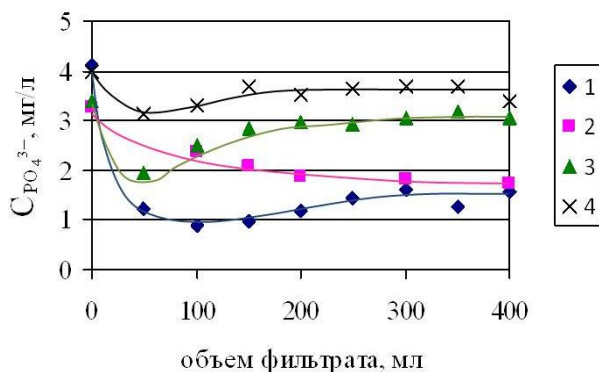
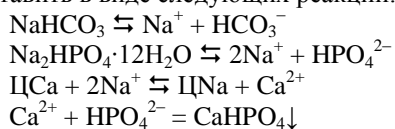


Рис. 1. Зависимость концентрации фосфатов от объема отфильтрованного раствора для разных скоростей фильтрации: 1 – 0,7; 2 – 1,6; 3 – 10; 4 – 25 мл/мин

Механизмом удаления фосфатов в условиях проведенных экспериментов является химическое осаждение. Химические процессы, протекающие в модельных растворах, можно представить в виде следующих реакций:



Происходит замещение ионов кальция цеолита на ионы натрия из раствора. Ионы кальция, поступающие в раствор в результате ионного обмена, связывают фосфаты в труднорастворимые соединения, которые затем отфильтровываются, что косвенно подтверждается уменьшением ионов натрия из модельных растворов (рис. 2).

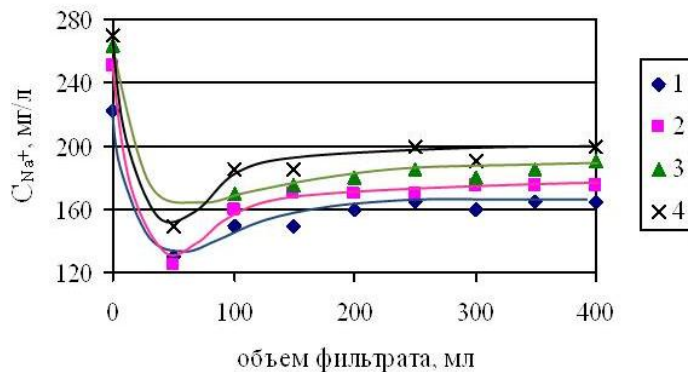


Рис. 2. Зависимость концентрации ионов натрия от объема отфильтрованного модельного раствора для разных скоростей фильтрации: 1 – 0,7; 2 – 1,6; 3 – 10; 4 – 25 мл/мин

**Заключение.** В ходе исследования был изучен альтернативный метод удаления фосфатов, основанный на образовании труднорастворимых соединений. Регулирование скорости фильтрации позволило подобрать наиболее оптимальные условия для удаления фосфатов. Наилучшего результата удалось достигнуть при наименьшей скорости фильтрации: эффективность удаления составила 78 % при скорости фильтрации 0,7 мл/мин. Однако, учитывая литературные данные о влиянии pH среды на эффективность очистки от фосфатов, необходимы дальнейшие исследования для достижения более высоких показателей очистки.

**Список используемой литературы:**

1. Залетова Н.А. Глубокое удаление азота и фосфора из сточных вод // Жилищное и коммунальное хозяйство. – 1993. – № 7. – С. 38–40.
2. Тарасевич Ю.И. Природные сорбенты в процессах очистки воды. – Киев: Наукова думка, 1981. – 207 с.
3. Челищев Н.Ф., Володин В.Ф., Крюков В.Л. Ионообменные свойства природных высококремнистых цеолитов. – М.: Наука, 1988. – 128 с.

4. Назаренко О.Б., Зарубина Р.Ф., Вейсгейм А.С. Применение сахаптинского цеолита для улучшения качества воды питьевого назначения // Известия Томского политехнического университета. – 2011. – Т. 319. – № 3. – С. 28–31.
5. Вейсгейм А.С., Зарубина Р.Ф., Назаренко О.Б. Улучшение качества воды питьевого назначения с помощью бадинского цеолита // Энергетика: экология, надежность, безопасность: Материалы докладов семнадцатой Всероссийской научно-технической конференции (Томск, 7–8 декабря 2011). – Томск: Изд-во СПб Графикс, 2011. – С. 268–271.
6. Брек Д. Цеолитовые молекулярные сита. – М.: Мир, 1976. – 781 с.
7. 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. – Режим доступа: <http://sjs.tpu.ru/journal/article/view/337>.
8. Nazarenko O. B., Zarubina R. F., Veysgeym A. S. Badinsk Zeolite Application for Ground Water Treatment // 7th International Forum on Strategic Technology (IFOST-2012): Proceedings: in 2 vol. – Tomsk: TPU Press, 2012. – Vol. 1. – PP. 15–18.

**Особенности проведения работ по ликвидации пожаров и аварийных ситуаций  
на объектах с наличием радиационных веществ**

***К.С. Скорюцина, Ю.В. Бородин***

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия  
krisrox2@mail.ru*

**1. Введение**

В настоящее время практически в любой отрасли хозяйства и науки во всё более возрастающих масштабах используются радиоактивные вещества и источники ионизирующих излучений.

Особенно высокими темпами развивается ядерная энергетика.

Ядерные материалы приходится транспортировать, хранить, перерабатывать. Все эти операции создают дополнительный риск радиоактивного загрязнения ОС, поражения людей, животных и растительного мира.

Основными поражающими факторами таких аварий являются радиационное воздействие и радиоактивное загрязнение.

Такие аварии могут сопровождаться взрывами и пожарами, которые в последствии очень сложно устранить, и техника устранения пожара на радиационно-опасном объекте (РО) отличается от техники устранения пожара в обычных условиях.

Радиационные катастрофы по тяжести поражения, масштабам и долговременности действия поражающих факторов представляют наибольшую опасность среди техногенных источников чрезвычайных ситуаций.

Следовательно, данная тема является чрезвычайно актуальной.

При написании доклада поставлены следующие цели: 1) проанализировать особенности пожара на радиационных объектах; 2) рассмотреть факторы, усложняющие процесс тушения, а также особенности тушения пожара на РОО в условиях ядерной и радиационной аварии. Также поставлены следующие задачи: 1) используя нормативно-правовую документацию, дать практические рекомендации по предотвращению пожара на РОО; 2) определить меры безопасности личного состава АСФ.

**2. Общие принципы к организации тушения пожаров на объектах с наличием радиоактивных веществ**

Аварии, связанные с выбросом в окружающую среду радиоактивных веществ (радиационные аварии) относятся к экологической катастрофе. Все радиоактивные загрязнители поступают в окружающую среду посредством выбросов и сбросов и относятся к антропогенным загрязнителям. В целях обеспечения безопасного ведения работ по ликвидации горения и чрезвычайных ситуаций на РОО, должностные лица органов управления и подразделений ГПС совместно с администрацией объекта, в соответствии с нормами радиационной безопасности, разрабатывают Инструкцию о порядке организации и проведения работ по ликвидации горения и ЧС на РОО. При разработке документа использованы результаты экспериментальных и теоретических исследований по обеспечению пожарной безопасности на РОО.

*При пожарах на объектах с наличием радиоактивных веществ возможно:*

- возникновение опасных уровней радиации;

- сильное задымление с наличием радиоактивных продуктов горения и их быстрое распространение по системам приточно-вытяжной вентиляции, с конвективными потоками через технологические и другие проемы, а также растекание радиоактивных жидкостей и растворов;
- радиоактивное облучение личного состава, загрязнение боевой одежды, пожарной техники радиоактивными веществами;
- быстрое распространение огня по горючим полимерным материалам, вентиляционным каналам, фильтрам, отходам механической обработки радиоактивных веществ;
- образование радиоактивного облака, его распространение в атмосфере и выпадение радиоактивных осадков на значительном расстоянии от места пожара (аварии).

Поэтому при организации тушения пожаров в условиях повышенного ионизирующего излучения необходимо в полной мере иметь четкое представление о горючих материалах, применяемых на объекте, об особенностях тушения электрооборудования, о составе сил и средств, привлекаемых для тушения пожара.

Боевые действия по тушению пожаров на объектах с наличием радиоактивных веществ определяются с учетом конкретной обстановки и в строгом соответствии с требованиями Боевого устава ГПС, а также методическими указаниями по составлению оперативных планов и карточек тушения пожаров на энергетических предприятиях.

Тушение пожаров на объектах с наличием радиоактивных веществ связано с преодолением значительного количества опасных факторов, которые должны быть по возможности учтены как при разработке планов тушения, так и при принятии оперативных решений в зависимости от сложившейся обстановки на пожаре.

Основным требованием при работе в условиях загрязнения территорий, зданий и помещений радиоактивными продуктами является защита личного состава от воздействия ионизирующих излучений.

### **3. Организация и особенности тушения пожаров на объектах с наличием радиоактивных веществ**

**Радиоактивное вещество** - вещество, не относящееся к ядерным материалам и испускающее ионизирующее излучение. Тушение пожаров и ликвидация аварий на объектах с наличием радиоактивных веществ должны проводиться под индивидуальным радиационным контролем по специальному допуску, в котором определяются предельная продолжительность работы, дополнительные средства защиты, фамилии участников и лица, ответственные за выполнение работ.

*При тушении пожаров на РОО необходимо:*

- Включить в состав оперативного штаба главных специалистов объекта и службы дозиметрического контроля;
- Установить вид и уровень радиации, границы опасной зоны и время работы личного состава на различных участках зоны. Допустимое время работы в смене определяется согласно федеральному законодательству по радиационной безопасности. Режим работы подразделений ГПС определяется руководителем тушения пожара (РТП);
- Приступить к тушению пожара только после получения письменного разрешения администрации предприятия, в том числе и в нерабочее время;
- По согласованию с администрацией объекта выбрать огнетушащие средства;
- При необходимости обеспечить личный состав специальными медицинскими препаратами;
- Организовать через администрацию объекта дозиметрический контроль, пункт дезактивации, санитарной обработки и медицинской помощи личному составу;
- Обеспечить тушение открытых технологических установок с наличием радиоактивных веществ и источников ионизирующих излучений с наветренной стороны;
- По согласованию с администрацией задействовать системы вентиляции и другие средства.

При дозах, приближающихся к допустимому порогу, администрация объекта обязана сообщить об этом РТП. При высоком уровне радиации подразделения ГПС выполняют свои функции по тушению пожара и ликвидации чрезвычайной ситуации только в том случае, если у них имеется достаточно сил и средств и каждому пожарному не грозит превышение предельной допустимой дозы. Регламентация планируемого повышенного облучения личного состава ГПС, привлекаемого к тушению пожара, определяется в соответствии с нормами радиационной безопасности НРБ-99.

Тушение пожара и ликвидация чрезвычайной ситуации на объектах с наличием радиоактивных веществ должны выполняться с привлечением минимально необходимого количества личного состава (с учетом резерва для сменного режима работы), обеспечив его изолирующими противогазами с масками, средствами индивидуального и группового дозиметрического контроля, защитной одеждой, с использованием пожарной и другой приспособленной техники для работы в условиях воздействия радиации. Нахождение личного состава на объекте должно четко отслеживаться по времени, чтобы не получить повышенный уровень радиации. Весь личный состав ГПС, задействованный в тушении пожаров и на РОО и в оперативно-режимных зонах, обеспечивается приборами дозиметрического контроля: индивидуальными дозиметрами, а также средствами индивидуальной защиты: респираторами, легкими защитными костюмами Л-1, защитными плащами ОП-1, СЗО-1. Для снижения степени распыления радиоактивной пыли и вероятности повторного возникновения пожара огнетушащие вещества необходимо подавать тонкораспыленными в виде мощных импульсных струй, распыляющихся на большие расстояния, и только по горячей поверхности.

#### **4. Заключение**

**Радиационная авария** - происшествие, приведшее к выбросу радиоактивных продуктов и ионизирующих излучений, превышающих установленные нормы безопасности. Аварии с выбросом (угрозой выброса) радиоактивных веществ возникают на РОО: атомных станциях, предприятиях по изготовлению и переработке ядерного топлива, захоронению радиоактивных отходов и др.

При аварии на РОО с целью обнаружения зон радиоактивного загрязнения (районов и объектов), определения уровней радиации в местах формирования, размещения, действий и маршрутов выдвижения сил и средств ГПС одновременно с пожарной должна проводиться радиационная разведка, при этом в состав группы разведки должен быть включен дозиметрист.

В подразделениях ГПС, задействованных в тушении пожаров на РОО радиационная разведка проводится табельными средствами разведки, постоянно поддерживается связь с дозиметрической службой РОО.

Для ликвидации ЧС на РОО необходимо использовать пожарную и другую технику, имеющую защиту от радиации. При возможности оборудовать пожарную технику противорадиационным надбоем и подбоем.

Пункты сбора (размещения) резервных сил и средств не должны располагаться с подветренной стороны от источников радиоактивного излучения.

На территории РОО сосредоточивается минимальная часть сил и средств ГПС, которые необходимы для выполнения неотложных работ по тушению пожара. Остальные силы и средства отводятся за пределы территории РОО и располагаются на безопасном расстоянии.

Постовой на посту безопасности заполняет Журнал учета работы личного состава подразделений ГПС в условиях радиации.

Работа личного состава АСФ в условии пожара на РОО должна быть четко организована, отлажена. Личный состав, непосредственно участвующий в тушении пожара на РОО должен быть снабжен СИЗ; время нахождения на объекте должно быть четко определено, оно зависит от уровня радиации. Личный состав АСФ должен проходить подготовку по программе, согласованной с администрацией РОО.

В основу планирования тушения пожара на РОО должен быть положен принцип сохранения в условиях пожара функций систем, важных для безопасности, и возможности осуществления безопасного останова и расхолаживания реакторной установки, а также предотвращения радиоактивных выбросов в окружающую среду.

#### **Список используемой литературы:**

1. Бариев Э.Р. Основы тактики тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ / Э.Р.Бариев, Г.Ф.Ласута, А.В.Врублевский и др. – Мн.: КИИ МЧС Республики Беларусь, 2008. – 168 с.
2. Повзик Я.С. Пожарная тактика. Учебник / Повзик Я.С. - М.: ЗАО «Спецтехника», 2004. - 416 с.
3. Приказ МВД России от 05.07.95 г. № 257 «Об утверждении нормативных правовых актов в области организации деятельности Государственной противопожарной службы». Приложение 1. Устав службы пожарной охраны.
4. Приказ МВД России от 05.07.95 г. № 257 «Об утверждении нормативных правовых актов в области организации деятельности Государственной противопожарной службы». Приложение 2. Боевой устав пожарной охраны.

5. Терехнев В.В. Пожарная тактика / В.В.Терехнев, А.В.Подгрушный. – М.: ГПС МЧС России, 2007. - 580 с.
6. Терехнев В.В. Справочник руководителя тушения пожара. Тактические возможности пожарных подразделений / В.В.Терехнев. - М.: Пожкнига, 2004. 248 с.
7. Учет, контроль и физическая защита ядерных материалов: Терминологический справочник. - М., 2000.

УДК 628.316

**Разработка технологии для очистки и обеззараживания питьевой воды в чрезвычайных ситуациях**

***В.В. Смирнова, О.Б. Назаренко***

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

***E-mail: vv\_smirnova@sibmail.com***

Исследованы сорбционные характеристики модифицированного диоксида титана, полученного обработкой ультразвуком и постоянным электрическим полем в среде различных электролитов. Полученные образцы диоксида титана апробированы в процессах сорбции растворимых примесей тяжелых металлов. Исследована термическая устойчивость образцов при нагревании, а также влияние кислотности растворов на модифицирование поверхности.

В настоящее время в мире наблюдается нарастание дефицита чистой питьевой воды, поэтому приоритетным направлением водохозяйственного комплекса является совершенствование технологии водоподготовки питьевой воды, а также внедрение новых технологий водоочистки. В то же время, необходимы не только полифункциональные сорбенты растворимых примесей, но и сорбенты, обладающие способностью одновременно обеззараживать питьевую воду без использования хлора, озона, гипохлорита и других токсичных веществ. Глубокая очистка воды особенно необходима при ликвидации различных эпидемий и результатов природных и техногенных катастроф. В ряде публикаций российских и зарубежных ученых представлены результаты об уникальных свойствах диоксида титана, которые связаны не только с его сорбционными характеристиками по отношению к растворимым примесям тяжелых металлов, но и со значительной бактерицидной активностью.

Целью данной работы являлось исследование сорбционных характеристик модифицированного диоксида титана и разработка технологии очистки и обеззараживания питьевой воды на его основе.

В работе использовали реактив – диоксид титана (осч), обработанный ультразвуком ( $22 \text{ кГц}$ ,  $0,15 \text{ Вт/см}^2$ ) и постоянным электрическим полем ( $2 \text{ кВ/м}$ ) в различных растворах. Для создания нейтральной среды использовали дистиллированную воду (образец S1) и  $0,2 \text{ н}$  раствор NaCl (S4); щелочной –  $0,2 \text{ н}$  раствор NaOH (S7); кислой –  $0,2 \text{ н}$  раствор HCl (S10). Постоянное электрическое поле создавалось двумя параллельными титановыми электродами (BT 1/0).

Полученные образцы диоксида титана высушивали в атмосфере воздуха при  $110 \text{ }^\circ\text{C}$  и анализировали с помощью термоанализатора Q 600 SDT Научно-аналитического центра Томского политехнического университета. Нагрев образцов проводили до  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$  со скоростью  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  в минуту, атмосфера – воздух. Для сравнения полученных результатов проводили термоанализ исходного реактива диоксида титана (P1) в тех же условиях.

При нагревании образца P1 (рис. 1) наблюдалось снижение веса образца ступенчато: первая стадия – до  $318 \text{ }^\circ\text{C}$ , вторая – до  $560 \text{ }^\circ\text{C}$ , третья –  $830 \text{ }^\circ\text{C}$ , что свидетельствует о наличии адсорбированной воды и других примесей на поверхности диоксида титана (осч). После обработки образца P1 ультразвуком (УЗ) и постоянным электрическим полем в дистиллированной воде (S1) наблюдалось плавное снижение веса от комнатной температуры до  $350 \text{ }^\circ\text{C}$  без заметной стадийности процессов десорбции. При дальнейшем нагревании до  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$  вес образца не менялся (рис. 2, а). Вероятно, при обработке в дистиллированной воде примеси с поверхности образца были вытеснены молекулами воды. Это предположение нашло подтверждение: при обработке образца P1 в растворе NaCl: в условиях воздействия УЗ и постоянного электрического поля поверхность диоксида титана была трансформирована в новое соединение оксохлорид титана (S4), который адсорбировал небольшое количество воды (2 мас. %), и при дальнейшем нагревании до  $910 \text{ }^\circ\text{C}$  вес образца уменьшился на 6 мас. % (рис. 2, б). По-видимому, образующийся на

поверхности диоксида титана оксохлорид титана при 780 °С разложился и перешел в диоксид титана.

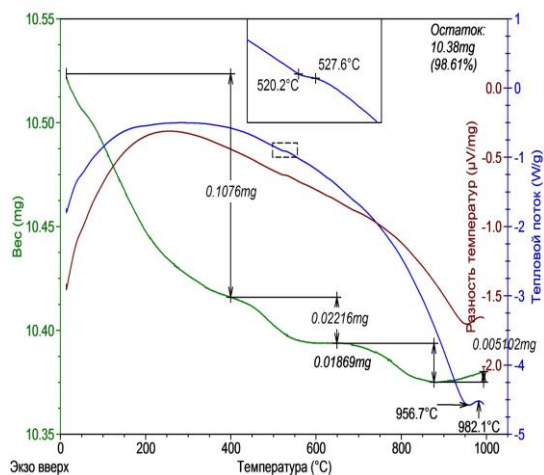


Рис. 1. Термограммы исходного реактива диоксида титана (осч)

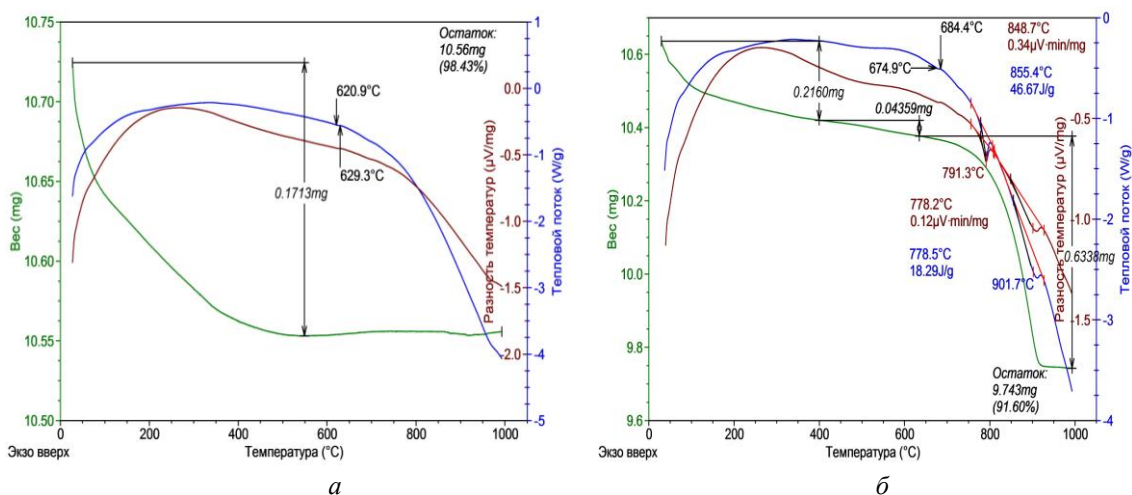


Рис. 2. Термограммы диоксида титана, обработанного ультразвуком и постоянным электрическим полем: а – в дистиллированной воде, б – в среде 0,2 н раствора NaCl

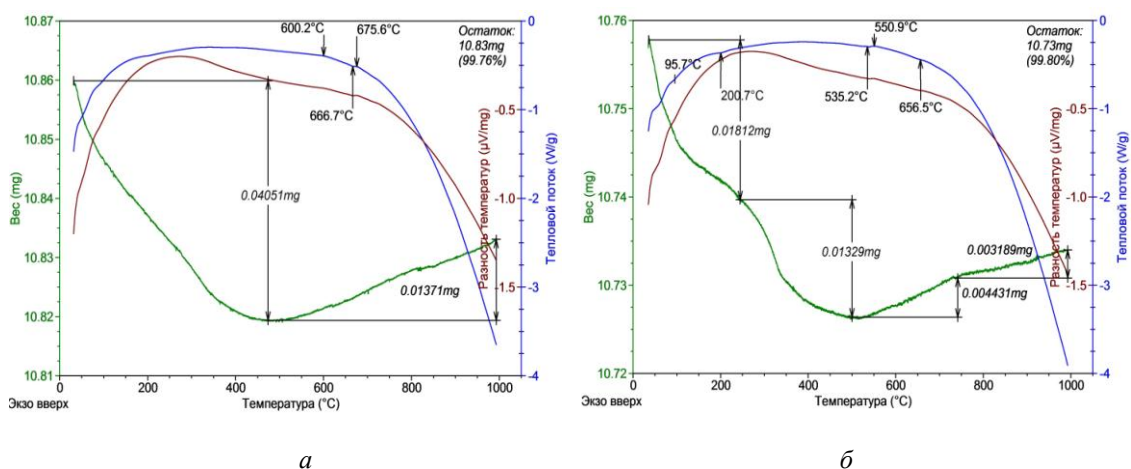


Рис. 3. Термограммы диоксида титана, обработанного ультразвуком и постоянным электрическим полем: а – в среде 0,2 н раствора NaOH, б – в среде 0,2 н раствора HCl

В работе также исследовано влияние кислотности растворов на модифицирование поверхности диоксида титана: термограмма образца, обработанная УЗ и постоянным электрическим полем в 0, 2 н растворе NaOH (рис. 3, а) сходна с термограммой диоксида титана, обработанного в дистиллированной воде (рис. 2, а), за исключением характера ТГ- зависимости при нагревании свыше 500 °С. При повышенных температурах наблюдался рост веса образца и, к 1000 °С он составил 0,126 мас. %. Увеличение веса образца P1, обработанного в 0,2 н растворе HCl (рис. 3, б), также наблюдалось при повышенных температурах (> 560 °С), но это увеличение было не столь значительно по сравнению с образцом, обработанном в растворе щелочи (0,071 мас. %). В то же время процесс десорбции примесей с поверхности для образца S10 (рис. 3, б) протекала в две стадии, что, возможно, связано с десорбцией двух видов сорбированной воды.

Полученные экспериментальные результаты по модифицированию поверхности диоксида титана представлены в таблице 1.

Таблица 1. Расчетные значения скоростей процессов сорбции-десорбции при нагревании образцов диоксида титана в атмосфере воздуха

№, п/п	Образец	Скорость изменения веса образца, мг/мин			Примечание
		> 600 °С		< 600 °С	
1	P1	-1,8·10 <sup>-3</sup> *	-1,50·10 <sup>-3</sup>	-1,45·10 <sup>-3</sup>	реактив
2	S1	-2,5·10 <sup>-3</sup>		0,00	среда H <sub>2</sub> O
3	S4	-0,40·10 <sup>-3</sup>		-0,51·10 <sup>-3</sup>	среда NaCl
4	S7	-1,90·10 <sup>-3</sup>		+0,5·10 <sup>-3</sup>	среда NaOH
5	S10	-1,12·10 <sup>-3</sup>	+0,24·10 <sup>-3</sup>	+0,18·10 <sup>-3</sup>	среда HCl

\*Знак минус означает уменьшение веса образца, а плюс – увеличение.

Обработанные УЗ и постоянным электрическим полем в среде различных электролитов образцы диоксида титана были апробированы в процессах сорбции растворимых примесей тяжелых металлов [1, 2]. Исходная концентрация примесей в модельных растворах составила: по железу – 3 мг/л, по марганцу – 1 мг/л. Результаты проведенных исследований представлены в таблице 2.

Таблица 2. Остаточное содержание примесей Fe<sup>+2</sup> и Mn<sup>+2</sup> после их сорбции образцами TiO<sub>2</sub>

Образцы сорбента		P1		S1		S4		S7		S10	
Введено - найдено		Введено 3 мг/л Fe <sup>+2</sup>	Введено 1 мг/л Mn <sup>+2</sup>	Введено 3 мг/л Fe <sup>+2</sup>	Введено 1 мг/л Mn <sup>+2</sup>	Введено 3 мг/л Fe <sup>+2</sup>	Введено 1 мг/л Mn <sup>+2</sup>	Введено 3 мг/л Fe <sup>+2</sup>	Введено 1 мг/л Mn <sup>+2</sup>	Введено 3 мг/л Fe <sup>+2</sup>	Введено 1 мг/л Mn <sup>+2</sup>
Найдено, мг/л	Через 20 мин	1,42	0,56	0,90	0,31	1,01	0,31	0,53	0,24	1,12	0,31
	Через 60 мин	1,25	0,53	0,69	0,27	0,59	0,21	0,90	0,64	1,10	0,27

Согласно полученным результатам максимальной сорбционной емкостью по отношению к растворимым примесям тяжелых металлов обладали образцы S7 и S10, сорбционная емкость которых максимальна: снижение концентрации примесей железа составило 6 раз, марганца – 4 раза.

Таким образом, модифицированный диоксид титана может быть использован в технологии статической очистки загрязненной воды и доведение ее параметров до уровня ГОСТ для питьевых вод. Кроме того, в технологии водоочистки использование диоксида титана перспективно в связи с его бактерицидными свойствами, что позволяет одновременно совместить в технологии водоочистки две стадии: сорбцию растворимых примесей и обеззараживание. Такая технология актуальна в чрезвычайных ситуациях: природных и техногенных катастрофах.

#### Список используемой литературы:

1. Смирнова В.В., Божко П.В., Коновчук Т.В. // Современная техника и технологии: Труды XVII Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых (СТТ – 2012). – Томск: ТПУ, 2012. – С. 178–179.

2. Смирнова В.В., Назаренко О.Б. // Перспективы развития фундаментальных наук: Труды IX международной конференции студентов и молодых ученых. – Томск: ТПУ, 2012. – С. 482–484.

УДК: 53.082.534

**Определение параметров измерительного комплекса, реализующего турбидиметрический высокоселективный метод**

***С.С. Титов<sup>1</sup>, А.А. Павленко<sup>1</sup>, Б.В. Борисов<sup>2;3</sup>***

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук, г. Бийск, Россия*

<sup>1</sup> – *Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук, г. Бийск, Россия*

<sup>2</sup> – *Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

<sup>3</sup> – *Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия*

***E-mail: titov.sergey.s@gmail.com***

Приведена реализация турбидиметрического высокоселективного метода определения параметров аэрозольных сред в виде экспериментального измерительного комплекса. Определены погрешности определения дисперсности многофазных сред разработанным измерительным комплексом.

Аэрозольные среды часто применяются в различных технологических процессах. При этом такие характеристики аэрозоля как дисперсность и концентрация конденсированной фазы являются факторами, определяющими свойства выходного продукта. А при использовании аэрозолей с размерами частиц субмикронного диапазона, выходной продукт приобретает качественно новые свойства, либо существенно изменяются параметры самого технологического процесса. В этом случае измерение и контроль параметров гетерогенной среды особенно необходим как при настройке, так и в процессе работы оборудования. Аэрозольные среды также широко распространены в природе и измерение их дисперсных характеристик необходимо для оценки климатической ситуации и экологической обстановки. Наиболее полно удовлетворяют требованиям измерения и контроля параметров конденсированной фазы прибор, не вносящий искажений в исследуемую среду и восстанавливающий функцию распределения частиц по размерам в диапазоне от десятков нанометров до единиц микрометров. Таким прибором является разработанный программно-аппаратный измерительный комплекс, реализующий турбидиметрический высокоселективный метод (ТВСМ) определения параметров аэрозольных сред.

Для восстановления функции распределения частиц по размерам в ТВСМ применяется уравнение:

$$I(\lambda, t) = I_0(\lambda, t) \exp \left[ -\frac{\pi C_n(t) l(t)}{4} \int_0^{\infty} Q \left( \frac{\pi D}{\lambda}, m(\lambda) \right) D^2 f(D, t) dD \right], \quad (1)$$

где  $I(\lambda, t)$  – интенсивность прошедшего через аэрозоль излучения;  $I_0(\lambda, t)$  – интенсивность зондирующего излучения;  $C_n$  – счётная концентрация конденсированной фазы аэрозоля;  $l(t)$  – длина оптического пути;  $Q \left( \frac{\pi D}{\lambda}, m(\lambda) \right)$  – фактор эффективности ослабления зондирующего излучения;  $D$  – диаметр частиц;  $\lambda$  – длина волны зондирующего излучения;  $m(\lambda)$  – комплексный показатель преломления конденсированной фазы аэрозоля;  $f(D, t)$  – функция распределения частиц по размерам. Чтобы решить задачу восстановления функции распределения частиц по размерам с использованием уравнения (1) применяется экспериментальная информация о коэффициенте спектральной прозрачности, полученном в виде:

$$\tau_{\lambda}(t) = \ln \frac{I_0(\lambda, t)}{I(\lambda, t)}. \quad (2)$$

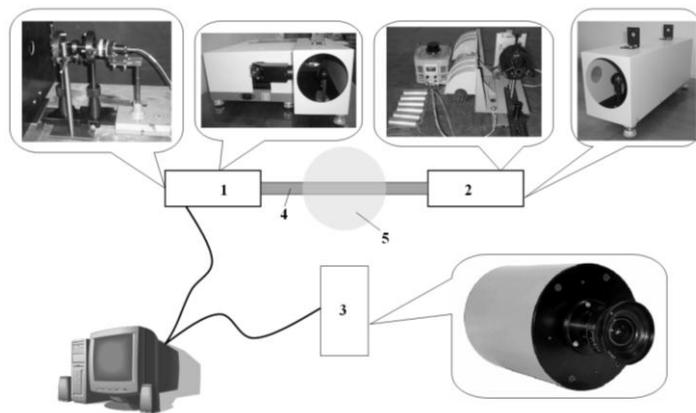
В выражении (2) величины  $I_0(\lambda, t)$  и  $I(\lambda, t)$  получают путём прямых измерений в широком диапазоне длин волн. Далее осуществляется расчёт ансамбля значений коэффициентов спектральной прозрачности по формуле (1) для различного вида функции распределения частиц



по размерам и проводится сравнение экспериментально полученных данных с теоретически найденными. По минимальной величине отклонения результатов эксперимента от расчётной величины, делается выбор вида функции распределения частиц по размерам. Все расчёты выполняются в строгом соответствии с теорией Ми без допущений и упрощений. Для уменьшения количества априорных данных предлагаемый метод ТВСМ реализован через сравнение не абсолютных значений величин коэффициентов спектральной прозрачности, а их отношений для некоторых длин волн [1]. При этом, как показали математические исследования, алгоритм выбора этих длин волн никак не влияет на точность и устойчивость метода.

Разработанный алгоритм ТВСМ обладает рядом достоинств, которых нет у приборов реализующих подобные функции с использованием метода спектральной прозрачности или других оптических методов. Это новый метод решения обратной задачи оптики аэрозолей, позволяющий избавиться от некорректности её постановки. Существенным достижением данного метода является простота регулирования диапазона размеров исследуемых частиц, которое осуществляется изменением диапазона длин волн зондирующего излучения. Также, большим преимуществом разработанного метода является возможность проводить исследования как в потоке, так и в кювете.

Схема экспериментального комплекса, реализующего ТВСМ, приведена на рис. 1. В разработанном комплексе (рис. 1) в качестве источника и приёмника оптического излучения применяется различная аппаратура в зависимости от диапазона размеров частиц исследуемого аэрозоля. Для среднедисперсных аэрозолей (размеры частиц от 1 до 10 мкм) приёмником оптического излучения служит инфракрасный Фурье-спектрометр «Инфралюм ФТ-801», а источником излучения – инфракрасный прожектор, диапазон исследуемых длин волн для данной реализации 1,8 – 18 мкм. Для субмикронных аэрозолей приёмником излучения является спектрально-аналитический анализатор на базе спектрометра S125-2048/14, измерение интенсивности излучения осуществлялось на участке длин волн от 360 до 1100 нм, а источником излучения – галогенная газонаполненная лампа. Для определения пространственно-временных характеристик аэрозольного облака применяется камера скоростной видеосъёмки ВидеоСпринт /G4/NG. Вся информация с оборудования поступает на компьютер, где осуществляется её обработка с использованием разработанного программного обеспечения.



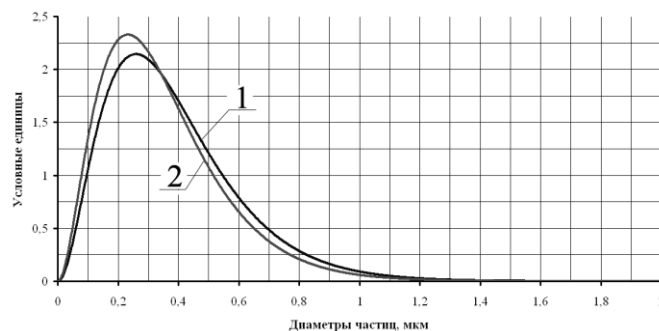
**Рис. 1.** Схема экспериментального комплекса: 1 – приёмник зондирующего излучения; 2 – источник зондирующего излучения; 3 – камера скоростной видеосъёмки; 4 – коллимированный поток оптического излучения; 5 – облако исследуемого аэрозоля

Для оценки точности определения дисперсных характеристик многофазных сред с использованием разработанного экспериментального комплекса наиболее информативным будет сравнение полученных данных с результатами измерений, полученными отличными от реализованного метода способами отдельно для аэрозолей с преобладанием частиц размером менее 1 мкм и для среднедисперсных аэрозолей.

При проведении тестовых экспериментов по определению работоспособности разработанного экспериментального комплекса и адекватности нового метода определения дисперсности (ТВСМ) применительно к субмикронным аэрозолям, осуществлялось восстановление функции распределения частиц по размерам химически чистого субмикронного порошка оксида алюминия ( $Al_2O_3$ ), который помещался в дистиллированную воду. В качестве метода определения дисперсности, с использованием которого возможно оценить точность разработанного экспериментального комплекса, выбрана электронная микроскопия. С использованием

сканирующего электронного микроскопа JSM-840 было получено несколько серий фотографий порошка оксида алюминия, с различным увеличением и разрешением. Далее, по полученным фотографиям, с использованием специализированного программного средства, осуществлялось восстановление функции распределения частиц порошка оксида алюминия по размерам.

Полученные, в результате использования электронной микроскопии и экспериментального комплекса, реализующего ТВСМ, функции распределения частиц по размерам представлены на рис. 2.

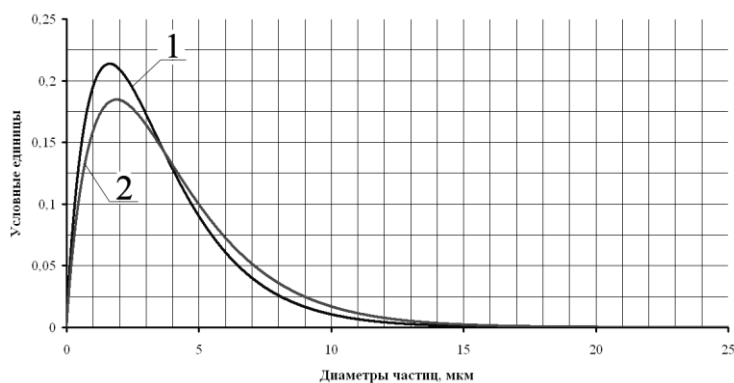


**Рис. 2.** Функции распределения частиц по размерам, полученные: с использованием ТВСМ (1); с помощью электронной микроскопии (2)

В результате сравнения полученных данных установлено, что погрешность определения функции распределения частиц по размерам с использованием разработанного метода и реализующего его экспериментального комплекса в области субмикронных частиц составляет 13 %.

Для оценки точности определения характеристик многофазных сред с помощью разработанного экспериментального комплекса применительно к среднedisперсным аэрозолям, привлекались данные полученные с помощью метода малоуглового рассеяния [2].

С помощью генератора холодного аэрозоля «NEBULO» создавался аэрозоль при расходе дистиллированной воды 5 мл/мин. В результате применения разработанного экспериментального комплекса была получена счётная функция распределения частиц по размерам, вид которой приведён на рис. 3 (кривая 1).



**Рис. 3.** Функции распределения частиц по размерам аэрозоля, создаваемого генератором NEBULO: 1 – определённая ТВСМ; 2 – полученная с использованием метода малых углов

Также счётная функция распределения частиц по размерам для данного расхода была измерена с помощью установки ЛИД-2М, реализующей метод малоуглового рассеяния [2] (кривая 2 на рис. 3). Различие между восстановленными функциями распределения, полученными с помощью разработанного метода и установки, основанной на методе малых углов, составило 15 %.

В результате выполненной работы установлена работоспособность разработанного измерительного комплекса при проведении модельных тестовых экспериментов по определению дисперсности субмикронного порошка оксида алюминия и аэрозоля, получаемого с использованием генератора Nebulo. Определены погрешности измерения дисперсности разработанным комплексом для субмикронных и среднedisперсных аэрозолей, которые составили 13 % и 15 % соответственно.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, номер проекта 12-02-90816.

#### Список использованных источников

1. Турбидиметрический метод определения параметров субмикронных аэрозольных сред / Титов С.С., Павленко А.А., Кудряшова О.Б., Архипов В.А., Бондарчук С.С. // Автотметрия. – 2012. – № 3, том 48. – С. 68 – 74.
2. Ахмадеев И.Р. Метод и быстродействующая лазерная установка для исследования генезиса техногенного аэрозоля по рассеянию луча в контролируемом объеме: дис ... канд. тех. наук. – АлтГТУ – Бийск, 2008. – 98 с.

УДК 66.974.434

#### Вариант повышения экологичности водоподготовительной установки ТЭС

*К.Ю. Афанасьев*

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

*E-mail: afalina1@sibmail.com*

Показана возможность утилизации сточных вод водоподготовительной установки ТЭС. Проводится краткий анализ химического и термического обезвреживания стоков, предлагается несколько вариантов термической утилизации и оптимизация схем упаривания с использованием аппарата погружного горения. Сделан вывод об эффективности предложенной схемы, как на ТЭС, так и на других промышленных предприятиях.

На большинстве тепловых электростанций имеется значительное количество сточных вод, достигающих 10-14% от количества воды, поступающей на теплоэлектростанцию (ТЭС). Это ведет к нерациональному расходованию предварительно очищенной сырой воды и развитию проблемы эффективной утилизации больших объемов стоков.

Стоки водоподготовительных установок, образующиеся при обмывке и регенерации катионитных и анионитных фильтров ТЭС, токсичны и при существующих объемах водоотведения представляют собой серьезную экологическую опасность. Очистка этих сточных вод до параметров, предусмотренных действующими в настоящее время нормативными требованиями, традиционными способами ведет к использованию крупномасштабных физико-химических и биолого-химических очистных сооружений, поэтому на большинстве электростанций их сливают в пруды-накопители шлама. Все это создает предпосылки для поиска более компактных и эффективных методов очистки сточных вод. В связи с этим является необходимым реконструкция существующих очистных сооружений или строительство новых с использованием нестандартных подходов.

Наиболее перспективными направлениями защиты окружающей среды от сточных вод энергетических предприятий в сложившихся условиях стоит считать создание бессточных технологических производств, а также разработку и внедрение систем переработки отходов производства во вторичные материальные ресурсы [1].

Сточные воды, содержащие грубодисперсные примеси, большое количество растворенных солей (по преимуществу сульфат натрия) и ненормированный водородный показатель поступают от водоподготовительных установок. Высокий солевой состав этих вод не позволяет использовать их в оборотном водоснабжении.

Если избавление от грубодисперсных примесей и регулирование pH не представляет труда, то снижение концентрации истинно-растворенных примесей должно сводиться к повторному проведению тех же самых процессов, которые использовались на водоподготовительных установках. Это, в конечном счете, приведет к резкому возрастанию количества сбрасываемых солей со значительным увеличением суммарных затрат на очистку воды [2].

Проведенный анализ показал, что при обессоливании сточных вод, в которых содержание анионов сильных кислот превышает 5 мг экв/кг, экономичнее использовать термическое обессоливание [3].

Наиболее подходящие для выпаривания сточных вод испарительные установки условно можно разделить на те, в которых раствор контактирует и не контактирует с поверхностью нагрева. В установках первого типа образуются отложения солей с соответствующим снижением плотности теплового потока и производительности установок. При этом неизбежны периодические остановки на чистку поверхности нагрева, снижающие технико-экономические показатели и усложняющие эксплуатацию установок. Степень концентрирования в них существенно ограничена из-за резкого увеличения отложений с ростом концентрации раствора [4]. В установках второго типа, к которым относятся аппараты погружного горения (АПГ), данные проблемы отсутствуют. Также стоит отметить возможную эффективность применения установок

мгновенного испарения (УМИ) для концентрирования раствора до 10-15%, учитывая, что работать они могут на низкотемпературных вторичных энергоресурсах.

В ходе работы были разработаны и проанализированы четыре схемы для упаривания сточных вод, образующихся после регенерации и обмывки катионитных и анионитных фильтров водоподготовительной установки ТЭС. В результате была выбрана схема, представленная на рисунке 1.

Ее отличительной особенностью является использование на первой степени упаривания установки мгновенного испарения (УМИ), благодаря чему удастся снизить расход природного газа более чем в 3 раза.

В предложенной схеме подлежащие выпариванию стоки из сборника 5 насосом подают в аппарат мгновенного вскипания 6, который работает за счет ранее не используемых вторичных энергоресурсов, далее раствор с повышенной концентрацией поступает в АПГ 1 с газовой погружной горелкой 2. В скруббер Вентури 3 на промывку и охлаждение уходящей из аппарата парогазовой смеси подается сконденсированная вода из аппарата мгновенного вскипания, которая циркулирует с помощью насоса. Отделение стоков от парогазовой смеси происходит в циклоне 4. Вода вместе с конденсатом из циклона 4 подается в систему оборотного водоснабжения. Частично охлажденные дымовые газы идут в сушильную установку 10, после чего выбрасываются в атмосферу через дымовую трубу. Упаренный раствор подается из АПГ в отстойник 9, снабженный механической мешалкой. Осветленный маточный раствор из верхней части отстойника переливается в сборник 8 и снова поступает на выпаривание, а образовавшийся на дне выпаренный продукт периодически выводится через нижний патрубок в сушильную установку 10, использующую в качестве теплоносителя уходящие газы АПГ.

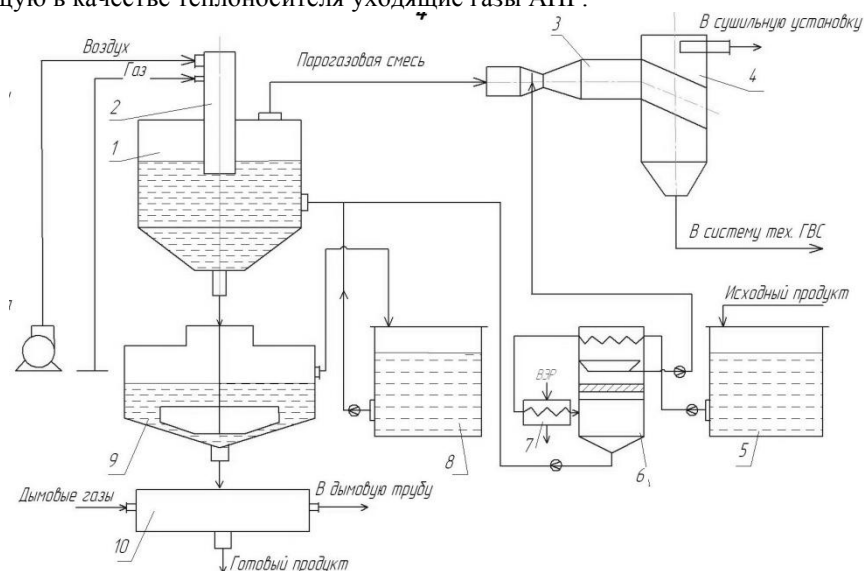


Рис. 1. Схема утилизации сточных вод.

При использовании на первой ступени УМИ необходимо отметить, что низкотемпературный вторичный энергоресурс, служащий для нагрева исходного продукта в теплообменнике 7, может иметь различную температуру, в то время как тепловая нагрузка теплообменника должна обеспечивать заданную температуру воды на выходе из подогревателя. Поэтому необходимо постоянное регулирование расхода дымовых газов, поступающих от вторичных источников, а также необходим постоянный контроль за температурой и расходом воды до и после подогревателя. Оптимизировать эти процессы возможно путем создания системы автоматического контроля и регулирования температуры теплоносителя на входе в установку мгновенного испарения. Разработанная система представлена на рисунке 2.

Предложенное решение позволит использовать в качестве теплоносителя для УМИ различные вторичные энергетические ресурсы с переменной температурой, так как тепловой баланс контролируется автоматически.

Таким образом, на основе установки мгновенного испарения, аппарата погружного горения и сушильной установки возможно создание эффективной малоотходной схемы утилизации стоков водоподготовительной установки ТЭС с возможностью максимального концентрирования и выделения вторичного материального ресурса. Все это позволит существенно снизить объем

стоков станции, площадь прудов-накопителей шлама и потребление свежей воды из природных источников, а значит, негативное воздействие на окружающую среду существенно снизится.

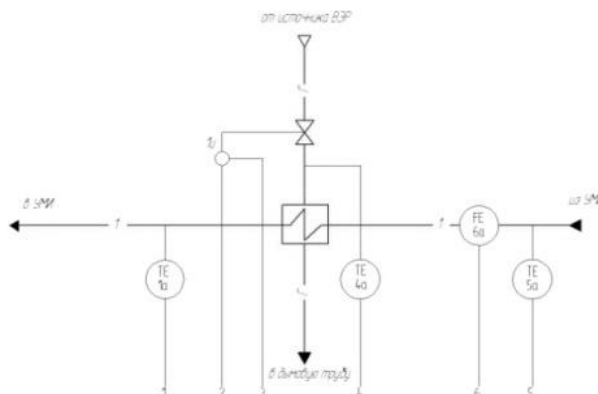


Рис. 2. Функциональная схема автоматического контроля и регулирования температуры теплоносителя на входе в УМИ.

Применение разработанной схемы позволит повысить экологичность и других промышленных предприятий, так из стоков электрообессоливающих установок нефтеперерабатывающего завода возможно получение хлорида натрия, а из жидких отходов кожевенного производства концентрирование хрома.

#### Список используемой литературы:

1. Защита биосферы от промышленных выбросов: учебное пособие / А. И. Родионов, Ю. П. Кузнецов, Г. С. Соловьев. – М.: КолосС: Химия, 2005. – 387 с.
2. Охрана водного и воздушного бассейнов от выбросов тепловых электростанций: учебное пособие / Л. А. Рихтер, Э. П. Волков, В. Н. Покровский. – М.: Энергоиздат, 1981. – 295 с.
3. Вихрев В. Ф. Водоподготовка: учебное пособие / В. Ф. Вихрев, М. С. Шкроб. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергия, 1973. – 416 с.
4. Таубман Е.И. Термическое обезвреживание минерализованных промышленных сточных вод. – Л.: Химия, 1975. – 208 с.
5. Аппараты погружного горения: учебное пособие для вузов / А. Н. Алабовский, П. Г. Удыма. – М.: Изд-во МЭИ, 1994. – 255 с.
6. Афанасьев К.Ю. Вариант термического обезвреживания сточных вод водоподготовительной установки АЭС. // Известия вузов. Физика. 2012. № 2/2. – С. 150 – 152.
7. Афанасьев К.Ю. Сравнительный анализ методов обессоливания стоков водоподготовительной установки ТЭЦ // Современная техника и технологии: Тр. XVIII Междунар. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. Т. 3 / – Томск: ТПУ, 2012. С. 155 – 156.

УДК 616-092

#### Исследование влияния производных гидразина на биохимические показатели в крови

*А.Ю. Алейник, Р.Р. Бейсенова, Р.Р. Ахмеджанов*

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

*E-mail: [alejaleksandra@mail.ru](mailto:alejaleksandra@mail.ru)*

На сегодняшний день является весьма актуальной проблема загрязнения окружающей среды компонентами ракетного топлива и безопасности населения, вследствие аварийных проливов вблизи пусковых площадок и в подтрассовых зонах.

Несимметричный диметилгидразин (НДМГ), как органическое соединение с сильно выраженными восстановительными свойствами, легко окисляется кислородом воздуха, реагирует с кислотами и окислителями, при взаимодействии с кислотами образует соли. В результате трансформации НДМГ при определенных физико-химических условиях могут образовываться новые вещества, отличающиеся не только по своему химическому составу, физико-химическим свойствам, характеру и степени влияния на органолептические показатели воды, воздуха, процесс естественного самоочищения воды, водоемов и почвы, но и по биологической активности: степени токсичности, способности к кумуляции, проявлению отдаленных и специфических эффектов [2].

Целью исследования было изучение влияния производных гидразина, таких как нитрозодиметиламин (НДМА), гидразид изоникотиновой кислоты (ГИНК), фенилгидразин (ФГ) и гидразин-сульфат (ГС), на биохимические показатели крови экспериментальных животных. Определяли содержание общего и связанного билирубина, общего белка, креатинина, глюкозы, активность ферментов - АсАТ, АлАТ,  $\alpha$ -амилазы, а также тимоловую пробу. Эксперименты проводились на белых беспородных крысах, самцах массой 250 - 300 грамм.

Результаты исследований представлены на рисунках 1 и 2.

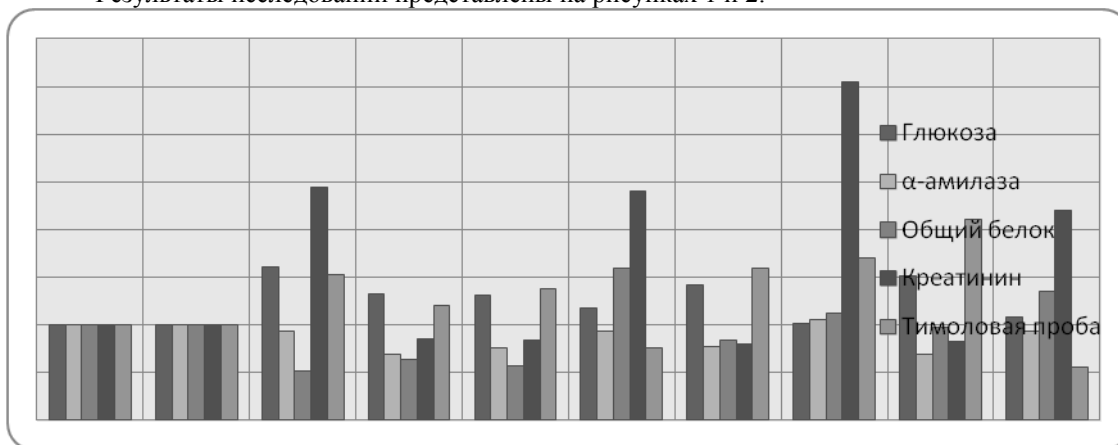


Рис. 1. Изменения показателей глюкозы, амилазы, общего белка, креатинина и тимоловой пробы при острой и хронической интоксикации производными гидразина.

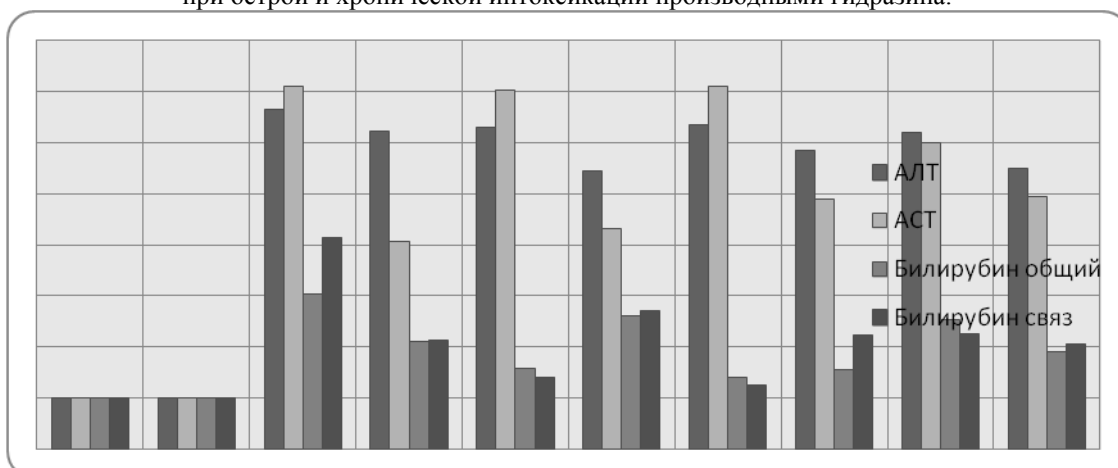


Рис. 2. Изменения показателей АЛат, АСаТ, билирубина общего и билирубина связанного при острой и хронической интоксикации производными гидразина.

Гидразин и его производные, чрезвычайно токсичные соединения по отношению к различным видам животных и растительных организмов. Разбавленные растворы сульфата гидразина губительно действуют на семена, морские водоросли, одноклеточные и простейшие организмы. У млекопитающих гидразин вызывает судороги. В животный организм гидразин и его производные могут проникать любыми путями: при вдыхании паров продукта, через кожу, через пищеварительный тракт [4].

Повышенный показатель глюкозы при острой интоксикации гидразинами говорит об усилении распада гликогена в печени и мышцах, замедлением биосинтеза белков и жиров, а также уменьшением скорости окисления глюкозы в тканях.

Гидразин-сульфат под названием "Сигразин" нашел применение в медицине при лечении больных раком. Онкологические больные обычно испытывают сильное истощение, быструю потерю веса и аппетита. Эти явления вызываются нарушениями углеводного обмена. Известно, что глюкоза в клетках сначала трансформируется в молочную кислоту. Выяснилось, что гидразин-сульфат является ингибитором фермента, отвечающего за синтез глюкозы из молочной кислоты, следовательно, гидразин-сульфат прекращает нарушения углеводного обмена раковых клеток. Состояние раковых больных при приеме гидразин-сульфата, как правило, улучшается. Более того, гидразин-сульфат обладает способностью задерживать рост и даже вызывать распад некоторых

опухолей. В дополнение к этому гидразин-сульфат, как, впрочем, и многие другие производные гидразина, является ингибитором еще одного фермента - моноаминоксидазы, а это вызывает улучшение общего тонуса. Гидразин-сульфат, лекарственные свойства которого были обнаружены в 60-х годах, в настоящее время занял прочное место среди препаратов, применяемых в онкологической практике [4].

Однако при длительном приеме в больших дозах гидразин-сульфат может оказывать обратное, то есть канцерогенное, действие. Если регулярно вводить мышам гидразин с пищей, он вызывает легочные аденомы и аденокарциномы. Внутривентрикулярные инъекции вызывают образование сарком или лейкоми. При ингаляциях развиваются лимфосаркомы и клеточные саркомы. Сообщалось о смертных случаях, вызванных раком, среди рабочих, многие годы имевших контакты с гидразином. Кстати, гидразин обнаружен в сигаретном дыме [3].

Во всех группах при острой интоксикации наблюдается уменьшение содержания  $\alpha$ -амилазы и общего белка по сравнению с контрольной группой.

Пониженное значение  $\alpha$ -амилазы показывает на нарушение окисления углеводов с замедлением распада их в тканях. Также понижение уровня амилазы в крови встречается при недостаточности работы органов, вырабатывающих этот фермент, например, поджелудочной железы [3].

Изменения в показателях общего белка свидетельствуют о переходе плазменных белков в интерстициальную ткань, что связано с увеличением проницаемости стенок капилляров, а также влиянием гидразинов на пептидные связи полипептидов, что улучшает миграцию белковых частиц из кровяного русла в лимфу. По литературным данным, гипопроотеинемия наблюдается при нарушении синтеза белков в организме – циррозы, гепатиты, токсическое поражение.

Повышенный уровень креатинина в крови говорит о нарушении функций работы почек. Положительная тимоловая проба при интоксикации гидразином свидетельствует о значительных изменениях в паренхиме печени.

Действие производных НДМГ на различные ферментные системы не специфично. Они вызывают повышение или угнетение активности многих ферментов. В основе механизма токсического действия производных гидразина лежит их способность ингибировать пиридоксальзависимые ферменты – аминотрансферазы, аминоксидазы, декарбоксилазы и другие.

На рисунке 2 видно, что при воздействии каждого производного произошло многократное увеличение содержания в крови АЛТ, АСТ, билирубина общего и билирубина связанного.

Коэффициент де Ритиса, который показывает соотношение аминотрансфераз, в группах при острой интоксикации гидразином выше 1, что может свидетельствовать о значительных поражениях сердечной мышцы наряду с поражениями печени. Увеличение активности названных ферментов при хронической интоксикации и коэффициент де Ритиса ниже 1 могут свидетельствовать о значительных неблагоприятных изменениях в клетках паренхимы печени.

Такое резкое увеличение аминотрансфераз свидетельствует не только о нарушениях функций печени, но также и о повреждениях мышц, клеток сердца и нервных тканей.

Сдвиги в обмене билирубина, то есть билирубинемия показывает поражение паренхимы печени, билирубин проникает в кровь через разрушенные печеночные клетки. Общеизвестно, что при застое желчи, переполненные желчные канальцы травмируются и пропускают билирубин в кровь, а значительные изменения биохимических показателей крови показывают о развитии токсического гепатита, когда происходят тяжелые изменения в белковообразовательной, желчеобразовательной функциях печени.

Итак, по данным, полученным в ходе экспериментов, можно сказать, что при воздействии производных гидразина происходит ряд изменений в крови. По биохимическим показателям можно сказать, что наибольшие изменения претерпевает печень. А также наблюдаются патологические процессы в поджелудочной железе, на которые указывает гипергликемия и повышение содержания  $\alpha$ -амилазы.

#### **Список используемой литературы:**

1. Богданов Н. А. «Вопросы токсикологии ракетного топлива». – Л. :, Изд. ВМА им. С. М. Кирова. 1961. – С. 36-38.
2. Лабораторные методы исследования в клинике. Справочник под редакцией Меньшикова В.В. – М. :, «Медицина», – 1987. – С. – 174-234.
3. Авакян А.Х. Новые молекулярные критерии оценки токсического действия производных гидразина. Активные формы кислорода как ключевые агенты в механизме токсичности // Фармакология и токсикология. – 1990. – Т. 53, – № 1. – С. 70-73.
4. Цибколло Г.И. Изменение высшей нервной деятельности у животных под влиянием

психотропных лекарственных веществ. Влияние психотропных препаратов на высшую нервную деятельность. – 1963. – С. 135-172.

### **Исследование профессионально важных качеств спасателя**

***Е.И. Фёдорова, Н.А. Чулков***

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

***E-mail: [fedorova.katerina.92@mail.ru](mailto:fedorova.katerina.92@mail.ru)***

Даны определения профессионально важных качеств спасателей, рассмотрены методики этих исследований и результаты приведены в таблице.

Профессионально важные качества (ПВК) — это индивидуальные свойства субъекта деятельности, которые необходимы и достаточны для реализации этой деятельности на нормативно заданном уровне. В структуре ПВК можно выделить совокупность следующих психических особенностей: особенности когнитивных процессов; индивидуально-психологические особенности личности;

Предполагается, что содержание ПВК для конкретной деятельности, степень их выраженности и особенности развития, а также формирование комплекса ПВК обуславливают эффективность и надежность деятельности человека.

Труд спасателей относится к тем видам деятельности, отличительной особенностью которых является постоянное столкновение с опасностью. Чрезвычайные обстоятельства, являющиеся неотъемлемой частью профессионального опыта пожарных, создают экстремальные условия их деятельности в связи с угрозой для жизни, физического и психического здоровья сотрудников, а также с угрозой жизни, здоровью, благополучию окружающих, с массовыми человеческими жертвами и значительными материальными потерями.

Профессия спасателя характеризуется следующими особенностями: травмирующими ситуациями, стрессовыми воздействиями и постоянной готовностью к риску.

Некоторые специалисты обращают внимание на структуру ПВК как ключевой критерий, обеспечивающий формирование профессиональной пригодности субъекта. Так, Е.А. Климов выделяет «пять основных слагаемых системы профессионально ценных качеств»:

1. Гражданские качества – идейный моральный облик человека как члена коллектива, общества;
2. Отношение к труду, профессии, интересы и склонности к данной области деятельности;
3. Дееспособность, которая образуется качествами, важными во многих и разных видах деятельности (широта ума, его глубина, гибкость и др.);
4. Единичные, частные, специальные способности. Это такие личные качества, которые важны для данной работы, профессии или для относительно узкого их круга;
5. Навыки, привычки, знания, опыт.

Психологические различия между людьми могут быть настолько значительны, что некоторые сотрудники, несмотря на достаточное здоровье и активное стремление овладеть определенной деятельностью, фактически не могут достигнуть необходимого минимума профессионального мастерства.

Психограмма сотрудников противопожарной службы включает ведущие группы, в которые входят следующие психологические качества:

- смелость;
- способность брать на себя ответственность в сложных ситуациях;
- уверенность в себе;
- способность принимать правильное решение при недостатке необходимой информации, при отсутствии времени на ее осмысление;
- способность объективно оценивать свои силы и возможности;
- способность к длительному сохранению высокой активности;
- умение распределять внимание при выполнении нескольких действий, функций, задач;
- уравновешенность, самообладание при конфликтах;
- способность к быстрому установлению контактов с новыми людьми;
- способность располагать к себе людей, вызывать у них доверие;
- способность найти нужный тон, целесообразную форму общения в зависимости от психологического состояния и индивидуальных особенностей собеседника;



- склонность к риску.

Указанные качества проявляются в зависимости от специфики выполняемых задач и связаны с успешностью профессиональной деятельности.

#### **Методики исследования**

Диагностика профессионально важных качеств спасателей проводилась при помощи пяти методик:

1. Тест зрительной и слуховой памяти R. Meili

Цель: диагностика уровня развития зрительной и слуховой памяти пожарных-спасателей.

2. Опросник Айзенка

Цель: диагностика уровня выраженности эмоциональной стабильности.

3. Личностная шкала проявления тревоги.

Цель: диагностика уровня тревожности.

4. Тест механической понятливости Беннета

Цель: диагностика уровня развития технического мышления.

5. Методика определения скорости переключения внимания

Цель: диагностика скорости переключения внимания.

#### **Краткая характеристика методик исследований**

Опросник Айзенка

Опросник предназначен для диагностики экстраверсии, интроверсии и нейротизма, включает также девять вопросов, составляющих «шкалу лжи». Ответы, совпадающие с ключом, оцениваются в один балл. Испытуемому предлагается ответить на 57 вопросов. Вопросы направлены на выявление вашего обычного способа поведения. На вопросы может быть два варианта ответа знак + (да), если нет знак – (нет)».

#### **Результаты исследования и их психологический анализ**

Результаты диагностики по всем пяти методикам оценивались по пятибальной шкале оценок. В сводной таблице представлены сырые баллы или проценты, а так же оценки от 1 до 5. Для изучения выраженности профессионально важных качеств пожарных-спасателей МЧС было проведено вычисление средних оценок.

Средние показатели оценок пожарных-спасателей МЧС по всем методикам

Зрительная память	Слуховая память	Тест Айзенка эмоц. стабильность	Тест Тейлора	Тест Беннета	Скорость переключения внимания
3,9	3,5	4,7	4,5	4,9	3,8

Средняя оценка зрительной памяти у пожарных-спасателей — 3,9, средняя оценка слуховой памяти — 3,5. Средний показатель эмоциональной стабильности — 4,7, тревожности — 4,5. Средняя оценка механической понятливости — 4,9 и средняя оценка скорости переключения внимания — 3,8.

В данной выборке пожарных-спасателей наиболее развита механическая понятливость, т. е. работники технически грамотны, хорошо понимают технические инструкции, разбираются в технических вопросах во время пожарно-спасательных действий.

Так же выявлен очень высокий уровень эмоциональной стабильности. Это говорит о том, что в целом пожарные-спасатели не подвержены импульсивности, суетливости. Работники эмоционально зрелы, эмоции адекватны ситуации, последовательны.

Уровень тревожности тоже достаточно низкий, что соответствует профессии пожарного-спасателя.

В отличие от этого, процессы внимания и памяти развиты на недостаточно высоком уровне и требуют коррекции и дальнейшего развития. Для выявления спасателей, нуждающихся в коррекции и развитии тех или иных профессионально важных качеств был проведен расчет количества и процента испытуемых с различными оценками выраженности изучаемых ПВК.

Одним из профессионально важных качеств пожарных-спасателей является развитая зрительная и слуховая память. Она необходима им для запоминания различных ситуаций во время проведения пожарно-спасательных работ и в связи с этим принятия правильных решений.

#### **Список используемой литературы:**

1. <http://www.agps-mipb.ru>

2. <http://www.rescuer.ru/forum/topic/2870>
3. <http://sbiblio.com>
4. <http://www.mchs.gov.ru/>

УДК 502/504(571.13)

## **Оценка влияния нефтепромышленности на геологическую среду**

***Е.Ю. Жемчугова***

*Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия*

***E-mail: [elena.17.02.83@mail.ru](mailto:elena.17.02.83@mail.ru)***

Нефтяное загрязнение геологической среды формируется на фоне хозяйственной деятельности, связанной с добычей, сбором, хранением, очисткой, переработкой и транспортировкой нефти и нефтепродуктов, т.е. на всех этапах работы с углеводородным сырьем.

Попадая на земную поверхность, нефть оказывается в качественно новых условиях существования. Нефтяное загрязнение бывает поверхностным и подземным.

Вертикальное продвижение нефти вдоль почвенного профиля создает хроматографический эффект, приводящий к дифференциации состава нефти: в верхнем гумусовом горизонте сорбируются высокомолекулярные компоненты нефти, содержание много смолисто-асфальтовых веществ и циклических соединений; в нижние горизонты проникают в основном низкомолекулярные соединения, имеющие более высокую растворимость в воде и более высокую диффузную способность, чем высокомолекулярные компоненты.

В данных условиях структура потока существенным образом определяется петрофизическими характеристиками почвогрунтов (диаметром пор, объемом порового пространства, смачиваемостью, проницаемостью).

Легкая фракция включает низкомолекулярные метановые (алканы), нафтеновые (циклопарафиновые) и ароматические углеводороды – наиболее подвижная часть нефти.

В ряде случаев количество попавшего в подземную гидросферу нефтепродукта измеряется сотнями и тысячами кубических метров. По многим показателям, наиболее сложным считается подземное загрязнение, чем поверхностные разливы нефтепродуктов, которым уделяется значительно больше внимания:

во-первых, разливы нефтепродуктов на поверхность квалифицируются как «явная опасность» и оперативно устраняются, в то время как подземное загрязнение нефтепродуктами может оставаться без внимания на протяжении многих лет, создавая тем самым значительную экологическую угрозу;

во-вторых, в случае поверхностных разливов значительная часть нефтепродуктов обычно задерживается в верхней части зоны аэрации и не достигает уровня подземных вод; при подземных утечках загрязнение попадает непосредственно на поверхность грунтового водоносного горизонта;

в-третьих, скорость естественной деградации этого вида загрязнения существенно ниже скорости его поступления в подземную гидросферу. Сформировавшиеся на поверхности грунтового водоносного горизонта зона свободных нефтепродуктов может загрязнять подземные воды в течение десятков и сотен лет.

При утечках значительных количеств нефтепродуктов, на начальной стадии, происходит преимущественно вертикальная фильтрация до тех пор, пока нефтепродукты не достигнут уровня грунтовых вод, где и формируется зона «свободных нефтепродуктов». Дальнейшее движение гравитационно-подвижных углеводородов происходит вниз по уклону зеркала грунтовых вод к области разгрузки, обычно это реки и моря.

Владение информацией о подземном загрязнении позволяет принять меры по его ликвидации и не допустить угнетения экосистемы. Для этого необходимо своевременно оценить масштабы и площади распространения потерянных нефтепродуктов. А также оценить объемы их подпочвенных скоплений, что очень важно для рекомендаций способов очистки загрязненной нефтепродуктами территории.

Для оценки объемов подпочвенных скоплений нефтепродуктов в настоящее время применяются различные системы, основанные на современных геофизических и геохимических методах.

Геофизические методы – косвенные методы, ориентированные на выявление аномальных эффектов в физических полях над линзами погребенных нефтепродуктов.

К недостаткам геофизических методов можно отнести:

- сложность обработки полученной информации;
- отсутствие единой методики исследования;
- неоднозначность интерпретации полученных результатов.

Геохимические методы ориентированы на выявление ореолов углеводородных газов над линзами нефтепродуктов. В прямых методах поисков используются те поисковые критерии, которые непосредственно свидетельствуют о наличии на площади работ глубинных углеводородных скоплений.

- Геохимическая съемка по породам, выходящим на поверхность, осуществляется методом отбора проб почвы, грунта, илов и т.д. с последующим извлечением из них газа методами термовакuumной, механической и химической дегазации и хроматографическим определением его состава. Недостатком этого вида исследования является малая информативность (почти повсеместно отсутствуют углеводороды тяжелее пропана), а также то, что работы проводятся в зоне влияния погодных-климатических факторов и в условиях существования сильного сингенетического фона, где породы наиболее богаты органикой и где наиболее вероятно существование «ложных» аномалий. Положительная сторона – низкая себестоимость и простота выполнения.

- Геохимическая съемка по грунтовым водам практически не применяется в силу нерентабельности работ, связанных с бурением скважин, по которым производится опробование; сложности транспортировки проб; а главное – съемка ведется по крайне редкой сети наблюдений, что не удовлетворяет требованиям заказчика.

- Геохимическая съемка по поверхностным водотокам применяется редко, поскольку получаемая информация носит внескальный характер и далеко не всегда может уверенно интерполироваться на всю изучаемую территорию. Геохимическая съемка с использованием только косвенных признаков не может выполняться в силу малой ее информативности при поисках месторождений нефти-газа.

- Методы с использованием переносных полевых приборов (портативных газоанализаторов). Преимуществом этих методов является экспрессность как самих работ, так и получаемых результатов. Более того, одним из важных достоинств этого метода является возможность проведения работ по равномерной сети с небольшим шагом опробования. Переносные газовые хроматографы вызывают большее уважение по сравнению с аппаратурой на полупроводниковых датчиках. Однако их аналитическая достоверность вызывает большие сомнения. Получаемые хроматограммы практически не дают идентификации соединений, а изменение погодных условий приводит к сбоям в количественном определении компонентов.

- Совмещение методов с использованием переносных приборов и аналитических работ в стационарных лабораториях. В этом случае предварительно проводится съемка с использованием переносной аппаратуры, выявляются аномальные участки, затем проводится опробование выделенных участков и анализ образцов в стационарных лабораториях. При кажущейся правомерности подхода, следует помнить, что аномальные участки будут выделяться только по легким углеводородам, преимущественно метану. Следовательно, при таких условиях работ заранее привнесется ошибка при выделении наиболее перспективных площадей.

В заключении можно сказать, что для решения проблемы подземного загрязнения нефтепродуктами отдельный метод не даст полной информации о наличии и трансформации нефтепродуктов в подземном слое. Необходимо разработать оптимальный методический комплекс для поиска и выявления разнотипных техногенных геохимических аномалий, идентификации основных источников загрязнения, а также определения уровня и динамики техногенного воздействия на окружающую среду. Для полной достоверной информации о подземном перемещении углеводородов необходимо сократить время анализа с одновременным повышением его точности.

Таким образом, оценив все достоинства и недостатки, рассмотренных выше методов оценки подпочвенного загрязнения нефтепродуктами, мы считаем, что наиболее эффективным как с точки зрения полноты получаемой информации, так и с точки зрения экономичности исследования является геохимический метод, совмещенный с использованием современных достижений в области информационных технологий. С одной стороны, преимущественно геохимического метода с использованием переносных полевых приборов (портативные газоанализаторы) является экспрессность как самих работ, так и получаемых результатов. С другой стороны – разрабатываемая нами математическая модель, с использованием современной вычислительной техники позволит построить трехмерное изображение подпочвенных скоплений и

даст возможность определить их дальнейшую трансформацию. В итоге данная методика позволит своевременно определить место и площадь нефтезагрязнения и позволит принять необходимые меры для предотвращения его распространения с небольшими затратами.

**Список используемой литературы:**

1. Одинцова Т.А. – Автореферат канд. диссертации. Учреждение Российской академии наук Горный институт Уральского отделения РАН, – Пермь, 2010.
2. Другов Ю.С. Газохроматографическая идентификация загрязнений воздуха, воды, почвы и биосфер: Практическое руководство./Ю.С. Другов, И.Г. Зенкевич, А.А. Родин. – 2-е изд., перераб. и дополн. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2005. – 752с.
3. Пиковский Ю.И. Природные и техногенные потоки углеводородов в окружающей среде. – М.: МГУ, 1993. 206с.

**Негативные экологические последствия при сжигании ПНГ на факельных установках**

*Е.А. Исхакова, Д.С. Бакулев*

*Томский Политехнический Университет, г. Томск, Россия*

*E-mail: [lyalya-kaka@mail.ru](mailto:lyalya-kaka@mail.ru)*

Несомненно, нефтегазовый комплекс является неотъемлемой частью ТЭКа и основным элементом российской экономики. Именно интенсивное развитие НГК существенным образом сказывается на развитии всей экономики в целом. Однако, несмотря на все свои преимущества, нефтяная промышленность несет непоправимый урон окружающей среде.

В настоящее время одной из наиболее актуальных проблем является загрязнение атмосферы при сжигании попутного нефтяного газа на факельных установках.

Попутный нефтяной газ (ПНГ) – это смесь различных газообразных углеводородов, растворенных в нефти. Данный газ выделяется в процессе добычи и перегонки нефти и, следовательно, он является сопутствующим продуктом. Однако и сам по себе ПНГ – это ценное сырье для дальнейшей переработки. В его состав входят такие углеводороды как метан, этан, пропан, а также в составе присутствуют такие вещества, как углекислый газ и азот.

Чтобы нефть соответствовала требуемым стандартам, её нужно отделять от ПНГ. Долгое время нефтедобывающие предприятия решали проблему утилизации ПНГ посредством его сжигания на факельных установках, так как данный способ не требует больших денежных затрат: установка газового факела более рентабельна, чем установка оборудования для переработки ПНГ. Тем не менее, это отражается на экологии планеты не лучшим образом.

Во – первых, в России в результате сжигания ПНГ на факельных установках в атмосферу выбрасывается до 100 млн. тонн в год углекислого газа. Это опасно тем, что  $CO_2$  является парниковым газом и оказывает большое влияние на процесс теплообмена планеты с окружающим пространством. Следовательно, превышение содержания углекислого газа в атмосфере негативно сказывается на формировании климата планеты. К тому же известно, что на некоторых газовых факелах газ сжигается не полностью, и в атмосферу выделяется метан, более активный парниковый газ, чем  $CO_2$ .

Таблица. Выбросы загрязняющих веществ ОАО «Томскнефть» ВНК в атмосферу в 2008 году, тыс. тонн

Загрязняющие вещества	Выброс за год	В том числе сверхнормативный	Сверхнормативный (%)
оксид углерода	96,3	62,8	65
сажа	14,0	10,3	74
углеводороды	18,2	5,8	32
метан	34,3	12,8	37
ИТОГО	171,1	92,2	54

Во – вторых, опасность для окружающей среды представляют собой и выбросы сажи. Объем её выбросов оценивается приблизительно в 0,5 млн. тонн в год. Мельчайшие частички сажи способны рассеиваться на большие расстояния и осаждаются на поверхностях льда или снега, что впоследствии приводит к снижению уровня их альбедо. В связи с этим снег и приземный слой воздуха нагреваются, и планета отражает меньшее количество солнечной радиации.

В – третьих, негативным фактором является шум при факельном сжигании ПНГ. Испытания показали, что фоновый шум у основания пламени составлял 78 дБ. При увеличении скорости расхода газа до 25,9 м<sup>3</sup>/с уровень звука составил 110 дБ. Известно, что после 6-7 ч работы при интенсивности шума 80-90 дБ нарушаются функции вегетативной нервной системы и деятельность головного мозга. Снизить уровень шума, возникающий при истечении газа из трубы, можно увеличением диаметра трубы. Однако при этом увеличиваются расходы на ее монтаж и ухудшаются условия горения.

И наконец, сжигание ПНГ сопровождается тепловым загрязнением окружающей среды: вокруг факела радиус растепления вечномёрзлых грунтов колеблется в пределах 10–25 метров. При этом в атмосферу поступают как продукты сгорания ПНГ, в том числе окись азота, сернистый ангидрид, окись углерода, так и различные несгоревшие углеводороды. Это приводит к увеличению заболеваемости местного населения раком легких, бронхов, к поражениям печени и желудочно-кишечного тракта, нервной системы, зрения.

Помимо сжигания, способами утилизации ПНГ являются его переработка, закачка в пласт для повышения нефтеотдачи, а также использование в качестве топлива для электрогенерации.

Из ПНГ можно получить ряд продуктов, которые востребованы нефтехимией, но затраты на транспортировку газа и его компонентов с месторождений делают подобные проекты нерентабельными. Именно утилизация ПНГ посредством сжигания является более экономным вариантом, несмотря на плату за превышение ПДВ.

В целях предотвращения загрязнения воздуха выбросами вредных веществ Правительство РФ в 2009 году установило целевой показатель сжигания ПНГ на 2012 год и последующие годы в размере не более 5% от объема добытого газа. Уровень использования попутного нефтяного газа, таким образом, должен быть не менее 95%.

Таким образом, в условиях ужесточения ответственности за сжигание ПНГ в виде повышения платы за выбросы, нефтедобывающие предприятия будут вынуждены искать новые способы утилизации, что заметно скажется на состоянии окружающей среды.

#### **Список используемой литературы:**

1. Владимирова А. И., Ремизова В.В. Экология нефтегазового комплекса: учебное пособие. – М.: ГУП Издательство «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2003. – 416 с.
2. Беляева В. Я. и др. Нефтегазовое строительство: учебное пособие. – М.: Издательство «ОМЕГА – Л», 2005. – 774 с.
3. Выгон Г., Рубцов А., Ежов С. Утилизация попутного нефтяного газа: проблема 2012. – М.: Издательство Энергетический центр Сколково, 2012. – 27 с.
4. Стрижевский И.И., Эльнатанов А.И. Факельные установки. – М.: Химия, 1979. – 184 с.
5. Шишмина Л.В. Экология нефтедобывающих комплексов: Практикум – Томск: Изд-во ТПУ, 2004. – 106 с.
6. <http://ria.ru/economy>
7. <http://gendocs.ru>

#### **Разработка мероприятий по снижению шума от железнодорожного транспорта в жилой застройке г. Тайга**

*И. Ю. Ключникова, М. Э. Гусельников*

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

*E-mail: [iklyu@sibmail.com](mailto:iklyu@sibmail.com)*

В связи с жалобами граждан, проживающих на территории, прилегающей к железной дороге в г. Тайга, на высокий уровень шума, головные боли, бессонницу и недомогание нами в ходе производственной практики были проведены измерения уровня шума. Измерения проводились в соответствии с нормативами [1,2] в контрольных точках 1 и 2, представленных на Рис. 1. Из рисунка видно, что жилая застройка (К.Т. №2) находится за лесополосой.

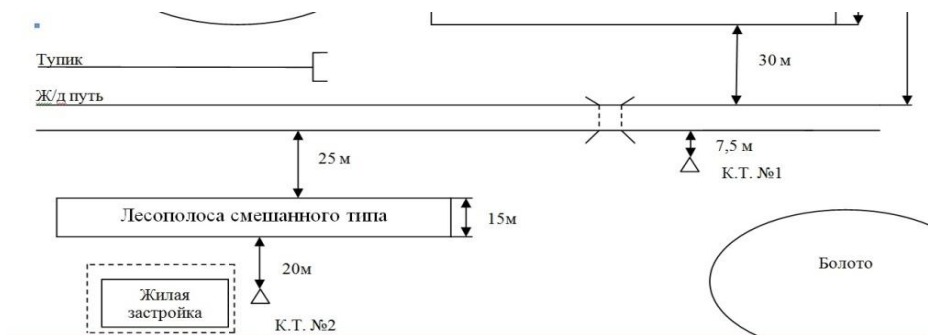


Рис. 1. Ситуационная карта-схема ПЧ-27 – Тайгинская дистанция пути.

Результаты измерений занесены в таблицу 1. Из таблицы видно, что допустимые нормы по эквивалентным и максимальным уровням звука в К.Т. №1 при движении товарного поезда превышены. При измерении в К.Т. №2 эквивалентные и максимальные уровни звука на территории жилой застройки снижены, но максимальный уровень звука не соответствует допустимым нормам [2].

Таблица 1. Результаты измерений уровня звука на территории прилегающей и жилой застройки.

Источник шума и место проведения измерений	Время суток	Уровни звукового давления дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Эквивалентные уровни звука, дБА	Максимальные уровни звука дБА
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
ПДУ	7-23ч	93	79	70	63	59	55	53	51	49	60	75
Фон	11 <sup>05</sup>	62,3	52,6	42,0	31,4	33,8	31,7	29,6	26,9	22,7	39,9	71,0
К.т. № 1	11 <sup>18</sup>	76,0	69,3	63,3	58,7	53,1	50,2	47,4	42,4	34,0	83,3	75,8
К.т. № 2	11 <sup>45</sup>	64,9	66,6	49,0	46,1	48,4	46,5	41,1	28,5	17,5	61,2	72,8

Из таблицы 1 видно, что шум в частотной полосе 600–20000 Гц (высокочастотный), проходя через лесополосу, существенно снижается, что нельзя сказать о низкочастотном шуме в частотной полосе 20–300 Гц. Это связано с тем, что низкочастотные звуковые волны имеют значительную длину волны, что обеспечивает лучшее преодоление звукопоглощающих препятствий.

Для выработки рекомендаций по снижению низкочастотных составляющих шума рассмотрим возможные источники его возникновения. Основными источниками внешнего шума вагонов являются: система «колесо-рельс», сцепные устройства и подвагонное оборудование вентиляции и кондиционирования. Последний из перечисленных источников вносит незначительный вклад в наружный шум поезда [3].

Шум взаимодействия колеса и рельса излучается вследствие того, что процесс качения вызывает вибрацию колесных дисков и рельсового пути. Каков бы ни был механизм, с помощью которого возбуждаются эти вибрации, в результате происходит распространение шума внутрь вагонов поезда и в сторону примагистральной территории.



Рис. 2. Третьоктавный спектр шума в примагистральной территории на расстоянии 25 м от пути с рельсами без волнообразного износа при прохождении поезда, оснащенного колодочными тормозами, со скоростью 160 км/ч (уровень звука 93дБА).

Анализ спектра шума, показанный на Рис. 2, в примагистральной территории при проходе поезда показывает наличие подъема в высокочастотной области из-за существенного вклада широкополосной доли шума. Можно полагать, что возбуждаются как резонансные формы

колебаний, так и широкополосные составляющие. Однако колесо и рельс могут колебаться с частотами ниже резонансных значений, но вибрации колесных дисков будут выше, чем рельсов, так как последние сильнее задемпфированы благодаря системе рельсовых креплений [4].

Очевидно, что неровности поверхности катания колеса и рельса существенно влияют на генерируемый шум. Этот шум проявляется при качении, а также при скольжении колеса в продольном и поперечном направлениях. Мгновенные значения динамических сил в системе «колесо-рельс» резко возрастают при волнообразном износе рельсов, на рельсовых стыках, неровностях острижков стрелочных переводов и крестовин. Помимо этого, при движении поезда происходят соударения автосцепных устройств в результате относительных боковых, вертикальных и продольных колебаний локомотива и вагонов. Шум, генерируемый работой автосцепных устройств, представляет собой нестационарный случайный импульсный процесс и вносит свой вклад во внешний шум на примагистральной территории [3].

Одним из основных факторов, влияющих на уровень шума подвижного состава в примагистральной территории, является скорость движения поезда. Чем выше скорость движения локомотива, тем сильнее происходит удар колёсной пары о стык рельса и соответственно будет выше уровень шума, помимо этого увеличится число таких ударов, что тоже приводит к усилению шума [3].

На Рис. 3 показана серия измерений, проведённых на расстоянии 25 метров от пути, для конкретного поезда в ряде точек. Для каждой точки принималось допущение о постоянстве качества пути [4].

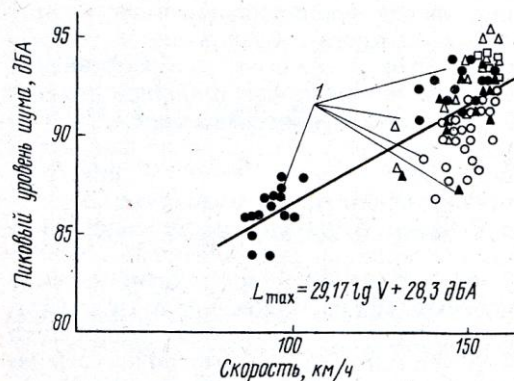


Рис. 3. Пиковый уровень шума пассажирских вагонов типа МкII в функции скорости движения на расстоянии 25 м от пути: 1- представительные данные, полученные из различных источников.

Так как основным источником внешнего шума поезда является система «колесо — рельс», генерирующая при движении шум качения, рассмотрим некоторые меры по снижению излучения шума этой системы. Методы снижения шума можно разделить на две большие группы:

- снижение шума в источнике шумообразования;
- снижение шума на пути распространения от источника до расчетной точки.

В таблице 2 представлен возможный уровень снижения шума, при проведении шумозащитных мероприятий [5].

Таблица 2. Меры по снижению внешнего шума поездов.

Мероприятия	Снижение
	УЗ, дБА
Обточка поверхности катания колес	5-10
Демпфирование колес	2
Снижение числа колесных пар	2
Применение дисковых тормозов	5-10
Применение колодок из композитных материалов	3-5
Уменьшение волнообразного износа рельсов	10-20
Установка резиновых прокладок под рельсами	1-5
Установка акустического экрана в виде фартука в подвижном составе	2-3
Устройство пути на балластном основании	2-5
Устройство пути в выемке глубиной от 2 до 10м	3-15
Установка бесстыкового пути	1-2
Установка акустических экранов (АЭ) вдоль железнодорожного пути	5-15

Анализ представленных в таблице 2 методов снижения шума от железнодорожного состава показал, что в нашем случае предпочтительно применение акустических экранов (АЭ). При этом экраны - фартуки, установленные на подвижном составе, представлены на Рис. 4. Они снижают внешний шум всего на 2—3 дБА из-за их недостаточной длины (по причине жестких ограничений на размеры подвижного состава).

Значительно больший эффект дают АЭ, размещенные вдоль железнодорожного пути. Эти экраны в зависимости от места установки бывают двух типов: 1) близко расположенные АЭ; 2) экранирующие сооружения, стоящие между железнодорожным полотном и защищаемым от шума зданием.

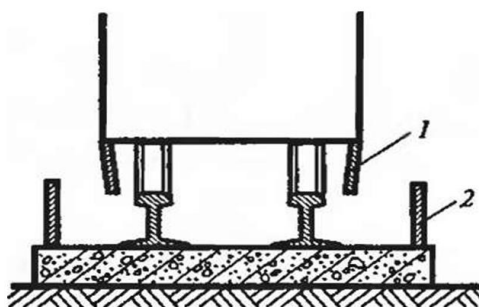


Рис. 4. Схемы акустических экранов: 1 — экран на подвижном составе; 2 — экран, устанавливаемый вблизи рельса.

Эффективность близко расположенных АЭ зависит от их высоты, наличия звукопоглощающей облицовки, места и способа установки, а также расположения точки наблюдения. Эффективность близко расположенных АЭ может достигать 8—11 дБА. Без облицовки звукопоглощающих материалов (ЗПМ) 7,8 дБА, без ЗПМ, но при закрытых зазорах между АЭ и основанием пути 9,5 дБА, с закрытыми зазорами и ЗПМ 10,9 дБА. Применение ЗПМ повышает их эффективность на 2—3 дБА [5].

Данные рекомендации были представлены руководству предприятия филиала ОАО «РЖД» Западно-Сибирская железная дорога – Центр охраны окружающей среды – Кузбасская лаборатория.

#### Список используемой литературы:

1. ГОСТ 23337–78 «Шум. Методы измерения шума на селитебной территории и в помещениях жилых и общественных зданий».
2. СН 2.2.4 / 2.1.8. 562–96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки».
3. Н. И. Зубрев, Н. А. Шарапова Охрана окружающей среды и экологическая безопасность на железнодорожном транспорте: Учебное пособие. – М.: УМК МПС России, 1999. – 595 с.
4. В. Е. Тольский, Г. В. Бутаков, Б. Н. Мельников Шум на транспорте / пер. с англ. К. Г. Бомштейн. – М.: Транспорт, 1995. – 368 с.
5. Н. И. Иванов Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом: учебник. – М.: Университетская книга, Логос, 2008. – 424с.

#### Анализ методов очистки воды г. Томска

*Т.И. Козулина, В.И. Копытин, Н.А. Чулков*

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

Состояние нашего здоровья во многом зависит от качества питьевой воды, которую мы употребляем каждый день. Даже в городах, где предусмотрена магистральная очистка воды от вредных примесей и метод хлорирования; где ведется контроль над ее качеством со стороны санитарно-эпидемиологических служб, к сожалению, ее качество оставляет желать лучшего. Что же тогда говорить о загородных домах, где чаще всего используется вода из артезианских скважин, колодцев, природных источников или дачных водопроводов. На сегодняшний день, существует огромное количество способов и технологий очистки воды, но не все из них настолько эффективны, как нам хотелось бы.



По цели очистки воды методы подразделяют на:

- улучшающие органолептические свойства воды, то есть свойства, воспринимаемые органами чувств человека: запах, привкус, окраска, мутность, температура, пленки;
- обеспечивающие ее эпидемиологическую безопасность;
- методы кондиционирования подземных вод;
- улучшающие ее газовый состав после удаления сероводорода, кислорода, метана, свободной углекислоты и других веществ;
- направленные на извлечение трудноокисляемой органики, вредных продуктов, образующихся попутно при обработке воды с помощью проведения процессов обратного осмоса, биосорбции, нанофильтрации и других.

К методам, улучшающим органолептические свойства воды, относят осветление, обесцвечивание и дезодорацию. Осветление воды предполагает удаление из нее взвешенных и коллоидных веществ. Осветление и обесцвечивание воды проводят с помощью метода коагуляции (закключающегося в добавлении в воду химического реагента (коагулянта), с целью дестабилизации взвешенных коллоидных частиц и их последующего хлопьеобразования), методов отстаивания и фильтрации (закключающейся в удалении взвешенного вещества из массы путем пропускания воды через слой пористого материала или через сетки с подходящим размером отверстий).

Эпидемиологическую безопасность воды обеспечивают с помощью методов хлорирования, озонирования, электроимпульсной обработки, ультрафиолетового облучения. В ходе предварительного хлорирования воды в нее добавляется хлор с целью прекращения роста бактерий, растений или животных организмов, окисления органического вещества, содействия флокуляции или уменьшения запаха. Метод электроимпульсной обработки основан на совместном действии природных окислителей (озон, радикалы ОН, атомарный кислород), УФ-излучения и электрокоагулянта, генерируемых в водо-воздушном потоке. Метод ультрафиолетового облучения основан на использовании ультрафиолетовых лучей для обеззараживания воды.

Более экологически чистым и эффективным является метод озонирования воды. Озонирование предполагает добавление озона к воде или сточным водам с целью дезинфекции, окисления органического вещества либо удаления неприятного вкуса или запаха. Озонирование дает возможность комплексной обработки воды и улучшает ее основные органолептические свойства (цветность, запах, привкус), а также освобождает воду от природных или внесенных в нее промышленных органических веществ. Кроме того, озон, в отличие от хлора, не образует канцерогенных органических соединений и обладает наибольшим обеззараживающим свойством против возбудителей вирусных заболеваний и споровых форм, в точности устойчивых к хлору. Озонирование воды разрушает органические вещества, способствующие развитию микроорганизмов. Правильно подобранные дозы озона позволяют удалять из воды фенолы, нефтепродукты, поверхностно-активные вещества, сернистые соединения, сероводород, окисляет двухвалентное железо. Наконец, при озонировании пестицидов происходит дезодорация с одновременным глубоким разрушением исходных соединений. Недостатком метода озонирования является то, что из-за нестойкости озон не может поддерживать бактерицидное состояние в течение длительного времени, и поэтому необходимо исключить попадание загрязнений в очищенную воду, что реально только на коротких водопроводных сетях. Для использования метода озонирования необходимо, чтобы водопроводы были выполнены из полимерных труб. Кроме того, нужно отметить, что технология озонирования требует значительных первичных денежных затрат по сравнению с другими методами очистки воды, но она окупается в течение 5-8 лет, так как не требует дополнительных затрат на реагенты.

К методам кондиционирования подземных вод относятся умягчение, обессоливание и опреснение, дегазация, обезжелезивание и деманганация, фторирование и обесфторирование, обескремнивание и некоторые другие методы. Умягчение воды имеет целью снижение жесткости воды посредством удаления из нее ионов кальция и магния.

Обессоливание воды предполагает снижение концентрации растворенных в воде солей до заданной величины. Обессоливание состоит в удалении солей из воды для того, чтобы она стала пригодной в качестве питьевой, технологической или охлаждающей. Опреснение-снижение в воде концентрации солей до состояния ее пригодности для питья. Опреснение может осуществляться перегонкой соленой воды в опреснителях с последующей конденсацией пара, вымораживанием и другими способами.

К специальным методам улучшения качества воды относятся фторирование, обесфторирование, обезжелезивание, дезодорация.

По характеру протекания процессов методы очистки воды делятся на химические, физико-химические и биологические. При химических процессах осуществляется введение химического реагента в обрабатываемую воду и осаждение примесей, протекают реакции нейтрализации, окисления и восстановления. При физико-химических процессах удаляются взвешенные и коллоидные вещества (коагуляция и флокуляция, осаждение и осветление, флотация, фильтрование), растворенные вещества (мембранная сепарация, адсорбция, ионный обмен). Биологические процессы протекают при аэробной и анаэробной обработке воды и характеризуются бактериальным окислением – восстановлением.

Различают также методы очистки воды по отдельным процессам извлечения или снижения концентрации примесей. Например, методы умягчения воды подразделяются на термический, реагентный, ионообменный, диализный и комбинированный; методы обессоливания воды – на ионообменный, мембранный (обратный осмос и электродиализ) и дистилляцию. В основу методов дегазации положен принцип воздействия на обрабатываемую воду (физический, химический, биохимический и сорбционно-обменный). Стабилизационная обработка воды зависит от знака и значения индекса стабильности и может осуществляться реагентным, фильтрационным методами и аэрацией. В настоящее время из общего количества сточных вод механической очистки подвергается 68% всех стоков, физико-химической - 3%, биологической - 29%. В перспективе предполагается повысить долю очистки биологическим методом до 80%, что улучшит качество очищаемой воды.

Качество питьевой воды города Томска. Технологии очистки воды (обезжелезивание и хлорирование) - залог безопасности. Томский артезианский подземный водозабор является одним из крупнейших в России инженерных сооружений подобного типа (в него входят 198 эксплуатационных скважин, расположенных на 3-х линиях, связанных подземным водоводом протяженностью более 60 км, станция водоочистки и обеззараживания воды).

Система водоподготовки (очистки воды) Томского подземного водозабора включает традиционный процесс обезжелезивания по методу упрощенной аэрации с последующим фильтрованием через скорые фильтры. Для обеззараживания применяется хлорирование. Как следует из доклада сотрудников Центра гигиены и эпидемиологии в Томской области (А.В. Шихина, О.Б. Перова, Т.С. Прокопчука и В.П. Фёдоровой) "Качество питьевой воды города Томска", эффективность системы очистных сооружений составляет до 95%.

Неудовлетворительные органолептические показатели (включая содержания железа и марганца) наблюдаются в микрорайонах, которые пользуются другими водисточниками. Это наблюдается в посёлках Степановка, Аникино, Басандайка, Нижний Склад, Лоскутово, Тимирязево, Дзержинского, где на местных артезианских скважинах водоочистные установки попросту отсутствуют. Контейнерные станции обезжелезивания пока лишь планируются к внедрению для нецентрализованного водоснабжения.

В Томске выбрано 24 точки контроля воды (именно столько положено для полумиллионного города), которые расположены в тупиковых участках сети, где вода движется только в одном направлении — до конца ветки, так как там показатели должны быть наихудшими. Точки контроля находятся на водоразборных колонках, в квартирах брать каждый день воду на анализ просто невозможно. Вода проверяется по пятидесяти химическим и микробиологическим показателям в аккредитованной лаборатории «Томскводоканала». Содержание остаточного хлора воду проверяют ежедневно. При допустимой норме в 0,3-1,2 миллиграммов на дециметр кубический в томской воде содержится всего 0,4. На такой показатель удалось выйти в прошлом году, когда «Томскводоканал» реализовал проект по техническому перевооружению системы обеззараживания питьевой воды: на смену газообразному хлору пришел гипохлорид натрия. В Москве окончательный переход на такую же систему обеззараживания воды состоится только в сентябре этого года.

#### **Список используемой литературы:**

1. УДК 614.777 (470) Научные труды "Региональные проблемы качества воды и сохранения здоровья населения", выпуск 21, – Липецк, 2009, – 346 с.
2. <http://gorgaz.tomsk.ru/2012/08/ona-zhe-iz-pod-krana-2/>
3. [http://www.o8ode.ru/article/planetwa/mere/metody\\_o4ictki\\_vody.htm](http://www.o8ode.ru/article/planetwa/mere/metody_o4ictki_vody.htm)
4. <http://www.a-geizer.ru/art/ultrafiolet-voda.html>

## Исследование загрязнения города Томска автотранспортом

*Е.В. Кузьмина, М.О. Третьякова*

*Томский политехнический университет, г.Томск, Россия*

*E-mail: [evk5@tpu.ru](mailto:evk5@tpu.ru)*

Трудно сейчас представить себе какую-либо отрасль народного хозяйства или вид деятельности населения без использования грузового, легкового автомобиля или автобуса. С каждым годом количество автотранспорта растет, а, следовательно, растет содержание в атмосферном воздухе вредных веществ. Наряду с преимуществом, которое обеспечивает обществу автотранспорт, его прогресс сопровождается негативными последствиями - отрицательным воздействием на окружающую среду и человека. Автомобильный транспорт является источником загрязнения атмосферного воздуха примерно такой же мощности, как энергетическая отрасль или суммарно все другие отрасли хозяйства. Мировой ежегодный выброс вредных веществ от автомобилей составляет 50 млн.т. углеводородов, 200 млн.т. оксида углерода и 20 млн.т. оксидов азота. Поглощая столь необходимый для жизни кислород, он интенсивно «обогащает» воздушную среду токсичными компонентами, наносящими вред всему живому и неживому. Поскольку основная масса автомобилей сконцентрирована в крупных городах, воздух этих городов не только обедняется кислородом, но и загрязняется вредными компонентами отработавших газов.

В данной работе исследована проблема воздействия автотранспорта на состояние окружающей среды.

### **Актуальность проблемы:**

- Загрязнение атмосферного воздуха выхлопами автотранспорта, ведущее к образованию смога;
- Негативное влияние выхлопных газов на здоровье человека;
- Выхлопные газы пагубно сказываются на произрастании растений.

**Цель работы:** Определение степени загрязнения воздуха города Томска отработанными газами автотранспорта.

### **Задачи работы:**

- 1) Определение наиболее загрязненных районов города Томска методом биоиндикации;
- 2) Оценка уровня загрязнения атмосферного воздуха окисью углерода;
- 3) Сделать общий вывод о степени загрязненности воздуха города Томска отработанными газами автотранспорта.

На дороги ежедневно выезжают миллионы автомобилей, и каждый из них - источник загрязнения воздуха. Отработанные газы автомобилей с бензиновым двигателем более чем на 70% состоят из азота и на 13% из водяного пара и не являются опасными. Около 11% выхлопных газов приходится на углекислый газ, который сам по себе также не является вредным для здоровья. Однако его постоянное накопление в атмосфере приводит к изменению ее состава, что, в свою очередь, вызывает долговременные климатические изменения. Оставшиеся 6% выхлопов как раз и содержат наиболее вредные соединения: окись углерода, окись азота и серы, углеводороды, альдегиды, сажа, а также свинец и различные его соединения. Под влиянием вредного воздействия автомобильного транспорта ухудшается здоровье людей, отравляются почвы и водоёмы, страдает растительный и животный мир. Давно подмечено разрушительное влияние загрязненного воздуха на растительный мир. Наиболее вредным для растений является сернистый газ, или двуокись серы. Накапливаясь в растениях, сернистый газ вызывает угнетение растительных клеток, в следствии чего листья желтеют, опадают, и растения погибают. Нефтяные пятна, сколь радужные в лучах солнца, столь и опасные в повседневной жизни, покрывают поверхность вод рек, морей и океанов. Что особенно опасно, бензин, дизельное топливо, мазут, смываемые дождевыми потоками с поверхности дорог, попадают в грунтовые воды, которые, как известно, и служат основным источником питьевой воды для людей. Опасность такого компонента в питьевой воде трудно переоценить для всего живого на Земле.

### **Метод биоиндикации. Основные понятия.**

Биоиндикация - системы наблюдения и контроля за состоянием окружающей среды на определенной территории с целью рационального использования природных ресурсов и охраны природы. Биоиндикационные методики оценки состояния природной среды достаточно просты, и могут применяться в экологическом практикуме студентов и выполняться ими самостоятельно, составляя основу их исследовательской деятельности.

Биоиндикатор - экологический вид, который имеет узкую амплитуду экологической толерантности по отношению к какому - либо фактору. большей частью это растения - организмы, не способные к активному перемещению.

Кресс-салат - однолетнее овощное растение, обладающее повышенной чувствительностью к загрязнению почвы, а также к загрязнению воздуха газообразными выбросами автотранспорта. Этот биоиндикатор отличается быстрым прорастанием семян и почти стопроцентной всхожестью, которая заметно уменьшается в присутствии загрязнителей.

**Экспериментальный этап «Определение наиболее загрязненных районов города Томска методом биоиндикации».**

**Цель:** Используя метод биоиндикации определить наиболее загрязненные районы города Томска. Для проведения эксперимента были взяты пробы снега из следующих районов города: загородная трасса (район Тимирязево), близ жилых домов (Кирова 2), остановка «ТЭМЗ», лес в районе Тимирязево. В качестве эталона была взята водопроводная вода. Далее, растаявший снег использовался для поливки семян рассаженных в одинаковых стаканах.

В результате проведенного эксперимента можно сделать следующий вывод – только на третьи сутки начали прорастать семена в районе остановки «ТЭМЗ» и количество проросших семян в данном образце минимален. Следовательно, можно сказать, что в данном районе снег является наиболее загрязненным. Это можно объяснить тем, что вблизи данного района проходит большое количество автотранспорта. Наиболее чистым районом, опираясь на результаты эксперимента, можно назвать район «Лес(поселок Тимирязево)». Такие результаты оправданны тем, что вблизи данного района нет скопления большого количества автотранспорта.



Рис.1. «Проросшие семена на третьи сутки эксперимента».

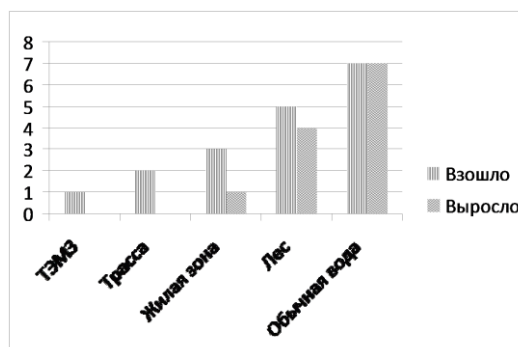


Диаграмма 1. «Количество проросших семян в различных районах города Томска».

**Расчетный этап «Оценка уровня загрязнения атмосферного воздуха окисью углерода»**

**Цель:** Рассчитать по формуле концентрацию окиси углерода в центральном районе города Томска»

Формула оценки концентрации окиси углерода ( $K_{CO}$ ):

$$K_{CO} = (0,5 + 0,01N * K_T) * K_A * K_U * K_C * K_B * K_P, \text{ где:}$$

**0,5** – фоновое загрязнение атмосферного воздуха нетранспортного происхождения, мг/м<sup>3</sup>,

**N** – суммарная интенсивность движения автомобилей на городской дороге, автом./час,

**$K_T$**  - коэффициент токсичности автомобилей по выбросам в атмосферный воздух окиси углерода,

**$K_A$**  - коэффициент, учитывающий аэрацию местности,

**$K_U$**  – коэффициент, учитывающий изменение загрязнения атмосферного воздуха окисью углерода в зависимости от величины продольного уклона,

**$K_C$** – коэффициент, учитывающий изменения концентрации окиси углерода в зависимости от скорости ветра,

**$K_B$** - коэффициент, учитывающий изменения концентрации окиси углерода в зависимости от относительной влажности воздуха,

**$K_P$** - коэффициент увеличения загрязнения атмосферного воздуха окисью углерода у пересечений.

Далее основываясь на таблицы выбираем коэффициенты и подставляем в формулу.

**Вывод:** Результаты расчета приведены в таблице.

ПДК выбросов автотранспорта по окиси углерода равно 5 мг/м<sup>3</sup>

- В районе Иркутского тракта концентрация CO превышена в 2,5 раза;
- В районе ул. Ленина концентрация CO превышена в 3,4 раз;
- За городом концентрация CO превышена в 1,5 раза.

Таким образом, в настоящее время в России существует серьезная проблема негативного воздействия на окружающую среду элементов автотранспортного комплекса, уже находящихся на

этапе практической эксплуатации. И ее нужно решать. Вот почему нужно стимулировать создание безопасных, экологически чистых и экономичных автомобилей. Одновременно необходимы экономические механизмы продвижения новых моделей на рынок, создание платежеспособного спроса на них. Поэтому ученые и специалисты всего мира усиленно ищут пути и средства снижения отрицательных последствий автомобилизации.

Таблица 1. «Результаты расчетов концентрации окиси углерода».

Район г.Томска	N, автом./час	Kco
Иркутский тракт	1560	12.56
Ул.Ленина	2145	17.09
Загородная трасса (от Томска до аэропорта)	906	7.4

В целях соблюдения эколого-экономического баланса целесообразно разработать систему мероприятий, направленных на улучшение качества атмосферного воздуха.

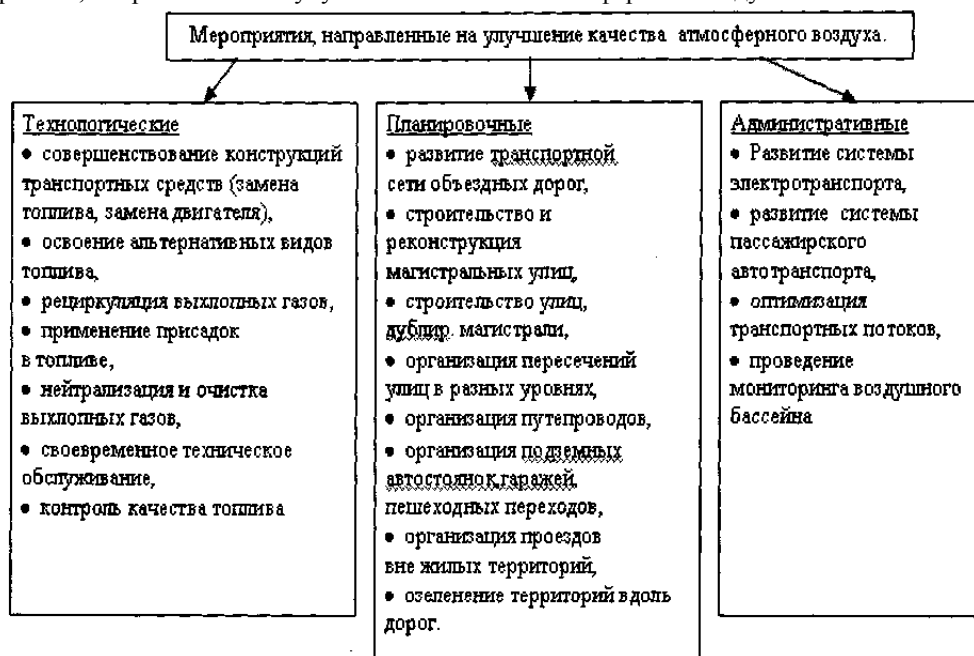


Рис. 2. «Система мероприятий, направленных на улучшение качества атмосферного воздуха».

Количество некоторых вредных веществ в составе выбросов поддается регулировке и может быть сведено к минимуму за счет совершенствования конструкции двигателей, внедрения систем нейтрализации. В то же время двуокись углерода (CO<sub>2</sub>) является неотъемлемой частью продуктов сгорания, и бороться с ней возможно только путем повышения качества моторного топлива. В настоящее время одним из путей повышения экологичности автотранспорта является его перевод на природный газ. Что обеспечит сокращение вредных выбросов в окружающую среду двигателями автомобиля. Таким образом, только комплексное выполнение технологических, планировочных, организационно-технических мероприятий может привести к улучшению качества окружающей среды.

**Список используемой литературы:**

1. Гук Г.А. Воздействие автотранспортного комплекса на экологию / Г.А.Гук, А.В.Богачев. – Майкоп, 2007.– С.10.
2. Гурьянов Д.И. Экологически чистый транспорт: направления развития /Д.И.Гурьянов // Инженер, технолог, рабочий. - № 2. - 2001. - С. 12-14.

3. Давыдова С.П. Автотранспорт продолжает загрязнять окружающую среду //ЭКиП. – 2000.– № 7. – С. 40-41.
4. Ясенков Е.П. Элементы автотранспортного комплекса и их воздействие на окружающую среду / Е.П.Ясенков //Автомобильная промышленность. – 2007. – № 8. - С. 42.

УДК 628.315

### **Анализ работы ЗАО «Городские очистные сооружения»**

*Д.Ю. Овдиенко, О.Б. Назаренко*

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

*E-mail: obnaz@mail.ru*

Проведен анализ работы очистных сооружений г. Томска, выделены причины низкой эффективности очистки. Обозначены пути решения, которые позволят повысить качество работы очистных сооружений и минимизировать негативное воздействие на окружающую среду.

Основным видом деятельности предприятия ЗАО «Городские очистные сооружения (ГОС)» является очистка промышленных и бытовых сточных вод. На очистку принимаются производственные и хозяйственно-бытовые сточные воды г. Томска («Томскводоканал»), ООО «Томскнефтехим» и «ТЭЦ-3». Продукцией предприятия являются биологически очищенные сточные воды.

В данной работе проведен анализ эффективности работы очистных сооружений ЗАО «ГОС», выделены основные проблемы и намечены возможные пути их решения.

Первая очередь канализационных очистных сооружений (КОС) была запущена как один из цехов Томского нефтехимического комбината в 1982 г. В 1994 г. сооружения переданы в состав муниципальной собственности Томска. КОС эксплуатируются ЗАО «ГОС» по договору аренды. Проектная производственная мощность очистных сооружений составляет 220 тыс. м<sup>3</sup> в сутки.

Сточные воды, поступающие на очистные сооружения, последовательно проходят процессы механической и биологической очистки, затем после доочистки и обеззараживания сбрасываются в реку Томь.

Анализ материалов лабораторного контроля работы очистных сооружений (табл. 1) свидетельствует о неудовлетворительной очистке от биогенных веществ: после очистки наблюдается многократное увеличение нитритов и нитратов, эффективность очистки от фосфатов не достигает и 30 %.. Поступление в природные водоемы со сточными водами биогенных веществ в концентрациях, превышающих предельно-допустимые, вызывает в них нарушение естественного равновесия, в частности, их эвтрофикацию. Низкая эффективность очистки имеется также по тяжелым металлам, хлоридам, сульфатам. Кроме того, из данных табл. 1 следует вывод о том, что эффективность очистки за период 2007–2009 гг. по большинству компонентов снизилась. Фактические показатели эффективности работы очистных сооружений объясняются изменением качественных и количественных характеристик сточных вод, поступающих на очистку, изношенностью технологического оборудования и несвоевременной корректировкой технологического режима.

Биологически очищенные сточные воды перед сбросом в реку Томь подвергались обеззараживанию раствором гипохлорита кальция (хлорной водой). Эффективность обеззараживания с помощью хлора составляет 70 %, при этом существует риск возникновения мутагенных и канцерогенных веществ в воде. Еще программой развития канализационных очистных сооружений города Томска на 2008 год была запланирована разработка новой системы обеззараживания с помощью ультрафиолета. Ультрафиолетовая очистка позволила бы обеспечить более высокую эффективность и исключить возможность образования указанных веществ. Однако в настоящее время предприятие осуществило лишь переход на другое дезинфицирующее средство – «ДЕЗАВИД концентрат». «ДЕЗАВИД концентрат» содержит в своём составе в качестве действующих веществ полигексаметиленгуанидин гидрохлорид (ПГМГ-ГХ) 42,2 мас. % и алкилдиметилбензиламмоний хлорид 7,8 мас. % и используется в виде 6,4%-ого водного раствора. После сброса сточных вод в водный объект, обеззараженных с помощью средства «ДЕЗАВИД концентрат» концентрация средства в воде не должна превышать 0,03 мг/л по ПГМГ-ГХ.

В ходе технологического процесса очистки сточной воды образуются следующие твердые и жидкие отходы: избыточный активный ил, песок из песколовков, сырой осадок из первичных

отстойников, плавающие вещества из первичных отстойников. Состав и характеристика жидких и твердых отходов представлены в табл. 2.

Этап обезвоживания осадка на очистных сооружениях не предусмотрен. По существующей технологии отходы (сырой осадок из первичных отстойников и избыточный активный ил из вторичных отстойников) направляются на хранение в илонакопители, рассчитанные на заполнение в течение 10 лет. Из имеющихся на очистных сооружениях трех илонакопителей в настоящее время два заполнены полностью, а третий – на 90 %.

**Таблица 1.** Эффективность работы очистных сооружений за 2007–2009 гг.

Показатель	2007 г.			2008 г.			2009 г.		
	Свх, мг/л	Свых, мг/л	Э, %	Свх, мг/л	Свых, мг/л	Э, %	Свх, мг/л	Свых, мг/л	Э, %
Фосфаты (Р)	3,5	2,49	29	3,5	2,57	27	3,0	2,39	20
Нитриты	0,11	0,294	0	0,11	0,48	0	0,042	0,46	0
Нитраты	1,32	64,6	0	1,2	55,54	0	0,61	51,38	0
Азот аммонийный	22,1	1,89	91,4	24,3	2,4	90	22,8	1,9	92
Взвешенные	163,0	9,29	94,3	169,0	10,06	94	152	9,9	93
Нефтепродукты	3,2	0,32	90	3,7	0,35	90,5	4,0	0,36	91
Хлориды	57,6	48,07	16,5	55,9	48,92	12,5	52,6	51,9	1,3
Алюминий	0,14	0,069	50,7	0,094	0,044	53	0,073	0,05	31,5
Цинк	0,036	0,0061	83	0,084	0,0059	93	0,049	0,0068	86
Свинец	0,0043	0,0017	60,5	0,0037	0,003	19	0,0006	0,00039	35
Медь	0,014	0,00215	85	0,0022	0,00143	35	0,0098	0,0019	81
Никель	0,0	<0,08	0	0,0	<0,08	0	0,0	<0,08	0
Фенолы	0,077	<0,001	100	0,072	<0,001	100	0,063	<0,001	98
Сульфаты	89,6	35,62	60,2	89,7	23,54	74	49	40,9	16,5
Бензол	0,29	<0,0125	100	0,50	0	100	0,26	0	100
Железо	1,71	0,367	79	1,9	0,367	81	3,2	0,47	85
Хром +6	0	<0,01	0	0	<0,01	0	0	<0,01	0
БПКп	54,4	7,18	87	77,2	9,4	88	162,4	8,6	95

$S_{вх}$  – концентрация на входе в очистные сооружения;  $S_{вых}$ , – концентрация на выходе;  
Э – эффективность очистки.

**Таблица 2.** Характеристика жидких и твердых отходов

Наименование отходов	Количество отходов, кг/сут	Влажность, %
Избыточный активный ил	14036	99
Песок (в виде пульпы)	3496	65
Осадок из первичных отстойников	6640	93
Плавающие вещества	356	80

Проблему удаления сырого осадка и избыточного активного ила необходимо срочно решать, т. к. после заполнения третьего илонакопителя очистные сооружения должны быть остановлены. По оценке специалистов ЗАО «ГОС» третий илонакопитель будет полностью заполнен в течение 2–3 лет.

Таким образом, можно выделить следующие проблемы в работе предприятия ЗАО «ГОС»: заполнение илонакопителей и низкая эффективность очистки сточных вод. Эти проблемы объясняются высокой степенью износа оборудования очистных сооружений, которая составляет 83 %; увеличением объема стоков, вызванного ростом численности городского населения; изменением характера и качества стоков, т. к. практически перестали действовать локальные системы очистки промышленных предприятий.

Для решения этих проблем необходима поэтапная замена изношенного и морально устаревшего оборудования на новое оборудование, отвечающее современным требованиям энергосбережения, модернизация технологической сети биологически очищенных стоков, строительство цеха механической очистки осадка сточных вод.

На решение задачи реконструкции и модернизации очистных сооружений направлена Инвестиционная программа по развитию системы очистных сооружений в городе Томске, эксплуатируемой ЗАО «Городские очистные сооружения», на период 2012–2014 гг. Целью программы является повышение качественной и надёжной работы очистных сооружений, а также минимизация негативного воздействия на окружающую среду. Для достижения целей программы предполагается решить следующие задачи:

1. Строительство цеха механического обезвоживания осадка сточных вод;
2. Модернизация технологической сети биологически очищенных стоков, доведение фактической мощности очистных сооружений г. Томска до 220 тыс. м<sup>3</sup> в сутки.

В результате выполнения программы будет увеличена пропускная способность системы очистных сооружений и созданы условия для подключения строящихся (реконструируемых) объектов недвижимости к системам водоотведения с общей подключаемой нагрузкой 270 м<sup>3</sup> в час.

УДК 614.8.084

### **Эвакуация, прием и размещение населения Томского района в военное время**

***А.А. Семенова, А.А. Сечин***

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

*E-mail: queenofspades13@mail.ru*

Рассмотрена организация, подготовка и проведение эвакуации, приема и размещения населения Томского района в условиях мирного и военного времени. Отражены вопросы отправки (эвакуации), приема и размещения эвакуанаселения. Представлены основные задачи СЭП и ПЭП. Рассмотрено транспортное обеспечение эвакуационных мероприятий и численность эвакуанаселения, а также организация управления, оповещения и связи в ходе эвакуации.

Практика современной жизни говорит о том, что население всё чаще подвергается опасностям в результате стихийных бедствий, аварий и катастроф в промышленности и на транспорте, а также в результате военных действий.

Эвакуация населения – это комплекс мероприятий по организованному вывозу всеми видами имеющегося транспорта и выводу пешим порядком населения из городов и населенных пунктов и размещению его в загородной зоне.

В первую очередь за эвакуацию отвечают председатели районных государственных администраций. Кроме того, проведение эвакуации предусматривается и планируется на предприятиях, в учреждениях, организациях независимо от форм собственности и подчиненности. Каждый из перечисленных органов управления планирует мероприятия по эвакуации с территории объекта или административно-территориальной единицы – поселка, села, района, города и т.д. На каждом объекте назначается эвакуационная комиссия. В состав комиссии входят должностные лица, которые занимаются транспортным обеспечением, обеспечением населения продуктами питания, обеспечением жилищного фонда и т.д.

Отправка (эвакуация), прием и размещение эвакуанаселения. Основанием для принятия решения на проведение эвакуации является наличие угрозы жизни и здоровью людей, оцениваемой по заранее установленным для каждого вида опасности критериям.

Право принятия решения на проведение эвакуационных мероприятий принадлежит руководителям (начальникам ГО) органов исполнительной власти объектов РФ, органов местного самоуправления, на территории которых возникла или прогнозируется опасность.

Томский район расположен в юго-восточной части Томской области и представляет собой часть Западно-Сибирской низменности. Томский район граничит с Кожевниковским, Шегарским, Кривошеинским, Асиновским и Зырянским районами Томской области, на юге – с Новосибирской и Кемеровской областями. Площадь территории – 10024 кв.км. В расположенном вблизи областного центра экономически важном районе области сосредоточены основные предприятия агропромышленного комплекса. Население района в основном занято сельскохозяйственным производством.

На 1 января 2011 года административно-территориальное устройство территории Томского района состояло из 19 сельских поселений, 126 сельских населенных пунктов.



При объявлении эвакуации, на территории района разворачиваются сборные и приемные эвакуационные пункты во всех сельских округах.

Всего в Томском районе создано: 24-сборочных эвакуационных пункта (СЭП) и 9-приемных эвакуационных пунктов (ПЭП).

Сборные эвакуационные пункты (СЭП) создаются постановлением Главы города на базе предприятий и учреждений, предназначаются для сбора и учета эвакуируемого населения, организованной отправки его в безопасный район (место) или загородную зону.

Сборные эвакуационные пункты располагаются в зданиях общественного назначения вблизи пунктов посадки на транспорт и в исходных пунктах маршрутов пешей эвакуации.

К основным задачам СЭП относятся:

- поддержание связи с эвакуационной комиссией города, объектами, приписанными к СЭП, транспортными органами, исходными пунктами маршрутов пешей эвакуации, информирование их о времени прибытия населения на СЭП и времени отправления его на промежуточный пункт эвакуации.
- регистрация прибывающего населения, распределение его по видам транспорта и отправка на пункты посадки.
- контроль за своевременной подачей транспортных средств и организацией отправки эвакуируемого населения на ППЭ.
- ведение учета эвакуируемого населения, вывозимого всеми видами транспорта и выводимого пешим порядком и представление об этом сведений в ОЭК и ГЭК (по времени, объектам и видам транспорта)
- организация оказания доврачебной медицинской помощи заболевшим во время нахождения их на СЭП.
- обеспечение соблюдения эвакуируемым населением общественного порядка и укрытие его в защитных сооружениях по сигналам гражданской обороны.
- Объем работы и порядок действий личного состава СЭП определяются функциональными обязанностями, разрабатываемыми органом по делам ГО и ЧС совместно с председателем эвакуационной комиссии.

Сборочные эвакуационные пункты находятся в таких населенных пунктах как: с. Лучаново, г. Томск, п. Мирный, с. Воронино, с. Семилужки, п. Рассвет, п. Копылово, с. Корнилово, с. Кафтанчиково, с. Тахтамышцево, д. Кисловка, п. Зональная Станция (2 шт.), с. Зоркальцево, д. Нелюбино, д. Поросино, д. Петрово, с. Моряковский Затон (2 шт.), с. Рыбалово, с. Александровское, с. Малиновка, п. Молодежный, с. Октябрьское.

Приемный эвакуационный пункт – место в районах выгрузки (высадки), куда прибывает эвакуируемое население для временного или постоянного размещения. Приемные эвакуационные пункты создаются в сельском округе по решению суженного заседания муниципалитета Томского района, которые принимают эвакуируемое и рассредоточиваемое население. Основными задачами ПЭП являются:

а) в мирное время:

- участие в разработке совместно с административными, хозяйственными органами и отделом ГОЧС района плана приема и размещения эвакуируемого населения в загородной зоне;
- определение места развертывания (дислокации) ПЭП;
- организация подготовки личного состава ПЭП к практической работе по назначению;
- разработка документов на личный состав ПЭП их учет и хранение;

б) с получением распоряжения о проведении эвакуации:

- руководство работой личного состава ПЭП по выполнению поставленных задач;
- организация встречи автомобильных колонн, эвакуационных эшелонов (поездов), их регистрация, вывоз (вывод) эвакуируемого населения с ПЭП и его размещение по домам и квартирам в приписанных населенных пунктах;
- размещение объектов экономики согласно расчета размещения эвакуируемого населения и объектов экономики городов (городских районов) по населенным пунктам;
- согласование с эвакуационной комиссией района графиков движения транспортных средств, его выделение автохозяйствами сельского района;
- организация оказания медицинской помощи заболевшим из числа прибывшего эвакуируемого населения;
- обеспечение поддержания общественного порядка в районе ПЭП и укрытие населения, находящегося на ПЭП по сигналам гражданской обороны;

- своевременные доклады в эвакуационную комиссию района о времени прибытия, количестве прибывшего эвакуантского населения и отправке его в конечные пункты размещения;
- при необходимости своевременная выдача средств индивидуальной защиты населению.

Приемные эвакуационные пункты находятся в таких сельских поселениях как: с. Богашево, д. Верхнее-Сеченово, с. Итатка, с. Калтай, д. Кандинка, с. Коларово, с. Курлек, с. Новорождественка, с. Турунтаево.

Для эвакуации населения используется автотранспорт предприятий, организаций и учреждений всех форм собственности муниципального образования «Томский район».

Работа транспорта в ходе эвакуации населения предполагает различные схемы его возможного использования:

- доставка населения от мест жительства к СЭП;
- доставка населения от СЭП к ППЭ;
- доставка населения от ППЭ к ПЭП;
- доставка населения от ПЭП к местам размещения.

Функционирование городского транспорта при осуществлении эвакуации организуется по уплотненным графикам движения с перераспределением транспортных средств по маршрутам эвакуационных перевозок, назначением дополнительных маршрутов.

Используется 42 единицы автотехники для эвакуации Томского района, в том числе – автобусов 27 единиц; грузовых – 13 единиц; самосвалов – 2 единицы.

Для вывоза населения (а это 48414 человек) в безопасную зону необходимо совершить 6 рейсов на грузовой автотехнике и 9 рейсов на автобусах. Осуществить эвакуацию планируется в течении 24 часов.

Связь осуществляется по телефонам эвакуационных комиссий сельских округов, СЭПов, ПЭПов, а также по ведомственным каналам связи РОВД, МСГО. Эвакуация считается завершенной, когда все подлежащее эвакуации население будет вывезено (выведено) за границы зоны действия поражающих факторов источника ЧС в безопасные районы.

Основные выводы заключаются в следующем, определили основные задачи сборочных эвакуационных пунктов и приемных эвакуационных пунктов, их нахождения и кем они создаются. Выяснили, сколько автотехники потребуется для эвакуации населения Томского района, и какое максимальное время выделяется на проведение эвакуационных мероприятий, а также численность эвакуируемого населения.

#### **Список использованной литературы**

1. Руководство по планированию и организации эвакуации населения при ЧС. М., ВНИИ ГОЧС, 1994
2. Федеральный закон «О гражданской обороне» от 12. 02.1998 г. № 28-ФЗ.
3. Руководство по эвакуации населения в ЧС природного и техногенного характера. М., ВНИИ ГОЧС, 1996
4. Руководство по организации, планированию, обеспечению и проведению эвакуации населения в военное время. М., МЧС, 1997

УДК 502.174

#### **Извлечение энергии из пластмассовых отходов**

*Л.В. Супрун, Т.С. Цыганкова*

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

*e-mail: [tsygankovats@tpu.ru](mailto:tsygankovats@tpu.ru)*

Постоянный рост производства пластмасс и расширяющаяся сфера их применения в различных отраслях техники, большие объемы пластмассовой продукции на потребительском рынке, быстрый переход пластмассовой продукции (особенно упаковки различных видов) в категорию отходов при одновременном росте стоимости их захоронения, существенное загрязнение пластмассовыми отходами окружающей среды (в естественных условиях эти отходы не разлагаются и не разрушаются в течение многих десятилетий) выступают предпосылками их вовлечения в промышленную переработку и утилизацию.

Использование пластмассовых отходов как вторичного сырья позволяет экономить ценное первичное сырье и энергию. Вторичные полимерные материалы должны играть в производстве пластмасс такую же роль, какую играет металлолом в металлургии [1].

Проблем, связанных с утилизацией полимерных отходов, достаточно много. Они имеют свою специфику, но их нельзя считать неразрешимыми. Однако решение невозможно без организации сбора, сортировки и первичной обработки амортизованных материалов и изделий; без разработки системы цен на вторичное сырьё, стимулирующих предприятия к их переработке; без создания эффективных способов переработки вторичного полимерного сырья, а также методов его модификации с целью повышения качества; без создания специального оборудования для его переработки; без разработки номенклатуры изделий, выпускаемых из вторичного полимерного сырья [2].

Количество пластиковых отходов на сегодняшний день настолько велико, что ученые уже думают не только над тем, как утилизировать пластмассу, но и над тем, как делать это с максимальной выгодой. Идея получения энергии от сжигания пластика не нова, и способов ее реализации существует немало. Но проблема экологичности процесса по-прежнему остается актуальной – сгорание пластмассы неизбежно сопровождается выбросом в атмосферу вредных веществ.

Однако, по всей видимости, в ближайшее время эта проблема будет устранена благодаря изобретению профессора Янниса Левендиса и группы студентов Северо-Восточного университета. Ученые сконструировали специальную камеру сгорания отходов, опытный образец которой был представлен на пятой ежегодной конференции по энергетике MIT в марте 2010 года.

Секрет устройства заключается в специальном двойном резервуаре. Сначала пластиковые отходы обрабатываются в верхней части резервуара, при этом твердые материалы превращаются в газ в результате пиролиза. Полученный газ отправляется в нижнюю часть резервуара, где он сжигается вместе с окислителями. В результате горения выделяются тепло и пар, при этом тепло используется для поддержания горения в камере, а пар – для выработки электроэнергии.

Опытный образец, представленный разработчиками, обладает небольшими размерами, но ученые утверждают, что устройство можно масштабировать до размера крупной электростанции. Согласно некоторым расчетам группы разработчиков, новая технология получения электроэнергии способна заменить до 462 миллионов галлонов нефти только в Соединенных Штатах, при условии, что будут использованы все пластиковые отходы. А если посчитать количество пластиковых отходов во всем мире, то эта цифра будет весьма впечатляющей [3].

Из-за сложности и многообразия природы пластмасс, а также вследствие того, что многие изделия невелики по размерам и легковесны, механическая переработка может быть экологически и экономически оправдана (то есть она эко-эффективна) только для некоторой доли крупногабаритных изделий. Поэтому полимерная, упаковочная, автомобильная и т. д. индустрии работают совместно на европейском, национальном и двухсторонних уровнях вместе с другими партнерами над разработкой всего диапазона вспомогательных процедур восстановления. Например, проведены экологические сопоставления различных способов переработки и восстановления для упаковочного сектора полимерного рынка. Результаты этих исследований показывают, что высокоэффективная рекуперация энергии может быть с точки зрения воздействия на окружающую среду идентична переработке материала, если реальный коэффициент замещения составляет 1,2—1,4 кг вторичного продукта на один кг оригинального материала. Дэнпсон и Мэнникен представили информативный обзор по переработке пластмасс в Европе, в котором рассмотрены механическая и химическая переработка отходов, а также различные методы извлечения энергии [4].

Китайская компания Beijing Roy Environment Technology Ltd объявила о создании установки EZ-Power по переработке пластиковых отходов в электроэнергию. Генератор энергии работает по технологии нового поколения, которая позволяет получать электричество из самых разных видов пластикового мусора. При этом работает установка совершенно бесшумно и не производит вредных выбросов в окружающую среду. Компания Beijing Roy расположена в Пекине. Она специализируется на получении электроэнергии путем переработки пластиковых отходов в нефть при низких температурах в отсутствие воздуха [5].

Универсальная экспериментально-производственная установка по утилизации углеродосодержащих отходов и выработки из них топлива разработана томскими учеными.

Данная технология альтернативного источника топлива (АИСТ) не имеет аналогов в мире. АИСТ вырабатывает топливо с высоким октановым числом класса "Евро-4". Перерабатывая три кубометра бытового мусора в час, установка способна производить до 200 литров синтетического топлива.

По данным разработчиков, установка способна перерабатывать практически все отходы включая углеродосодержащее сырьё и получать тепло, газ либо синтетическое топливо. Данный

проект позволяет создать замкнутый цикл переработки мусора (пластики с каждым годом составляют все большее число отходов ТБО) и сточных вод в тепловую и электрическую энергию в пределах одного жилого дома [6].

Полиэтилентерефталат – синтетический линейный термопластичный полимер – ПЭТ на сегодняшний день один из основных составляющих бытовых отходов. В промышленном масштабе ПЭТ начал выпускаться как волокнообразующий полимер, но вскоре занял одно из ведущих мест и в индустрии полимерной упаковки. По темпам роста потребления в настоящее время полиэтилентерефталат является наиболее быстрорастущим полимерным материалом.

Стоимость затрат на утилизацию отходов ПЭТ остается достаточно высокой. Основные затраты приходятся на сбор и заготовку отходов потребления. Расширение масштабов переработки пластмассового вторичного сырья сдерживается рядом факторов. Основные процессы переработки требуют отделения пластмасс от других отходов, а также сортировки их по видам и очистке. Это ведет к росту издержек производства, которые могут достигать 40–50 % общих затрат на получение вторичной продукции. Легче перерабатываются промышленные отходы пластмасс. Сложнее перерабатывать пластмассы, которые попадают в мусор. Из них сравнительно легко удастся выделить полиэтиленовую пленку, пластмассовые бутылки, ящики для бутылок.

Успешнее всего в мире перерабатывают отходы ПЭТ, главным образом, бутылки из-под шипучих напитков, соков, масла и т. д. Емкости закрывают крышками из полиэтилена, которые из измельченной смеси отделяются методом флотации. Это самая дорогая стадия вторичной переработки, она забирает на себя до 30 % стоимости процесса. Наиболее прогрессивной является переработка полимерных отходов во вторичное полимерное сырье. Особенно это касается отходов ПЭТ, цена 1 т которого достигает 1200 долл. США. Поиск рационального решения этого вопроса ведется в направлениях, рассмотренных ниже.

Очень распространенным способом утилизации отходов потребления пластмасс является сжигание. Теплотворная способность 2 т пластиковых отходов упаковки эквивалентна теплотворной способности 1 т нефти (теплотворная способность ПЭТ —22700 кДж/кг). В некоторых странах работают небольшие ТЭЦ по сжиганию бытовых отходов, в состав которых входит до 50 % отходов полимерной упаковки. Как источник тепловой энергии отходы упаковочных материалов используют многие страны. По различным оценкам, на сегодня сжигается до 40 % полимерных отходов[7].

#### **Список использованной литературы:**

1. Шубов Л.Я. Технология твердых бытовых отходов. – М. : Инфра-М: Альфа-М, 2011.
2. Утилизация и вторичная переработка тары и упаковки из полимерных материалов: учебное пособие / А. С. Клинков, П.С. Беляев, В.К. Скуратов, М.В. Соколов, В.Г. Однолько. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2010.
3. <http://www.energohelp.net/articles/technologies-sub/63976/>
4. <http://www.tehnoinfo.ru/polimer/107.html>
5. <http://www.tatcenter.ru/article/18147/>
6. <http://www.rg.ru/2011/05/25/reg-sibir/musor.html#comments>
7. Журнал «PakkoGraff» / Вторая жизнь. А. Масленников. 2004г. №8

#### **Оценка эффективности удаления ионных примесей из растворов путем электролиза**

*Т.А. Раденков*

*Томский политехнический университет, г.Томск, Россия*

*E-mail: [drovosek@tpu.ru](mailto:drovosek@tpu.ru)*

Проведена оценка энергоэффективности удаления ионов тяжёлых металлов путём электролиза на примере модельного раствора содержащего ионы меди. В качестве электродов использовались графитовый анод и медный катод.

В современной природоохранной деятельности существует проблема очистки сточных вод от тяжёлых металлов. Проблема заключается в накопленных за десятки лет, и постоянно увеличивающихся объёмах сточных вод, содержащих повышенные концентрации тяжёлых металлов. В течение последних лет наблюдается повышенный интерес к проблеме загрязнения тяжёлыми металлами поверхностных и подземных вод. Такие элементы, как ртуть и кадмий обладают токсичностью по отношению к биосфере уже при чрезвычайно низких концентрациях. Серебро, хром, свинец, медь и цинк также обладают токсичными свойствами, хотя их

концентрации, представляющие опасность, на порядок выше, чем соответствующие концентрации Cd или Hg. Для примера приведём результаты воздействия тяжёлых металлов на организм человека: повышенные концентрации свинца приводят к атеросклерозу; ртути, вызывают полиневрит; никеля, ухудшают зрение; цинка, поражают костный мозг, кадмия, развивают гипертонию.

Для решения проблемы очистки больших объёмов сточных вод от тяжёлых металлов но рыбохозяйственных норм необходим поиск методов, являющихся эффективными как с точки зрения достижения малых концентраций, так и с точки зрения энергетической эффективности.

Тяжелые металлы могут существовать в воде в коллоидно-дисперсной форме, минеральной или органической взвеси, а также в форме идеального раствора. Анализ известных различных способов очистки сточных вод от тяжелых металлов позволил выделить основные группы методов:

- Химические и физико-химические: осаждение и выделение металлов в виде гидроксидов, оксидов, сульфидов и других нерастворимых соединений с величиной произведения растворимости  $PP < 10^{-10}$ , комплексообразование;
- Физические: адсорбция, выпаривание, мембранная очистка;
- Ионнообменные: обмен, находящихся в растворе ионов тяжелых металлов на ионы водорода, натрия или калия, изначально закрепленных на матрице природного или синтетического сорбента;
- Электрохимические: электрокоагуляция, электрохимическая деструкция, цементация, электрофлотация, электрофорез, и др.

Данные методы имеют различную эффективность очистки. Они эффективны, преимущественно, при очистке воды до норм питьевого водоснабжения. На этапе очистки сточных вод от тяжёлых металлов с норм питьевого водопользования до норм рыбохозяйственного назначения, большинство методов либо не обеспечивают должного уровня очистки, либо являются энергетически неэффективными. Электрохимическая очистка является перспективным методом с точки зрения энергоэффективности и глубокой очистки.

В работе рассмотрено влияние времени пребывания раствора в проточной ячейке, межэлектродного расстояния, учтено влияние температуры на коэффициент диффузии ионов. Проведенные исследования позволили систематизировать факторы, влияющие на эффективность процесса удаления ионов тяжёлых металлов путем электролиза. Первая группа факторов связана с электрическими потерями на прямой нагрев раствора, что вызвано увеличением удельного электрического сопротивления при достижении малой концентрации ионов, а также затруднением переноса заряда. Вторая группа факторов обусловлена диффузионными ограничениями, снятию которых способствует повышение скорости циркуляции раствора и уменьшение межэлектродного расстояния.

#### **Список использованной литературы:**

1. Омельчук А.А. Тонкослойный электролиз в расплавленных электролитах // Электрохимия. — 2007. — Т. 43. — № 9. — С. 1060–1069.
2. Нефедов В.Г., Артюшенко О.А., Кашеварова Е.В. Массоперенос к горизонтальному газовыделяющему электроду // Электрохимия. — 2006. — Т. 42. — № 6. — С. 712–718.
3. Хенстридж М.К., Дикинсон Э.Д.Ф., Комптон Р.Г. Массоперенос к пористому электроду и внутри него. вольтамперометрия с линейной разверткой потенциала и влияние размера пор: предсказание двойных пиков тока для единственного электродного процесса // Электрохимия. — 2012. — Т. 48. — № 6. — С. 698.
4. Пеганова Н.В., Цупак Т.Е. Электроосаждение никеля из разбавленного ацетатно-хлоридного электролита в импульсном режиме // Гальванотехника и обработка поверхности. — 2007. — Т. XV. — № 4. — С. 18-24.

#### **Теория рисков в пожаротушении**

*\*С.И. Осипенко, А.И. Сечин*

*\*ФГБОУ ВПО Уральский Институт ГПС МЧС России, г. Екатеринбург, Россия*

*ГОУ ВПО НИ Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

На сегодняшний день индустриальная составляющая в стране сильно устарела. При строительстве производственных зданий и сооружений не учитывались сроки службы

инженерных конструкций, а фундаментальные узлы цивилизации уже реально угрожают жизни человека, особенно угрожают в плане пожарной опасности.

За борьбу с пожарами отвечает пожарная охрана, а непосредственно на самом пожаре – руководитель тушения пожара (РТП). В процессе ликвидации пожара, РТП производит оценку эффективности возможных вариантов решений данной проблемы, и в результате этого выбирает один из них. Поскольку решение РТП неизбежно содержит элемент риска, он должен уметь разобраться, когда риск допустим, а когда – нет.

Риск - возможная опасность какого-либо неблагоприятного исхода. Риск всегда обозначает вероятностный характер исхода, при этом в основном под этим понятием чаще всего понимают вероятность получения неблагоприятного результата (потерь), хотя его можно описать и как вероятность получить результат, отличный от ожидаемого. Одна из функций риска – инновационная, проявляется в стимулировании поиска нетрадиционных решений проблем, а, как известно, на пожаре РТП приходится принимать порой неадекватные решения, характеризующиеся высоким уровнем риска для личного состава и граждан.

Основной задачей пожарной тактики является разработка наиболее целесообразных способов и приемов организации и осуществления работ по тушению пожаров, а некоторые такие способы и приемы опасны для здоровья и жизни.

Федеральный закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности». Статья 6. Условия соответствия объекта защиты требованиям пожарной безопасности: пожарная безопасность объекта защиты считается обеспеченной, если пожарный риск не превышает допустимых значений, установленных настоящим Федеральным законом.

Использованные термины имеют следующие определения:

- Пожарный риск - мера возможности реализации пожарной опасности объекта защиты и ее последствий для людей и материальных ценностей;
- Допустимый пожарный риск - пожарный риск, уровень которого допустим и обоснован исходя из социально-экономических условий;
- Индивидуальный пожарный риск - пожарный риск, который может привести к гибели человека в результате воздействия опасных факторов пожара.

Индивидуальный пожарный риск в зданиях, сооружениях и строениях не должен превышать значение одной миллионной в год при размещении отдельного человека в наиболее удаленной от выхода из здания, сооружения и строения точке;

- Потенциальный пожарный риск - частота реализации опасных факторов пожара в рассматриваемой точке территории;
- Социальный пожарный риск - степень опасности, ведущей к гибели группы людей в результате воздействия опасных факторов пожара.

В настоящее время по международной договоренности принято считать, что действие техногенных опасностей (технический риск) должно находиться в пределах от  $10^{-7}$  ...  $10^{-6}$  (1/год<sup>1</sup>), а величина  $10^{-6}$  является максимально приемлемым уровнем индивидуального риска. В национальных правилах эта величина используется для оценки пожарной безопасности и радиационной безопасности. В некоторых странах, например в Голландии, приемлемые риски установлены в законодательном порядке.

Пренебрежимо малым считается индивидуальный риск гибели  $10^{-8}$  в год.

Но Брушлинский Н.Н., в 2002 году писал, что риск  $R_1$  для человека столкнуться с пожаром за год составляет  $1,2 \times 10^{-3}$  (пожар/человек), а риск  $R_2$  для человека погибнуть при пожаре в течение года равен  $1,2 \times 10^{-5}$  (жертва/человек).

Известно, что риску присущи стимулирующая и защитная функции. Стимулирующая функция имеет конструктивный (создание защищающих инструментов и устройств) и деструктивный (авантюризм, волонтаризм) аспекты. Защитная функция тоже имеет два аспекта: историко-генетический (поиск средств защиты) и социально-правовой (необходимость законодательного закрепления понятия «правомерность риска»).

4 основные функции:

- Защитная — проявляется в том, что для хозяйствующего субъекта риск это нормальное состояние, поэтому должно вырабатываться рациональное отношение к неудачам;
- Аналитическая — наличие риска предполагает необходимость выбора одного из возможных вариантов правильного решения;
- Инновационная — проявляются в стимулировании поиска нетрадиционных решений проблем;

- Регулятивная — имеет противоречивый характер и выступает в двух формах: конструктивной и деструктивной.

Антиподом риска являются гарантии. Выделяют гарантии достижения (рассчитаны на успех) и гарантии компенсации (рассчитаны на неудачу).

Установлено, что большое влияние на обстановку с пожарами оказывает общий уровень подготовки в области пожаротушения. Наиболее удачное предотвращение пожара может быть достигнуто при оперативном прибытии пожарных и спасательных подразделений и их высокой готовности, что накапливается как опыт при постоянных тренировках, разборах пожаров, занятий и учений.

Чтобы уменьшить величину пожарного риска, необходимо устранение причин его возрастания, которые могут быть реализованы за счет совершенствования технических систем и повышения профессионализма обслуживающего персонала общежития.

Существует косвенная качественная оценка рисков по шкалам и матрицам, которые определяют количественные степени риска, определяются профили риска. Одно из основных мест в определении риска, его величины играет процесс построения и анализ дерева событий. Именно здесь должна определяться количественная составляющая риска, которая в большинстве случаев отсутствует. Сложность определения этих величин и заставляет авторов искать косвенные оценки.

Мы предлагаем объединить теорию риска с практикой подготовки и ведения действий по тушению пожара и проведения аварийно-спасательных работ подразделений противопожарной службы для разработки наиболее приемлемых способов и приемов организации осуществления действий на пожаре и внедрить их в тактическую подготовку начальствующего состава федеральной противопожарной службы МЧС России.

#### **Список использованной литературы:**

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности. Федеральный закон от 22 июля 2008 № 123-ФЗ.
2. Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности. Приложение к приказу МЧС России от 30.06.2009 №382.
3. Организационно-методические указания по тактической подготовке начальствующего состава ФПС МЧС России. Утверждены Главным военным экспертом МЧС России генерал-полковником П.В.Платом 28.06.2007.
4. Брушлинский Н.Н. – Статистика, анализ, прогнозы. Пожары в России и в мире. – Калан, 2002.

УДК 614.84:006.54:537.21.66

### **Статическое электричество как дестабилизирующий фактор технологического процесса производства фармацевтических препаратов**

*М.В. Гуляев, А.И. Сечин, М.С. Барский, И.Н. Долдин, Д.В. Терехин, А.А. Сечин  
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

В ряде производств широко применяются порошкообразные вещества, при промышленной переработке которых происходит их статическая электризация. Так как сами вещества обладают высокими взрывоопасными свойствами, то процессы электризации создают пожаровзрывоопасность вследствие возможности воспламенения взвешенных веществ от теплового импульсного воздействия на них разрядов статического электричества.

При оценке опасности воспламенения были проведены экспериментальные исследования по известным методикам [1, 2]. Определены основные пожаровзрывоопасные характеристики реагирующих веществ, а также параметров технологических процессов, влияющих на образование и накопление электростатических зарядов, на их воспламеняющую способность.

На разработанной пилотной установке [3, 4], нами проведены исследования процессов сушки и пневмотранспорта в промышленных условиях. Были выявлены наиболее опасные в отношении интенсивности электризации технологические узлы. Исследования показали, что возникновение статического электричества на оборудовании и в перерабатываемых средах не носит устойчивого характера и зависит от многих сопутствующих факторов, основные из которых: характеристики пожаровзрывоопасности перерабатываемого вещества; температура, давление и влажность, состав гетерогенной системы, вероятность появления источников зажигания.

Установлено, что в системе пневмотранспорта и –сушки отведение электростатических зарядов осложняется образованием пограничного диэлектрического слоя достаточной толщины, который препятствует передаче заряда от частиц транспортируемого материала к металлическим заземленным стенкам и способствует накоплению больших зарядов внутри технологического оборудования.

Для никотиновой кислоты, технологический процесс которой реконструировался с целью его интенсификации, это явление особенно характерно. Ввиду высокой липучести материала, пограничный диэлектрический слой образуется вследствие падения скорости транспортирующего воздуха непосредственно у стенок. На разных участках установки условия образования этого слоя различны и зависят от гидродинамики процесса, от физико-химических свойств материала стенок и частиц перерабатываемого вещества. Основное значение имеет твердость, влажность частиц и наличие электростатических зарядов на них. Под влиянием сил электростатического поля, сильно заряженные частицы никотиновой кислоты прилипают к стенкам, особенно это относится к мелким фракциям, у которых удельный заряд относительно больше, чем у крупных фракций.

Исследования показали наличие в пограничном слое мелкодисперсных частиц плотно прилипших к стенкам технологического оборудования. Установлено, что условия образования пограничного слоя на разных участках установки различны. Они облегчены там, где характер движения воздушного потока ближе к ламинарному. В циклоне образуется особенно толстый пограничный диэлектрический слой. Это объясняется малой скоростью движения частиц в аппарате, наличием больших зарядов на частицах и диэлектрической диффузией их.

Также установлено, что частицы никотиновой кислоты при контакте с металлом приобретают отрицательный заряд, обеспечивая тем самым в потоке транспортируемого воздуха преобладание над числом положительно заряженных частиц.

Явление, связанное с образованием пограничного диэлектрического слоя на стенках различных технологических участков могут изменить как характер накопления заряда на транспортируемом веществе, так и процесс передачи заряда от заряженных частиц металлическим стенкам.

Проведенные исследования дали возможность установить способы воздействия на технологические процессы, которые в зависимости от электризуемости используемых веществ и их пожароопасности, позволили определить безопасные технологические режимы и конструктивные размеры технологических аппаратов.

В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- заземление; выполняемое на всех электропроводящих участках пневмосистемы. не дает полной гарантии взрывобезопасности, с помощью его отводится на землю заряд, накапливаемый на металлических корпусах технологического оборудования, тогда как заряды, накапливаемые на диэлектрическом транспортируемом материале, могут долго сохраняться, создавая опасность возникновения искрового пробоя при благоприятных условиях;
- увеличение влагосодержания материала и теплоносителя, являющимся радикальным в других химических производствах, неприемлем в рассматриваемом случае, как и использование антистатических добавок, вследствие изменения технологического режима процесса сушки и качества продукции;
- необходимо провести исследования с целью установления времени релаксации наведенного заряда, так необходимого при разработке мероприятий по пуску-останову производства.

Авторами разработаны предложения по созданию системы предупреждения взрывов в технологических объемах производственного оборудования. Она базируется на автоматически действующем устройстве, извещающим о появлении опасного уровня электростатических зарядов, может органично встраиваться в действующую систему автоматического управления процессом сушки. Порог срабатывания защиты варьируется в зависимости от взрывоопасных свойств перерабатываемых веществ.

#### **Список использованной литературы:**

1. ГОСТ 12.1.044-89. ССБТ. Пожаровзрывобезопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения.
2. ГОСТ 12.4.124-83. ССБТ. Средства защиты от статического электричества. Общие технические требования.
3. Гуляев М.В., Сечин А.И. Обеспечение взрывобезопасности при статической электризации порошкообразных веществ в некоторых технологических процессах./Материалы пятой



Всероссийской научно-технической конференции “Энергетика: экология, надежность, безопасность”. Томск: Изд-во ТПУ, 1999. 250 с.

4. Сечин А.И., Бошенятов 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.

УДК 614.84.006.54:537.21:66

#### Установка по изучению электростатических полей в модельных полостях циклона

*М.В. Гуляев, А.И. Сечин, М.С. Барский, Т.А. Иванова, А.А. Сечин*

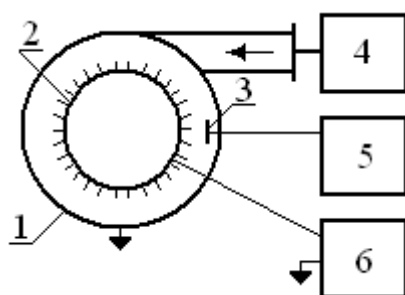
*Томский политехнический институт, г. Томск, Россия*

Среди физических факторов, вызывающих интерес исследователей, важное место занимает статическое электричество (СЭ). Оно 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 СЭ, величина которых зависит от ряда факторов [1]. Исследователи установили, что интенсивная электризация возникает, если  $\rho \geq 10^6$  Ом·м. 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 СЭ превышает минимальную энергию воспламенения пылевоздушной горючей среды. Следовательно, необходимо принятие мер, предотвращающих указанную опасность. В соответствующей литературе освещены способы защиты от опасных проявлений СЭ [1]. Реализация этих способов основана на использовании двух принципов:

- предотвращение накопления зарядов СЭ;
- предотвращение опасных проявлений СЭ.

Одним из известных и перспективных способов является применение нейтрализаторов заряда СЭ, установленных на технологическом оборудовании в электризующихся средах.

Работа проводилась в рамках сотрудничества с Новокузнецким ОАО «Органика», где в технологических процессах производства лекарственных веществ широко проявляется статическая электризация. Проведенные исследования этих процессов на предмет поиска эффективных и перспективных способов защиты от опасностей взрыва и пожара дали основание выбрать в качестве одного из основных способов – нейтрализацию зарядов СЭ, что и легло в цель



данной работы. На этом основании был разработан и исследован пневмоиндукционный нейтраллизатор, предназначенный для установки в циклоне действующей технологической цепи, как на наиболее электризуемом ее участке.

Рис. 1. Схема установки по изучению электростатических полей в модельных полостях циклона

В систему нейтрализации входят следующие элементы: циклон 1 с патрубком для наружной подачи сжатого воздуха воздуходувкой 4, нейтраллизатор 2 в виде цилиндра с игольчатыми электродами для стекания коронирующих разрядов, и вертикальными щелями для внутреннего нагнетания воздуха; внутреннего цилиндрического участка стенки циклона, взаимодействующей с потоком статически электризованной пыли. Датчика 3 регистрации величины СЭ с блоком регистрации 5. источник высоковольтного питания 6 генерирует необходимую величину напряжения на цилиндре с игольчатыми электродами 2.

Предлагаемый нейтраллизатор отличается от других аналогичных устройств тем, что в нем могут применяться полые коронирующие иглы с самоочищающемся острием на ее выходном конце. В конструктивном отношении и в части процесса нейтрализации предлагаемое устройство характеризуется тем, что в зоне выхода из него сжатого воздуха образуется газовая подушка, обеспечивающая очистку коронирующих игл от оседающей пыли и поддержание непрерывности процесса нейтрализации [2, 3]. Для оценки эффективности работы нейтраллизатора был проведен ряд экспериментов, по результатам которого построены вольтамперные характеристики,

представленные на рис.1 и 2. Процесс нейтрализации (рис.1) показывает, как изменяется его эффективность в различных зонах соотношений потенциала нейтрализуемой поверхности и токов нейтрализации.

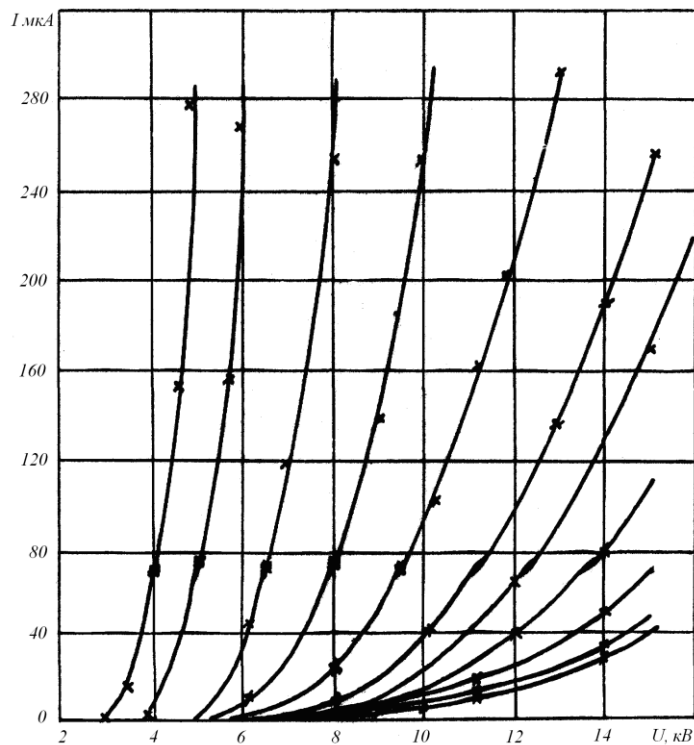


Рис. 1. Характеристика ионизирующего действия индукционного нейтрализатора

Анализируя результаты представленные на рис. 1. можно сделать заключение о том, как изменяется эффективность процесса нейтрализации статического электричества в различных зонах циклона, где установлен нейтрализатор, вследствие изменения соотношения потенциала нейтрализуемой поверхности и токов нейтрализации.

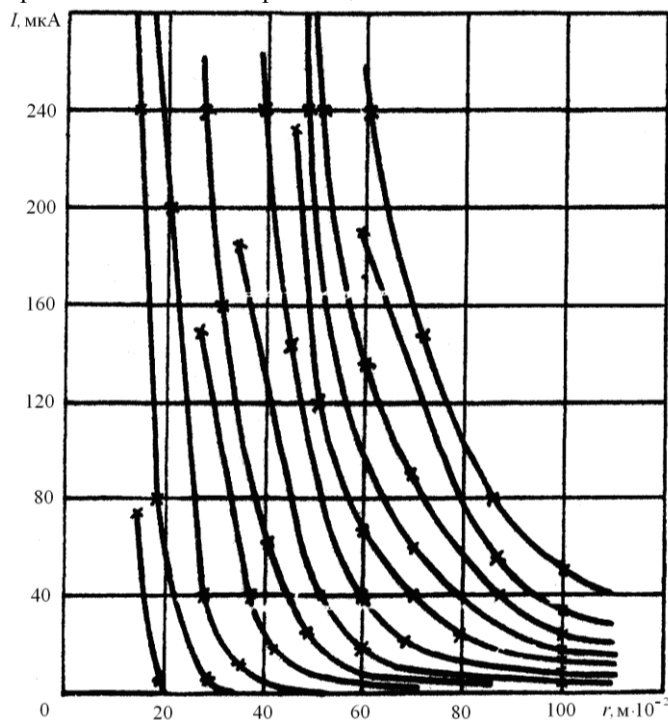


Рис. 2. Влияние расстояния от нейтрализатора до взаимодействующей поверхности

Проведенные расчеты показывают, что рационально выбранный конструктивный параметр  $I_k$  позволяет стекать статическим зарядам посредством коронирующих разрядов с энергией меньше энергии зажигания пылевзвеси перерабатываемого материала.

Установив, что энергия коронирующих разрядов существенно ниже энергии зажигания, но величина ее достаточна для проведения пиролиза высушиваемой парогазовой жидкости, что так же повышает пожаровзрывобезопасность технологического процесса.

Характеристики представленные на рис.2 позволяют рационально выбирать конструктивный параметр, выражающий расстояние между индукционно взаимодействующими поверхностями, оптимальным расстоянием и конструктивным исполнением разрядных электродов пневмоиндукционного нейтрализатора.

Таким образом, в результате проведенного исследования можно сделать следующее заключение:

- установка по изучению электростатических полей в модельных полостях циклона позволяет получать экспериментальные результаты адекватные наблюдаемым в производственных процессах;
- полученные результаты позволяют заключить, что энергию коронирующих разрядов можно регулировать геометрическим фактором от величины существенно ниже энергии зажигания, до величины достаточной для проведения пиролиза высушиваемой парогазовой жидкости.
- сделаны предпосылки для разработки практических рекомендаций позволяющих повысить пожаровзрывобезопасность технологического процесса.

#### **Список используемой литературы:**

1. Б.К. Максимов, А.А. Обух. Статическое электричество в промышленности и защита от него. М.: Энергия, 1978.
2. М.В. Гуляев, А.И. Сечин, В.И. Косинцев. Пилотная установка для изучения процессов сушки мелкодисперсных материалов./Материалы пятой Всероссийской научно-технической конференции “Энергетика: экология, надежность, безопасность”. Томск: Изд-во ТПУ, 1999. 250 с.
3. 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.

УДК 614.8:677.021

### **Разработка безопасного метода гранулирования и сушки материалов**

*А.И. Сечин, Т.А. Задорожная, А.А. Сечин*

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

Гранулирование представляет совокупность физико-химических и физико-механических процессов, обеспечивающих формирование частиц определенных размеров, формы, структуры и физических свойств. В общем случае гранулирование включает в себя следующие технологические стадии: подготовка исходного сырья, дозирование и смешение компонентов, собственно гранулообразование, формирование структуры, сортировка. Эффективность процесса гранулирования зависит от механизма гранулообразования, который в свою очередь определяется способом гранулирования и его аппаратурным оформлением.

Благодаря высокой интенсивности процесса и большой производительности, гранулирование материалов во взвешенном состоянии получило широкое распространение. Оно позволяет предотвратить расслаивание многокомпонентных масс, улучшить сыпучесть порошков, обеспечить точность дозирования и равномерное распределение активного компонента, а, следовательно, большую гарантию лечебных свойств каждой таблетки. Таким образом, задачей гранулирования является обеспечение тесного сближения частиц порошкообразного материала и формирование из них однородных и прочных гранул определенного размера [1].

Производство порошкообразных и гранулированных лекарственных препаратов имеет ряд особенностей, определяющихся как термолабильностью гранулированных материалов, так и их неоднородностью. Это требует ограничение температуры теплоносителей, во избежание местных перегревов материала. Конструкцию гранулятора характеризуют и определяют исходный материал, способ образования гранул, форма и свойства получаемых гранул [2].

Особенно актуальна проблема обеспечения однородности получаемого продукта. Эта проблема особенно остро стоит при загрузке особо малых количеств активного вещества. Как, например, в рассматриваемой технологической схеме на 167 кг материала 140 грамм биологически активного вещества (БАВ). Как показала практика, перемешивание в валковых и барабанных грануляторах не обеспечивает необходимую точность распределения БАВ. Мы предлагаем перейти к более активным гидродинамическим режимам, к процессам, протекающим в кипящем (псевдооживленном) слое. Гранулирование в кипящем слое заключается в смешивании порошкообразных ингредиентов во взвешенном состоянии с последующим их увлажнением гранулирующей жидкостью, при продолжающемся перемешивании. Кипящим (псевдооживленным) слоем называют состояние слоя гранулируемого материала, при котором частицы интенсивно перемешиваются между собой под влиянием проходящего через их слой потока газа.

Достоинствами являются развитая поверхность фазового контакта, высокая интенсивность тепло- и массообменных процессов, высокая удельная производительность, высокое качество гранулированного продукта, совмещение процессов гранулирования и сушки, что упрощает схему производства.

Недостатками является высокая пожаровзрывоопасность, запрещающая ведение подобных процессов, особенно когда в гетерогенной системе присутствуют взрывоопасные порошки и растворители, категорируемые как ЛВЖ.

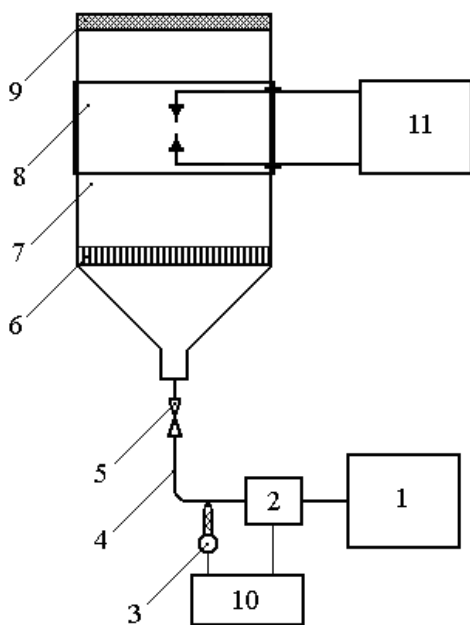


Рис. 1. Схема экспериментальной установки, сушилки кипящего слоя

- 1 – ротационная установка; 2 – электрический нагреватель;
- 3 – контактный термометр; 4 – воздуховод;
- 5 – вентиль; 6 – распределительная решетка;
- 7 – корпус установки;
- 8 – смотровое окно; 9 – фильтр; 10 – регулятор напряжения; 11 – источник зажигания

Для решения этой задачи была разработана экспериментальная установка представляющая собой сушилку кипящего слоя. Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1, в ее основу были положены научные положения авторов [3-5]. Сушильная камера цилиндрическо-конической формы состоит из двух частей: в верхней части расположено отверстие для подачи гранулируемой жидкости, в нижней части расположена распределительная решетка. Конус камеры определяет

гидродинамические особенности процесса: угол раскрытия  $20^\circ$  обеспечивает равномерное по всему сечению псевдооживление.

Исходный материал помещают на распределительную решетку, и поток подводимого снизу газа обеспечивает принудительное перемешивание частиц материала. Подаваемый ротационной установкой воздух проходит через электрический нагреватель, где нагревается до необходимой температуры и в требуемом количестве подается в сушильную камеру. Электрический нагреватель включен в цепь терморегулятора, состоящего из ртутного контактного термометра, автотрансформатора и реле. Из сушильной камеры воздух выходит через верхнее отверстие, снабженное фильтром.

В качестве исходного материала используется лактоза (белое порошкообразное вещество с дисперсностью 0-150 мкм) и БАВ - производное имидазола (белое порошкообразное вещество с дисперсностью 120 мкм). Лактозу массой 150 грамм и 1 грамм БАВ помещают на распределительную решетку. На ротационной установке устанавливают необходимую скорость потока воздуха, при этом материал переходит во взвешенное состояние, непрерывно перемешиваясь. Включают питание нагревателя и с помощью контактного термометра устанавливают температуру сушки  $40^\circ\text{C}$ .

После запуска технологического процесса и выхода его на рабочий режим, источником зажигания генерировался импульс величиной большей энергии зажигания до 100 раз. Наблюдался

процесс горения в рабочем объеме. Характер процесса горения и условия, при которых он становится неустойчивым, позволяют сделать предположение о возможности ведения процесса, когда гетерогенная система не распространяет фронт пламени по своему объему. Происходит локальное выгорание смеси, с отсутствием факторов пожара или взрыва. Т.е. мы наблюдаем, процесс горения, когда системе для поддержания горения не хватает окислителя [4].

Установленные закономерности были предложены для технологической апробации.

В результате проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

- Разработана и прошла апробацию установка позволяющая изучать предельные условия горения гетерогенных систем в условиях избытка горючего компонента.
- Результаты показывают, что можно организовывать технологический процесс в условиях избытка горючего компонента, что обуславливает процессы гранулирования и сушки в кипящем слое.
- Электрические разряды, генерируемые в гетерогенной системе, не зажигают ее даже в присутствии паров ЛВЖ, можно наблюдать только локальное горение с отсутствием факторов пожара или взрыва.

#### Список используемой литературы:

1. Классен П.В., Гришаев И.Г., Шомин И.П. Гранулирование, - М.: Химия, 1988.
2. Иванов А.Б. Анализ режимов работы грануляторов с псевдооживленным слоем// Теоретические основы химической технологии. 1991. Т.25. №3. С. 394-398.
3. Сечин А.И., Яшин В.Я. Безопасность технологических процессов в химико-фармацевтических производствах. / Монография. Под ред. д.т.н. В.И. Косинцева. – Томск: Изд-во ТГУ. – 2003. – 152 с.: ил.
4. Сечин А.И. Безопасность систем перерабатывающих пылеобразующие материалы. / Монография. Под ред. д.ф.-м.н. Н.И. Федосова. – Томск: Изд-во ТГУ. – 2003. – 138 с.: ил.
5. Сечин А.И., Бошняков Б.В., Косинцев В.И., Сечин А.А., Лаптев Д.А., Задорожная Т.А. К вопросу разработки комплексных мероприятий по обеспечению пожаровзрывобезопасности шахтных технологических процессов // Проблемы и перспективы инновационного развития экономики Кузбасса. – Кемерово: 2008. - С. 166-169.

УДК 66.047.545:614.841.41

#### Разработка обоснования перевода процесса сушки изоксазолкарбоновой кислоты в активный гидродинамический режим

*А.И. Сечин, М.В. Гуляев, А.А. Сечин*

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

Известно, что технологические процессы, перерабатывающие пылеобразующие материалы сопровождаются образованием и накоплением зарядов статического электричества, наличие же внутри оборудования горючих аэрозольных смесей обуславливает пожароопасность этих процессов. Из большого перечня мероприятий призванных обеспечивать безопасность технологического процесса, особое место занимает установление соответствия основным требованиям пожаровзрывобезопасности, которые следует соблюдать при эксплуатации технологического оборудования перерабатывающего пылеобразующие материалы [1].

В практике промышленного использования процессов сушки зачастую возникают противоречия между необходимостью повышать производительность сушильных аппаратов, снижать стоимость сушки и требованиями безопасности. Принимаемые при этом инженерные решения далеко не всегда обеспечивают нормативный уровень безопасности. Статистические данные свидетельствуют о том, что процессы сушки являются одними из самых пожаровзрывоопасных технологических процессов [2]. Причинами аварий являются как ошибки обслуживающего персонала, так и конструктивные особенности технологического оборудования, близость технологических параметров к опасному уровню [1].

Изучение исходных данных для проектирования технологического процесса сушки в производстве изоксазолкарбоновой кислоты показало, что материал, высушиваемый в технологическом оборудовании, взрывоопасен и обладает рядом свойств, не рекомендуемых для его переработки активными гидродинамическими режимами и в частности аэрофонтанной сушкой.

Наиболее радикальным способом обеспечения безопасного процесса сушки могло бы явиться предотвращение образования горючих сред внутри оборудования. Но реализовать этот

способ на большинстве типов сушилок без принятия специальных мер не удастся. В практике известно, что снижение горючести среды внутри работающего оборудования можно достигнуть применением инертных теплоносителей, а так же добавлением инертных материалов.

Оценив невозможность и нецелесообразность по экономическим соображениям флегматизацию среды внутри сушильного оборудования, был принят метод достижения пожаровзрывобезопасности путем исключения источников зажигания.

Многофакторность их появления, в условиях переработки взрывоопасного продукта, значительно усложняло принятие решения по обеспечению безопасности технологического процесса сушки изоксазолкарбоновой кислоты (ИКК), а вероятность появления их не исключалась. В результате анализа дерева аварий при разработке технологического регламента, было установлено, что основная опасность аварийной ситуации будет возникать вследствие проявления статического электричества.

Известно, что аппараты или технологическое оборудование удовлетворяет требованиям электростатической искробезопасности, если возникновение разрядов статического электричества исключено, или если существуют разряды с воспламеняющей способностью в 2,5 раза меньше, чем минимальная энергия зажигания горючих смесей, образующихся в производстве.

Основными электрическими показателями пожарной опасности взрывовзвеси или отложенной пыли, являются минимальная энергия зажигания и соответствующие ей допустимые значения зарядов в импульсных разрядах статического электричества.

Минимальная энергия зажигания, как и другие характеристики пожаровзрывоопасности обрабатываемых в производстве веществ, определялись согласно действующего стандарта [3]. Исследования показали, что вещество категоризируется по номенклатуре как взрывоопасное.

Установлено [4], что безопасный радиус кривизны электрода, как наибольший радиус поверхности проводящего тела, при котором в горючей пылевоздушной смеси вероятность разряда статического электричества с зарядом в импульсе выше допустимого, не превышает  $10^{-6}$ .

На основе полученных экспериментальных данных по пожаровзрывоопасности ИКК был определен характеристический размер  $I_k$  соответствующий электрическим показателям пожарной опасности веществ и материалов.

Допустимое значение  $I_k$  определялось как наибольший линейный размер области ионизации, образующейся при разряде на электроде с безопасным радиусом кривизны поверхности.

По значениям минимальной энергии зажигания изоксазолкарбоновой кислоты, равной 1,4 мДж, характеристический размер  $I_k$  составил 0,62 м.

Полученный результат был использован при проектировании технологического оборудования на Новокузнецком АО «Органика». Разработан ряд мероприятий по нейтрализации зарядов статического электричества в элементах оборудования имеющего большие линейные размеры, чем  $I_k$ , предложено применение игольчатых и струнных нейтрализаторов.

#### **Список использованной литературы:**

1. Корольченко А.Я. Пожаровзрывобезопасность промышленной пыли. – М.: Химия, 1986. – 216 с.
2. Бесчастнов М.В. Взрывобезопасность и противоаварийная защита химико-технологических процессов. – М.: Химия, 1983. – 427 с.
3. ССБТ. ГОСТ 12.1.044-89. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. Издательство стандартов, 1990, 144 с.
4. Веревкин В.Н., Яйлиян Р.А. Инструкция по установлению соответствия изделий с неметаллическими материалами требованиям электростатической искробезопасности. – Балашиха, ВНИИПО МВД СССР, 1976. – 44 с.

УДК 66.047.545:614.833.001.25

#### **К вопросу разработки методологии организации интенсивного и безопасного способа сушки взрывоопасных пылеобразующих материалов**

*А.И. Сечин, Т.А. Задорожная, А.А. Сечин, М.В. Гуляев  
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

В работе предлагается разработанный безопасный способ сушки взрывоопасных пылеобразующих материалов и достижения пожаровзрывобезопасности путем исключения источников зажигания. Способ учитывает требования пожарной безопасности при проектировании сушильных устройств, в производствах

дисперсных материалов входящих в категорию взрывоопасных, что сокращает время сушки, расширяя тем самым узкие места производства. Показано, что к решению этой задачи для потенциально опасных процессов можно подходить технологическим путем решения проблемы. Учтено, что основы безопасности современного химического производства должны обеспечиваться еще на стадии исследовательских работ, при разработке технологического процесса, конструкций оборудования, а также при разработке проекта во всех его основных частях.

В практике промышленного использования процессов сушки зачастую возникают противоречия между необходимостью повышать производительность сушильных аппаратов, снижать стоимость сушки и требованиями безопасности. Принимаемые при этом инженерные решения далеко не всегда обеспечивают нормативный уровень безопасности. Статистические данные свидетельствуют о том, что процессы сушки являются одними из самых пожаровзрывоопасных технологических процессов. Причинами аварий являются как ошибки обслуживающего персонала, так и конструктивные особенности технологического оборудования, близость технологических параметров к опасному уровню [1-4].

Наиболее радикальным способом обеспечения безопасного процесса сушки могло бы явиться предотвращение образования горючих сред внутри оборудования. Но реализовать этот способ на большинстве типов сушилок без принятия специальных мер не удастся. В практике известно, что снижение горючести среды внутри работающего оборудования можно достигнуть применением инертных теплоносителей, а так же добавлением инертных материалов [5, 6].

Оценив невозможность и нецелесообразность по экономическим соображениям флегматизации среды внутри сушильного оборудования, было решено разработать безопасный способ процесса сушки пылеобразующих материалов и достижения пожаровзрывобезопасности путем исключения источников зажигания.

В результате проведенных исследований был разработан безопасный способ организации процессов сушки взрывоопасных продуктов.

На первом этапе необходимо:

- В полном объеме изучить взрывопожароопасные характеристики [7] высушиваемого продукта и удаляемой влаги.
  - Провести категорирование этих веществ и производств, где они обращаются, по пожаровзрывоопасности.
  - Проанализировать, используя принцип аддитивности, реализуемый формулой Ле-Шателье, суммарную опасность смеси пылевзвеси, высушиваемой влаги и окислителя.
  - Первоначально предполагаем в качестве теплоносителя использование атмосферного воздуха.
- Следующим этапом, на основе полученных экспериментальных данных:
- Определяем характеристический размер  $l_k$  соответствующий электрическим показателям пожарной опасности веществ и материалов [7-10].
  - Определяются структурно-механические свойства высушиваемого дисперсного материала, необходимые для правильного выбора конструкции сушильной установки и оптимальных режимов ее работы.

По своей физической сущности сушка является сложным диффузионным процессом, скорость которого определяется скоростью диффузии влаги из высушиваемого материала в окружающую среду.

На специальной установке проводятся исследования кинетики сушки исследуемого вещества. Проводятся дополнительные исследования пожаровзрывоопасности в близких к технологическому процессу условиях.

На третьем этапе решаются следующие задачи:

- На основе совокупности полученных данных, осуществляется предварительный выбор метода сушки и тип сушильного устройства. При расчетах сушильного устройства и режима сушки руководствуются:
  - линейным характеристическим размером  $l_k$  .
  - Концентрацией высушиваемого продукта, равной отношению массы транспортируемого материала к массе транспортирующего потока  $\mu = \frac{G}{L}$  , здесь должно выполняться условие  $\mu \leq \text{НКПР}$  ; нижний концентрационный предел распространения пламени (НКПР) определяется из анализа, используя принцип аддитивности, реализуемый формулой Ле-Шателье, суммарной опасности смеси пылевзвеси, высушиваемой влаги и окислителя,

либо определяется экспериментально. При этом необходимо учитывать, что при сушке от растворителей, высушиваемая влага будет транспортироваться через сушильное устройство как составная взрывоопасной компоненты, нередко представляющая основную опасность. Результирующая концентрация определяется как

$$\mu_0 = \mu_{\text{п}} + \mu_{\text{р}},$$

где  $\mu_{\text{п}}, \mu_{\text{р}}$  – концентрации порошка и растворителя соответственно. Следует иметь в виду, что при концентрации растворителя больше верхнего предела распространения пламени, смесь будет флегматизироваться его присутствием. Во всех остальных случаях он будет составлять взрывоопасную компоненту.

- Если полученный результат устраивает с точки зрения производственной компоновки, разрабатывается технологический регламент ведения процесса сушки. Если не устраивает, повторяют выбор метода сушки и тип сушильного устройства.

Так как оборудование процесса сушки представляет собой комплекс в технологической последовательности соединенных элементов (не стоит исключать и тот факт, что нередко сушильное оборудование располагается среди технологического оборудования основного производства), то выход из строя одного из них приводит к остановке всей системы. При этом взрыв в одном элементе может привести к взрыву и всей системы в целом.

Для анализа технологической системы используется аппарат методов теории надежности. Основным показателем, характеризующим взрывоопасность технологического процесса, является вероятность возникновения загорания и взрыва в технологическом оборудовании [4, 6, 10].

Четвертый этап:

- Для технологической системы рассматривается дерево аварий и определяется вероятность взрыва технологического оборудования. Вероятность воспламенения высушиваемого материала внутри технологического оборудования должна быть не менее  $10^{-4}$ .
- Разрабатываются рекомендации по пожаровзрывобезопасности при организации процесса сушки, при этом учитываются:
  - Особенности конструкции и технологии.
  - Потенциальная опасность.
  - Основные факторы пожара и взрыва технологического оборудования, в котором присутствуют горючие пыли.
  - Меры пожаровзрывопредотвращения.

В результате проведенной работы можно сделать следующие выводы:

1. Разработанный безопасный способ сушки взрывоопасных пылеобразующих материалов учитывает требования пожарной безопасности при проектировании сушильных устройств, в производствах дисперсных материалов, что сокращает время сушки, расширяя тем самым узкие места производства.
2. Повышает надежность эксплуатации в технологическом процессе действующего сушильного оборудования, учитывая пожаровзрывоопасность высушиваемого продукта и удаляемой влаги.
3. Данный способ организации процесса сушки не может быть применим к какому-либо классу сушильных устройств, так как предполагает индивидуальный подход в каждом конкретном случае.
4. На основе разработанного способа организации процесса сушки было проведено обследование ряда химико-фармацевтических производств. Полученные результаты использовались при проектировании и ввода в эксплуатацию технологического оборудования на Новокузнецком ОАО «Органика».

#### Список использованной литературы:

1. Маршалл В. Основные опасности химических производств. М.: Мир, 1989. 678 с.
2. Корольченко А.Я. Пожаровзрывобезопасность промышленной пыли. М.: Химия, 1986. 216 с.
3. Бесчастнов М.В. Взрывобезопасность и противоаварийная защита химико-технологических процессов. М.: Химия, 1983. 427 с.
4. Бесчастнов М.В. Технический прогресс и пути предупреждения аварий в химической промышленности. // Журн. ВХО. им. Д.И. Менделеева, 1974, Т. 19, № 5, С. 482-488.
5. Корольченко А.Я. Пожаровзрывоопасность процессов сушки. М.: Стройиздат, 1987. 159 с.



6. Попов Б.Г., Медведева В.С., Бондарь В.А. Взрывы пылей и их предупреждение. // Журн. ВХО. им. Д.И. Менделеева, 1974, Т. 19, № 5, С. 520-525.
7. ГОСТ 12.1.044-89. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. Издательство стандартов, 1990, 144 с.
8. Веревкин В.Н. Принципы электростатической искробезопасности. / В кн.: Исследования в области безопасности и охраны труда в химической промышленности. Защита от вредного воздействия статического электричества в народном хозяйстве. М., 1975, С. 86-89.
9. Сечин А.И., Яшин В.Я. Безопасность технологических процессов в химико-фармацевтических производствах. / Монография. Под ред. д.т.н. В.И. Косинцева. – Томск: Изд-во ТГУ. – 2003. – 152 с.: ил.
10. Сечин А.И. Безопасность систем перерабатывающих пылеобразующие материалы. / Монография. Под ред. д.ф.-м.н. Н.И. Федосова. – Томск: Изд-во ТГУ. – 2003. – 138 с.: ил.

## Секция 6

Медико-биологические аспекты  
техногенного влияния энергетики

УДК 621.794.61

**Применение электротехнологического комплекса для обработки токами высокой частоты  
металлических медицинских конструкций****М.А. Фомина, А.Б. Штейнгаузэр, И.В. Родионов, А.А. Фомин***Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., г. Саратов,  
Россия**E-mail: afominalex@rambler.ru*

В работе описан способ применения электротехнологического комплекса для обработки токами высокой частоты малогабаритных металлических изделий, используемых в медицине. Проведено электронно-микроскопическое исследование биосовместимых металлооксидных покрытий, полученных на титановых сплавах.

В медицинской практике металлические материалы, преимущественно титановые сплавы и нержавеющие хромоникелевые стали, широко используются при изготовлении конструкций ортопедических систем, эндопротезов и внутрикостных имплантатов [1]. Особое внимание уделяется структуре и биомеханическим свойствам поверхностного слоя таких изделий, который должен характеризоваться высокими показателями шероховатости, пористости, а также морфологической гетерогенности как микро-, так и наноструктуры [2].

Обычно такая модификация поверхности производится газотермическими, вакуумно-конденсационными или физико-химическими методами осаждения. Основной характеристикой данных методов является значительная энергоемкость, необходимость использования сложной технологической последовательности, а также дорогостоящих материалов. Известно, что металлооксидные покрытия, например формируемые различными методами оксидирования на сплавах титана, обладают достаточной механической прочностью. Целью исследования является разработка технологических рекомендаций по формированию биосовместимых пленок и покрытий с морфологически гетерогенной структурой в сочетании с высокой механической прочностью за счет использования интенсивного нагрева токами высокой частоты основного металла малогабаритных медицинских изделий с применением разработанного устройства индукционно-термической обработки (ИТО).

Образцы представляют собой металлические пластины биосовместимых сплавов (ВТ1-00, ВТ16) толщиной 2 мм, поверхность которых подвергается пескоструйной обработке и очистке в ультразвуковой ванне. Поверхность подготовленных образцов модифицируется металлооксидными соединениями в воздушной среде. При этом устанавливается влияние ИТО металлической основы в диапазоне температуры 600...1200 °С на показатели структуры получаемых пленок и покрытий. Термический цикл ИТО включает интенсивный нагрев до заданной температуры, выдержку и последующее спокойное охлаждение. Потребляемая электрическая мощность в резонансном режиме устройства ИТО не превышает 0,3 кВт, при этом частота переменного тока варьируется в диапазоне  $100 \pm 20$  кГц. Данный электротехнологический комплекс состоит из следующих блоков: питания, генераторного и вспомогательного [3].

Методы исследования поверхности образцов предусматривали определение характеристик структуры покрытий и биосовместимости. При этом использовалась растровая электронная микроскопия (РЭМ) и проверка цитологической активности *in vitro* на фибробластах человека.

Процесс ИТО титановой основы осуществляется в керамическом муфеле, далее образец извлекается из муфеля. Получаемые металлооксидные покрытия представляют собой различные варианты структурной организации диоксида титана, находящегося в фазе рутила. Морфология микроструктуры получаемых образцов несколько отличается от исходной, формируемой после пескоструйной обработки (рис. 1 а). С увеличением температуры и длительности процесса ИТО происходит некоторое сглаживание микрорельефа, связанное с ростом оксидной пленки и преобразованием ее в тонкое покрытие. Наноструктура поверхности пленок и покрытий представлена различными типами кристаллов: игольчатой и пластинчатой формы (рис. 1 б, 1 в).

Формирование оксидной пленки представляет собой образование игольчатых нанокристаллов, их дальнейший рост до 0,6...1,3 мкм с наибольшей толщиной около 30...80 нм, далее происходит их коалесценция по боковым граням и образование пластинчатой структуры с характерным размером около 1...2 мкм. Установлено, что с увеличением температуры свыше 800 °С и длительности процесса ИТО более 2 минут морфологическая гетерогенность, характеризующаяся количеством выступов и впадин поверхности, спадает почти вдвое. В связи с этим целесообразно использовать диапазон ИТО от 600 до 800 °С.

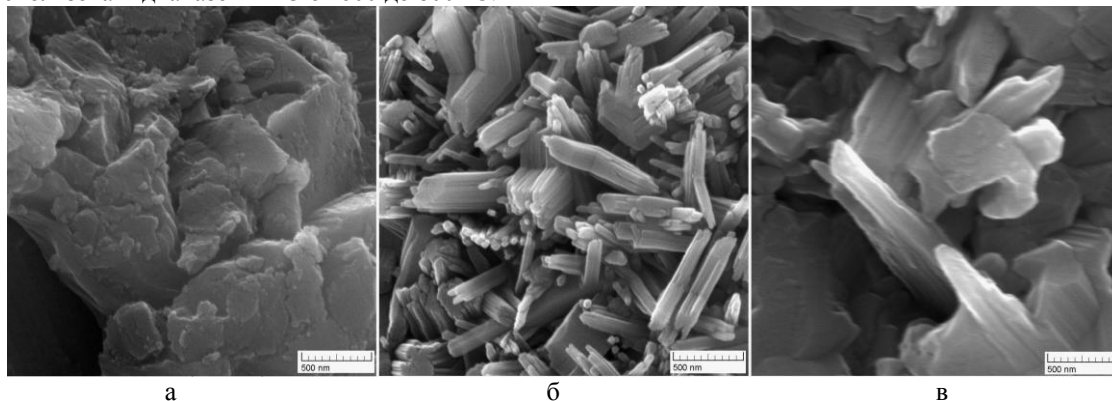


Рис. 1. Морфология поверхности образцов покрытий: а – после пескоструйной обработки; б – ИТО при режиме 800 °С; в – ИТО при режиме 1200 °С.

Проверка биосовместимости *in vitro* получаемых образцов покрытий показала, что высокая морфологическая гетерогенность поверхностной структуры позволяет обеспечить стабильное закрепление клеток фибробластов (рис. 2).

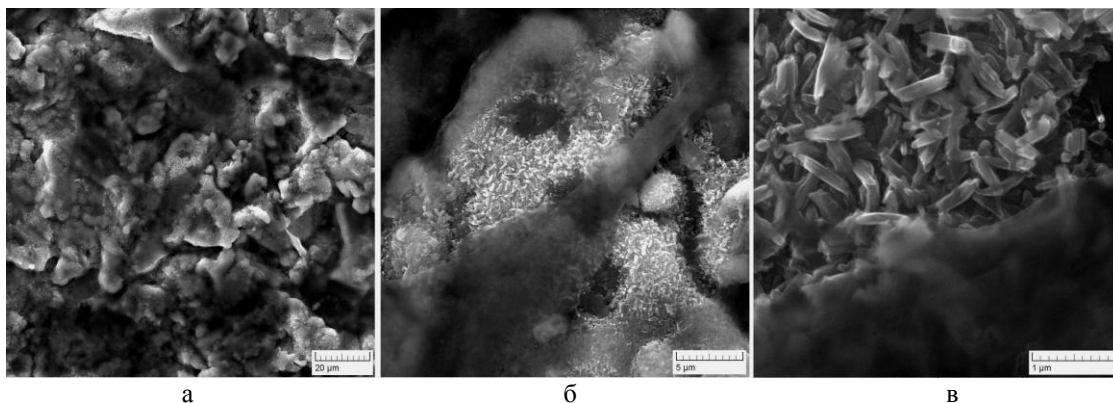


Рис. 2. Морфология поверхности образцов с игольчатой структурой кристаллов.

На представленных изображениях РЭМ клетки показаны темными рассеивающими объектами. В результате анализа полученной информации установлено, что клетки закрепляются преимущественно в микрометровых порах средним размером около  $10 \pm 5$  мкм (рис. 2 а). Наиболее активно их прикрепление происходит в присутствии нанометровых структур, при этом развитая морфология, особенно игольчатой структуры, покрытий активно стимулирует процесс биоинтеграции (рис. 2 б, 2 в). Таким образом, данные покрытия на основе диоксида титана характеризуются высокой биосовместимостью.

Разработанное устройство ИТО малогабаритных медицинских изделий обеспечивает ускоренное модифицирование их поверхностного слоя металлооксидными соединениями. Достижение заданной температуры 600...1200 °С обеспечивается за промежуток времени, характеризующийся интервалом от 10 до 30 секунд. Изменяя величину потребляемой мощности можно управлять величиной и скоростью нагрева, контролировать процесс выдержки при заданной температуре, задавать необходимый вид термического цикла, а также скорость охлаждения. Результаты исследования и анализ влияния режимов ИТО на морфологическую гетерогенность микро- и наноструктуры служат основанием для разработки технологических рекомендаций по модификации поверхности медико-технических изделий из титана, например

остеофиксаторов, эндопротезов и имплантатов. Установлено, что тонкое покрытие диоксида титана с игольчатой нанокристаллической структурой, формируемое при нагреве до 600...800 °С и выдержке не менее 2 минут, характеризуется высокой биосовместимостью и развитой морфологической гетерогенностью поверхностного слоя.

Научные исследования проведены при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы, соглашение № 14.В37.21.0571.

**Список используемой литературы:**

1. Paital S.R., Dahotre N.B. Calcium phosphate coatings for bio-implant applications: Materials, performance factors, and methodologies // *Materials Science and Engineering R*, – 2009. – №. 66. – pp.1–70.
2. Fomin A.A. et al. Nanocrystalline structure of the surface layer of plasma-sprayed hydroxyapatite coatings obtained upon preliminary induction heat treatment of metal base // *Technical Physics Letters*, 2012. – Vol. 38. – №. 5. – pp. 481–483.
3. Штейнгауэр А.Б., Фомин А.А., Лясников В.Н. Устройство нагрева металлической основы медицинских изделий для нанесения биосовместимых покрытий плазменно-индукционным методом // *Электрика*, – 2011. – № 7. – С. 32–37.

УДК 616.0:613.71:615.27

**Изучение группы часто болеющих детей по данным одной из поликлиник г. Томска**

*М.П. Цыганкова, З.И. Кандалова*

*Сибирский государственный медицинский университет, г. Томск, Россия*

*E-mail: cvp-cmp@mail.ru*

В группу часто и длительно болеющих (ЧДБ) принято относить детей, подверженных частым респираторным заболеваниям из-за транзиторных, но при этом – корригируемых отклонений со стороны иммунной системы организма и не имеющих стойких органических нарушений в них.

У часто болеющего ребенка формируется «порочный круг»: на фоне ослабленного иммунитета ребенок заболевает ОРЗ, которые, в свою очередь, еще больше ослабляют иммунитет. В результате повышенной чувствительности организма к различным инфекционным агентам и снижения защитных механизмов, велика вероятность развития хронических, вялотекущих инфекционных и неинфекционных заболеваний. Наличие хронических инфекций может привести к отставанию в физическом развитии, аллергизации.

Часто болеющие дети – это и социальная проблема. Частые ОРЗ требуют значительных материальных затрат, нанося серьезный экономический ущерб, связанный как непосредственно с затратами на лечение, так и с потерей трудового времени родителей. У таких детей, как правило, нарушен календарь профилактических прививок, они не могут посещать детские дошкольные учреждения, а в школьном возрасте – пропускают занятия в школе, следовательно, отстают от учебной программы.

Исследование проводилось на базе поликлиники № 2, относящейся к детской больнице № 1 г. Томска.

В исследование вошел 71 ребенок, относящийся по документации в 2011 году к группе ЧБД. Нами был проведен анализ выделенной группы детей.

Доля ЧБД в общем количестве прикрепленного детского населения составила 0,79%. Из них мальчиков оказалось больше – 65%. В возрастном аспекте лидировала группа детей 2-3 лет (39,4%), за ними следовала группа 3-4 лет (19,7%), далее – 4-5 лет (16,9%). Дети старше 5 лет составили 11,3%, дети 0-1 года – 4,2%.

Анализ заболеваний матерей этих детей и родов показал, что патология беременности определялась в 91,5% случаев, соматическая патология и хронические заболевания – в 73,2%, патологические роды у них составили 32,3%.

Из перинатальной патологии чаще всего определялась хроническая гипоксия плода и асфиксия – 83,0%. Обвитие пуповины вокруг шеи плода регистрировалась в 29,5% случаев. Перинатальное поражение ЦНС выставлялось в диагноз в 25,4%. Фетоплацентарная недостаточность отмечалась в 23,9%. Отягощенность генеалогического анамнеза наблюдалось в 64,8% случаев. При этом, лишь 23,9% рожденных детей находились на естественном

вскармливания, тогда, как на искусственном – 32,4%. На смешанном вскармливании было – 43,7% детей.

В зависимости от количества эпизодов заболеваний дети были распределены на группы по резистентности организма к заболеваниям. Большинство детей оказались в группе с низкой резистентностью – 71,8%, с очень низкой резистентностью детей было 15,5%. Дети со сниженной резистентностью занимали лишь третье место (12,8%). Соответственно хорошая резистентность у детей этой группы не определялась.

Из наиболее часто встречаемой патологии (кроме ОРЗ) у детей из этой группы на первом месте были заболевания ЛОР-органов (69,0%), на втором месте – заболевания желудочно-кишечного тракта (46,4%), на третьем – заболевания кожи (35,2%).

Физическое развитие детей средним было лишь в 54,9% случаев, в остальных случаях: чаще низким (40,1%) или реже высоким (5,0%).

Нервно-психическое развитие I группы определялось менее чем у половины детей – 41,0%. Чаще это была II группа – 49,0% или даже III – 10,0%.

Распределение детей по «виновникам» частых ОРЗ выявило, что на первом месте стоит иммунная система – 67,6%, на втором – склонность к аллергическим заболеваниям – 15,5%, на третьем – хронические заболевания ЛОР-органов – 8,5%. Достаточно высокий процент занимали психологические проблемы – 5,6%. Заболевания нервной системы составили лишь 2,8%.

Таким образом, по данным документации поликлиники процент часто-болеющих детей в 2011 году составил 0,79%. Количество мальчиков преобладало над девочками. Более половины всех часто-болеющих детей приходилось на возраст 2-4 лет. Анамнез матерей изучаемых детей во всех случаях был отягощен. Дети группы характеризовались низкой резистентностью к заболеваниям, высоким процентом патологии. При этом процент детей, находящихся на естественном вскармливании был низким. Физическое развитие лишь в половине случаев было средним. Более половины детей имели II или III группу нервно-психического развития. Наиболее встречаемым «виновником» частых ОРЗ являлась иммунная система. Однако, наличие еще трех «виновников» указывает на необходимость дифференцированного подхода при организации диспансерного наблюдения за часто-болеющими детьми.

#### Список используемой литературы:

1. Реабилитация часто болеющих детей : учебное пособие / Е. И. Кондратьева [и др.]; Сибирский медицинский университет (Томск). – Томск: Печатная мануфактура, – 2009. – 168 с.
2. Самсыгина Г.А. Проблемы диагностики и лечения часто болеющих детей на современном этапе // *Consilium medicum*, 2009, Приложение Педиатрия, – 2009. – С. 137 – 143.
3. Часто болеющие дети: Практическое руководство / Под ред. С.О. Ключникова. – М.: Медицина, – 2007. – С. 152.
4. Онищенко Г.Г. Санитарное и эпидемиологическое благополучие детей и подростков: состояние и пути решения проблем // *Научно практический журнал «Гигиена и санитария»*, – 2007. – № 2. – С. 53 – 59.

УДК 621.313

#### Компьютерное моделирование электромагнитных полей

**В.О. Юдина, О.В. Раецкая**

*Самарский государственный технический университет филиал в г. Сызрани г. Сызрань, Россия*

**E-mail: syzran1c@rambler.ru**

В настоящее время использование частотно-регулируемых асинхронных электроприводов стало обычным явлением. Основными факторами, способствующими их широкому применению, являются уменьшение потребления электроэнергии и повышение надежности работы электродвигателей, рабочих механизмов, коммутационной и запорно-регулирующей аппаратуры, гидравлических и аэродинамических сетей.

Преобразователи частоты таких электроприводов работают в режиме широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Применение ШИМ обуславливает появление в выходном напряжении и токе преобразователя высокочастотных составляющих, которые могут достигать значительных величин [1].

Асинхронные электродвигатели (АД) при работе создают внешние электромагнитные поля (ВЭМП). Наличие высокочастотных составляющих при питании АД от преобразователей с

широотно-импульсной модуляцией (ШИМ) напряжения вызывает ВЭМП АД не только промышленной, но и повышенных частот. [2]

Наибольшие ВЭМП АД создают при пуске, при наибольших пусковых токах. Такие электромагнитные поля вызывают проблемы электромагнитной совместимости при работе с другими техническими средствами. В современных электротехнических комплексах постоянно возрастает оснащённость электронной и микропроцессорной техникой и одновременно наблюдается рост мощности и числа электротехнических устройств, создающих ВЭМП, что увеличивает вероятность сбоев в системах управления.

Влияние электромагнитных полей на человека проявляется в тормозных процессах в центральной нервной системе, головных болях, вялости, быстрой утомляемости, повышении артериального давления, учащении пульса, а после длительного воздействия и изменении в составе крови. Механизм воздействия на организм человека электромагнитных полей проявляется в силе действия индуцированных токов. Максимальные плотности индуцированных токов возникают в сердце и мозге человека. Неопасным для организма считается плотность индуцированного тока менее 10 мА/м<sup>2</sup>, что соответствует при частоте тока 50 Гц напряженности электрического поля 20 кВ/м и напряженности магнитного поля 4 кА/м. При больших плотностях тока наблюдаются необратимые изменения скорости синтеза протеинов и ДНК, нарушения ионного равновесия, концентрации промежуточных продуктов обмена и активных веществ в клетках, изменения процессов деления клеток и т.п. При плотностях тока 100...1000 кА/м могут происходить сильные возбуждения клеток и тканей, аритмия и фибрилляция сердца. Механизм влияния магнитных полей на организм человека, в частности, повышения риска раковых заболеваний, связывают с замедлением выработки мелатонина во время сна и с утратой им свойств подавления размножения раковых клеток при наличии переменного магнитного поля напряженностью всего около 1 кА/м [3].

Актуальность исследования и анализа ВЭМП АД подтверждается защитой за последние 5 лет нескольких кандидатских и докторских диссертаций [4, 5, 6].

В [4] показано, что внешнее электромагнитное поле АД создается несколькими источниками, причем влияние отдельных источников зависит от режима работы АД. При холостом ходе основное значение имеет рассеяние с поверхности сердечника. При номинальной нагрузке существенно возрастает рассеяние от лобовых частей обмоток, в то время как из спинки статора оно снижается вследствие некоторого уменьшения насыщения ярма сердечника в сравнении с режимом холостого хода. В пусковом режиме при номинальном напряжении сети вклад лобовых частей обмоток во внешнее поле является определяющим и практически на порядок превышает уровень ВМП в установившемся режиме.

В исследованиях [5, 6] проводился расчетный анализ ВЭМП АД на основе аналитических методов с принятием достаточно серьёзных допущений. Современные численные методы электромагнитного анализа позволяют отказаться от большинства этих допущений и рассматривать все процессы с учетом реальных конструкций АД, дискретности размещения обмоток, нелинейности характеристик намагничивания, наведенных вихревых токов и др. Кроме того в опубликованных исследованиях не рассматривались режимы работы АД от частотных преобразователей напряжения и регуляторов с ШИМ напряжения. Всё это вызывает целесообразность разработки численных моделей частотно-регулируемых асинхронных двигателей и исследования на основе разработанных моделей интенсивности и параметров ВЭМП таких двигателей.

Анализ источников ВЭМП АД обуславливает рациональность использования трехмерного моделирования [7]. Такая задача была решена с помощью пакета Ansoft Maxwell методом конечных элементов. Трехмерная модель асинхронного двигателя мощностью 550 Вт и синхронной частотой вращения 1000 об/мин представлена на рис.1

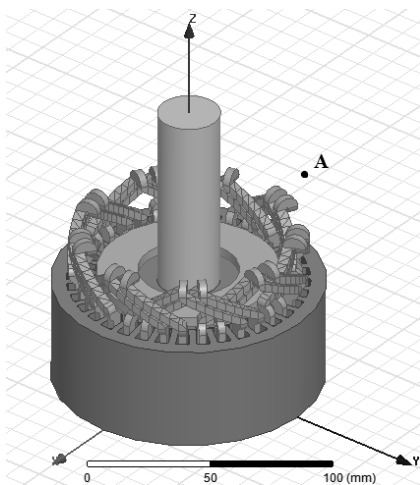


Рис.1. Трехмерная модель асинхронного двигателя в среде Ansoft Maxwell.

Модель позволяет исследовать ВЭМП при работе АД в различных режимах. Так в результате моделирования работы АД при заторможенном роторе и питании от

синусоидального источника напряжения были получены картина внешнего магнитного поля от лобовых частей обмотки статора (рис. 2) и временная зависимость индукции это поля в точке А (0, 60, 120) (рис. 3).

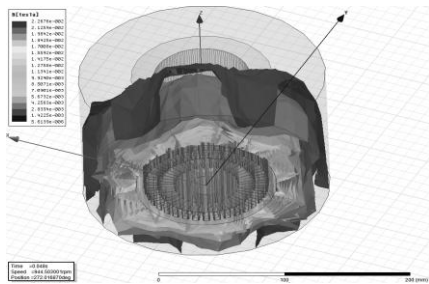


Рис. 2. Трехмерное внешнее магнитное поле лобовых частей обмотки АД.

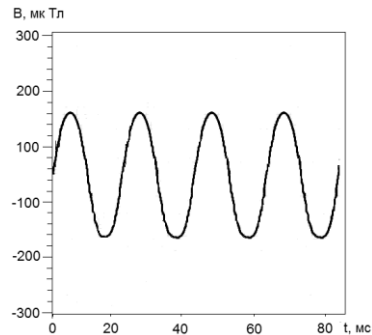


Рис. 3. Индукция ВЭМП в заторможенном АД при питании синусоидальным напряжением.

В [2] был проведен спектральный анализ тока статора при питании рассматриваемого АД от преобразователя с синусоидальной ШИМ (табл. 1). Несущая частота преобразователя составляла 3000 Гц, модулирующая 50 Гц.

Таблица 1. Гармонический состав тока статора.

Коэффициент гармоник 6,74%					
№ гармоники	1	5	7	11	13
Амплитуда, А	2,51	0,09	0,06	0,01	0,01
Фаза, °	0,0	107,9	0,0	0,0	94,7

Представленные в табл. 1 данные позволили смоделировать в среде Ansoft Maxwell работу заторможенного АД при питании ШИМ модулированным напряжением. Полученные картина внешнего магнитного поля и временная зависимость индукции этого поля в точке А (0, 60, 120) представлены на рис. 4 и рис. 5 соответственно.

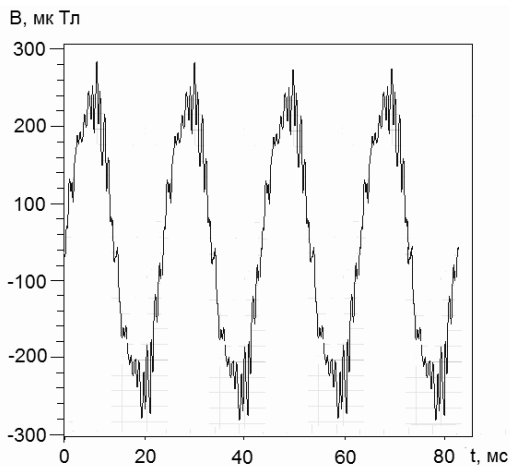


Рис. 4. Трехмерное внешнее магнитное поле лобовых частей обмотки АД.

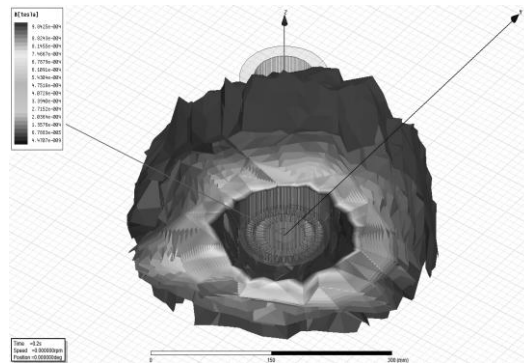


Рис. 5. Трехмерное внешнее магнитное поле лобовых частей обмотки АД при питании от ШИМ.

Анализ временных зависимостей индукции ВЭМП АД позволяет сделать следующие выводы:

- При питании АД ШИМ модулированным напряжением наличие высокочастотных составляющих в токе статора вызывает усиление ВЭМП (до 80% в сравнении с ВЭМП при питании АД синусоидальным напряжением).

- Полученные значения индукции ВЭМП обуславливают необходимость рассмотрения вопросов электромагнитной совместимости и безопасности работы обслуживающего персонала. Таким образом, разработана трехмерная модель, позволяющая анализировать внешние электромагнитные поля асинхронного двигателя и исследовать вопросы его электромагнитной совместимости.

**Список используемой литературы:**

1. Курнышев, Б. С., Фомин П.А. Электромагнитная совместимость регулируемых асинхронных электроприводов / ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина». – Иваново, – 2005. – 100 с.
2. Казаков Ю.Б., Шумилов Е.А., Чуянов Д.О. Исследование внешних электромагнитных полей при питании широтно-импульсно-модулированным напряжением // Сборник научных трудов междунар. н.-т. конф. "Состояние и перспективы развития электротехнологии". – Иваново: ИГЭУ, – 2011. – Том 3. – С. 112-115.
3. Вагин Г.Я., Лоскутов А.Б., Севостьянов А.А. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике. – М.: Издательский центр «Академия», – 2010. – 224 с.
4. Сотников В.В.: Развитие теории внешнего магнитного поля асинхронных двигателей, способов его снижения и измерения: автореф. дис. на соиск. учен. степ. д-ра техн. наук: специальность 05.09.01 / Марийский государственный технический университет. - Йошкар-Ола, – 2002. – 38 с.
5. Voitto Kokko. Condition monitoring of squirrel-cage motors by axial magnetic flux measurements: academic Dissertation / University of Oulu / public discussion in Raahensali, on March 14th, 2003. – Oulu, Finland, – 2003. – 102 pages.
6. Жумангулов К.К. Внешние магнитные поля электромеханических преобразователей электротехнических комплексов: автореф. дис. на соиск. учен. степ. д-ра. техн. наук: специальность 05.09.03 / НАО «Алматинский институт энергетики и связи». – Алматы, 2006. – 41с.
7. Высоцкий В.Е., Горшков Р.Г., Шумилов Е.А., Чуянов Д.О. Уточнение интегральных параметров вентильного двигателя с постоянными магнитами на основе моделирования магнитного поля методом конечных элементов // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: «Технические науки», – 2011. – № 3(31). – С. 145 – 152.

УДК 616.24-007.272:612.21

**Показатели внутрилегочного гистерезиса и транспульмонального давления у больных хроническим необструктивным бронхитом в сочетании с пневмофиброзом**

**О.В. Якис\*, А.И. Карзилов\*\*, Ф.Ф. Тетев**

*Сибирский государственный медицинский университет, г. Томск, Россия*

**E-mail: [ollgea@mail.ru](mailto:ollgea@mail.ru), [karzilov@mail.ru](mailto:karzilov@mail.ru)\*\***

Полученные данные свидетельствуют о снижении адаптационных резервов дыхательной мускулатуры на уровне максимальной вентиляции легких у больных хроническим бронхитом в сочетании с пневмофиброзом.

Хронический бронхит (ХБ) является наиболее распространенным заболеванием из группы хронических неспецифических заболеваний легких (ХНЗЛ), куда включены еще и бронхиальная астма, бронхоэктатическая болезнь, эмфизема легких, хроническая пневмония и пневмосклероз [4]. В структуре ХНЗЛ хронический бронхит составляет почти 90%, при этом у 25% больных хроническим бронхитом отмечаются признаки обструкции (нарушения бронхиальной проходимости). Распространенность хронического бронхита в Российской Федерации колеблется от 10% до 20%, а рост заболеваемости ХНЗЛ составляет 6-7% для городского и 2-3% для сельского населения в год. Хронический бронхит, как причина выхода на инвалидность, составляет 42,4% среди ХНЗЛ (у 27,3% больных сразу устанавливается вторая группа инвалидности), при этом 58% из них - лица моложе 50 лет, а смертность от хронического бронхита и его осложнений равна смертности от рака легких и ежегодно возрастает на 1,6% [4].

В настоящее время признается существенной роль большого числа воздушных поллютантов в развитии хронических заболеваний органов дыхания у лиц, проживающих в экологически неблагоприятных регионах. Закономерным исходом хронической патологии органов дыхания является развитие пневмофиброза [1]. Исследование состояния вентиляционной функции аппарата внешнего дыхания у больных ХБ в сочетании с пневмофиброзом весьма актуально как для формирования представления о биомеханических процессах дыхания, так и в целом для изучения



патогенеза заболеваний респираторной системы [8]. Исследование механических аспектов вентиляционной функции легких занимает достойное место в ряду методов диагностики ХБ, поскольку позволяет оценить и выявить ранние нарушения функции аппарата внешнего дыхания (АВД). Кроме того, показатели механики дыхания являются объективными и не зависят от внелегочных причин [5,6].

**Цель работы.** Оценить вентиляционную функцию АВД у лиц с ХБ и пневмофиброзом по общим и интегральным показателям внутрилегочного гистерезиса и транспульмонального давления легких и грудной клетки.

**Материалы и методы исследования.** Для проведения исследований были сформированы 2 группы. Первую группу составили 20 здоровых лиц, средний возраст – 20,2 года. Вторая группа была сформирована из 40 больных ХБ, средний возраст – 49,0 лет. Диагноз ХБ устанавливался на основании общепринятой классификации и критериев. По определению ВОЗ, постановка диагноза хронического бронхита правомерна при наличии продуктивного кашля на протяжении, по крайней мере, 3 месяцев в течение 2 лет при отсутствии других заболеваний, которые могут вызывать указанные симптомы [4]. Индекс курения составил 19,0 сигарет/день, стаж курения – 27,0 лет. Средняя продолжительность заболеваний бронхолегочной системы составила  $7,2 \pm 0,5$  лет. Частота обострений ХБ в год в среднем была 1 – 3 раза. У 38 человек отмечалась легкая степень выраженности обострения бронхолегочной инфекции, у 2 – средняя степень. Выраженный пневмофиброз рентгенологически диагностировали у 34 человек, у остальных 6 – умеренный.

Исследование проводилось утром в состоянии относительного покоя пациентов при спонтанном дыхании на уровне минутного объема дыхания (МОД); применялись тесты максимальной вентиляции легких (МВЛ), форсированного выдоха и эластической тяги легких согласно общепринятым правилам [5,6]. Биомеханические свойства легких оценивались по кривым объема, транспульмонального давления (ТПД) (разница между альвеолярным и пищеводным давлением) при помощи пневмотахографа с интегратором («Медфизприбор», г. Казань). Пищеводное давление измерялось при помощи специального пищеводного зонда. Бронхиальное аэродинамическое сопротивление и структура общей емкости легких определялись при помощи плетизмографа постоянного объема (Masterlab Pro «Erich Jaeger», Германия). Были проанализированы общепринятые и оригинальные интегральные показатели биомеханики дыхания, эластических свойств легких и грудной клетки [3,5,7]. Применение оригинальных показателей оценки биомеханики дыхания обусловлено тем, что общепринятые параметры не позволяют дать всестороннее математическое описание функционирования АВД [2, 3].

Внутрилегочный гистерезис  $H_t$ , кгм, оценивался на уровне МОД по общей неэластической работе дыхания одного дыхательного цикла и компонентов, связанных с его формированием – дыхательному объему  $V_t$ , л; эластической оси дыхательной петли  $L$ ,  $(л^2+кПа^2)^{0,5}$ ; удельному гистерезису  $H_p=H_t/L$ ,  $кгм \cdot (л^2+кПа^2)^{-0,5}$ ; этим же показателям на уровне МВЛ –  $V_{tm}$ ,  $H_{tm}$ ,  $L_m$ ,  $H_{pm}$  безразмерным отношениям –  $V_t/V_{tm}$ ,  $H_t/H_{tm}$ ,  $L/L_m$ ,  $H_p/H_{pm}$ . Размерность  $(л^2+кПа^2)^{0,5}$  образуется в результате расчета  $L$  и  $L_m$  по формуле Пифагора по значениям объема, л, и давления, кПа.

Давление, действующее на поверхность легких, оценивалось на уровне МОД по величине ТПД на пике дыхательного объема  $P_v$ , кПа; максимальному значению ТПД  $P_{tp}$ , кПа при спокойном вдохе; эластической тяги на вдохе, совершаемой за счет дыхательных мышц грудной клетки, - по ТПД  $T_{tp}$ , кПа; на уровне МВЛ по ТПД на пике дыхательного объема  $P_{vm}$ , кПа; безразмерным отношениям –  $P_v/P_{vm}$ ,  $P_{tp}/T_{tp}$ ; оригинальным безразмерным индексам «время – напряжение» дыхательных мышц грудной клетки  $ITT=IA \cdot P_{tp}/T_{tp}$ , где  $IA$  – индекс инспираторной активности на уровне МОД.

**Результаты и обсуждение.** Дыхательный объем  $V_t$ , внутрилегочный  $H_t$  и удельный гистерезис  $H_p$ , а также эластическая ось дыхательной петли  $L$  у лиц с ХБ не отличались от показателей группы здоровых. Однако, в группе с ХБ эти же показатели на уровне МВЛ были достоверно снижены по сравнению со здоровыми  $M \pm m$ :  $V_{tm}$  ( $2,03 \pm 0,5$  л;  $1,51 \pm 0,4$  л;  $p < 0,01$ );  $H_{tm}$  ( $0,54 \pm 0,3$  кгм;  $0,14 \pm 0,2$  кгм;  $p < 0,001$ );  $H_{pm}$  ( $0,22 \pm 0,3$   $кгм \cdot (л^2+кПа^2)^{-0,5}$ ;  $0,15 \pm 0,2$   $кгм \cdot (л^2+кПа^2)^{-0,5}$ ;  $p < 0,05$ );  $L_m$  ( $2,45 \pm 0,4$   $(л^2+кПа^2)^{0,5}$ ;  $1,92 \pm 0,4$   $(л^2+кПа^2)^{0,5}$ ;  $p < 0,01$ ). Соответственно в группе с ХБ были повышены безразмерные показатели  $V_t/V_{tm}$  ( $0,37 \pm 0,12$ ;  $0,56 \pm 0,1$ ;  $p < 0,01$ );  $H_t/H_{tm}$  ( $0,03 \pm 0,06$ ;  $0,21 \pm 0,08$ ;  $p < 0,001$ );  $H_p/H_{pm}$  ( $0,09 \pm 0,06$ ;  $0,20 \pm 0,07$ ;  $p < 0,001$ );  $L/L_m$  ( $0,37 \pm 0,05$ ;  $0,50 \pm 0,06$ ;  $p < 0,01$ ).

При сравнительном анализе значений транспульмонального давления было выявлено, что ТПД на пике дыхательного объема  $P_v$ , ТПД на уровне МВЛ на пике дыхательного объема  $P_{vm}$ , их

безразмерное отношение –  $P_v/P_{vm}$  и индекс инспираторной активности на уровне МОД IA у лиц с ХБ не отличались от показателей группы здоровых.

В группе с ХБ по сравнению со здоровыми максимальное значение ТПД  $P_{tr}$  при спокойном вдохе было повышено  $M \pm m$  ( $0,42 \pm 0,2$  кПа;  $0,76 \pm 0,2$  кПа;  $p < 0,001$ ); эластическая тяга на вдохе, совершаемая за счет дыхательных мышц грудной клетки, ТПД  $T_{tr}$  была снижена ( $2,17 \pm 0,4$  кПа;  $1,61 \pm 0,3$  кПа;  $p < 0,001$ ); соответственно безразмерное отношение  $P_{tr}/T_{tr}$  ( $0,20 \pm 0,2$ ;  $0,47 \pm 0,2$ ;  $p < 0,001$ ) и оригинальный безразмерный индекс «время – напряжение» дыхательных мышц грудной клетки  $ITT=IA \cdot P_{tr}/T_{tr}$  были увеличены ( $0,08 \pm 0,01$ ;  $0,20 \pm 0,02$ ;  $p < 0,001$ ).

С позиции механизмов обеспечения биомеханического гомеостаза аппарата внешнего дыхания важным вопросом физиологии дыхания является изучение устойчивости регуляции дыхания у здоровых людей и в частности у лиц с ХБ [2,3]. Полученные данные свидетельствуют о снижении адаптационных резервов дыхательной мускулатуры на уровне МВЛ у больных хроническим бронхитом в сочетании с пневмофиброзом. Тем не менее, все имеющиеся здесь показатели – кандидаты в гомеостатические величины (внутрилегочный гистерезис  $H_t$ , эластическая ось дыхательной петли  $L$ , ТПД на уровне МВЛ на пике дыхательного объема  $P_{vm}$ , безразмерное отношение –  $P_v/P_{vm}$  и индекс инспираторной активности на уровне МОД IA) у лиц с ХБ находятся в границах нормальных величин [2,3]. Выявленное напряжение функционирования механизмов гомеостатического обеспечения биомеханических свойств легких в группе с ХБ требует изучения всех показателей – кандидатов в гомеостатические величины у данной категории больных.

#### Список используемой литературы:

1. Гриппи М.А. Патофизиология легких : пер. с англ. / М.А. Гриппи ; под ред. Ю.В. Наточина. – 2-е изд., испр. – М.: БИНОМ; – СПб.: Невский Диалект, – 2000. – 344 с.
2. Карзилов А.И. Биомеханический гомеостазис аппарата внешнего дыхания и механизмы его обеспечения/ А.И. Карзилов// Бюллетень сибирской медицины. – 2007. – №1. – С.13 –38.
3. Карзилов А.И. Регуляторное обеспечение устойчивости биомеханики дыхания при obstructивных заболеваниях легких: Автореф. дисс. д-ра мед. наук. – Барнаул, – 2009. – 39 с.
4. Пульмонология: руководство (клинические рекомендации) / Под ред. А.Г. Чучалина. – М.: ГЭОТАР-Медиа, – 2007. – 240 с.
5. Тетенев Ф.Ф. Биомеханика дыхания/ Ф.Ф. Тетенев.- Томск: Изд-во Том. ун-та, – 1981. – 145 с.
6. Тетенев Ф.Ф., Бодрова Т.Н., Тетенев К.Ф., Карзилов А.И., Левченко А.В., Калинина О.В. Исследование функции аппарата внешнего дыхания. – Томск, 2008. – 164с.
7. Тетенев Ф.Ф. Новые теории – в XXI век. – Томск : Сибирский издательский дом, 2003. – 180 с.
8. Respiratory Mechanics / edited by J. Milic-Emili: European Respiratory monograph. - European Respiratory Society. – 1999. – V. 4, N12. – 295 p.

#### Диуретики в сердечной недостаточности

*Муниципальное бюджетное лечебно-профилактическое учреждение, г. Томск*

*Е.А. Ивлева*

Согласно российским национальным рекомендациям ВНОК и ОССН по диагностике и лечению ХСН (третий пересмотр, утверждены конференцией ОССН 15 декабря 2009 года) эпидемиология СН в Российской Федерации по данным исследований последних 10 лет, проведенных в нашей стране, в рамках исследований ЭПОХА-ХСН (8 регионов РФ, 19 500 респондентов) и ЭПОХА-О-ХСН (одномоментное госпитальное исследование в 22 регионах РФ), стало известно, что:

- в результате 10-летнего наблюдения за популяцией обнаружено, что распространенность ХСН в популяции растет в среднем на 1,2 человека на 1000 населения в год за счет более высокой заболеваемости ХСН мужчин в возрастной группе от 40 до 59 лет и женщин в возрастной группе от 70 до 89 лет. Во многом это связано с неадекватной терапией АГ и ИБС. Можно предполагать, что продолжительность жизни больных ХСН несколько увеличивается за счет увеличения числа пациентов, которые принимают основные лекарственные средства для лечения ХСН. На популяционном уровне появление более тяжелого ФК ХСН ассоциировано с увеличением возраста на каждые 10 лет;

- в исследовании Euro Heart Survey, проводившемся в 14 странах Европы, включая РФ, впервые особое внимание было уделено появлению большого числа пациентов с ХСН и

нормальной (ФВ > 50 %) систолической функцией сердца. По данным исследования ЭПОХА-О-ХСН, в РФ 56,8 % пациентов с очевидной ХСН имеют практически нормальную сократимость миокарда (ФВ ЛЖ > 50 %). Исследования, проводившиеся в США, продемонстрировали постоянное увеличение числа таких больных, что позволило определить проблему ХСН с сохранной систолической функцией сердца (ХСН-ССФ), как одну из неинфекционных эпидемий XXI века. К этой категории больных ХСН в основном относятся женщины более старшего возраста с плохо лечеными АГ и/или СД. При этом среди женщин встречаемость ХСН-ССФ достигает 68 %.

Сердечная недостаточность – это неспособность сердца обеспечить кровообращение, соответствующее метаболическим потребностям организма.

Различают острую и хроническую СН. Под острой СН принято подразумевать возникновение острой (кардиогенной) одышки, связанной с быстрым развитием легочного застоя вплоть до отека легких или кардио-генного шока (с гипотонией, олигурией и т. д.), которые, как правило, являются следствием острого повреждения миокарда, прежде всего острого ИМ. Чаще встречается хроническая форма СН, для которой характерны периодически возникающие эпизоды обострения (декомпенсации), проявляющиеся внезапным или, что бывает чаще, постепенным усилением симптомов и признаков ХСН.

С современных этнических позиций ХСН представляет собой заболевание с комплексом характерных симптомов (одышка, утомляемость и снижение физической активности, отеки и др.), которые связаны с неадекватной перфузией, органов и тканей в покое или при нагрузке и часто с задержкой жидкости в организме.

Первопричиной является ухудшение способности сердца к наполнению или опорожнению, обусловленное повреждением миокарда. Основные причины сердечной недостаточности, связанные с поражением сердечной мышцы (заболеванием миокарда) табл. 1.

Принципы диагностики ХСН.

Постановка диагноза ХСН возможна при наличии двух ключевых критериев:

- 1) характерных симптомов СН (главным образом одышки, утомляемости и ограничении физической активности, отеков лодыжек);
- 2) объективного доказательства того, что эти симптомы связаны с повреждением сердца, а не каких-либо других органов (например, с заболеваниями легких, анемией, почечной недостаточностью).

Таблица 1. Основные причины сердечной недостаточности, связанные с поражением сердечной мышцы (заболеванием миокарда).

Ишемическая болезнь сердца	Множество клинических проявлений.
Артериальная гипертензия	Часто ассоциируется с гипертрофией левого желудочка и сохранной фракцией выброса.
Кардиомиопатии	Семейные/генетические или несемейные/негенетические (в т.ч. приобретенные, например, миокардит). Гипертрофическая (ГКМП), дилатационная (ДКМП), рестриктивная (РКМП), аритмогенная дисплазия правого желудочка (АДПЖ), неклассифицированные.
Препараты	(3-адреноблокаторы, антагонисты кальция, антиаритмические, цитотоксические препараты).
Токсины	Алкоголь, лекарственные препараты, кокаин, микроэлементы (ртуть, кобальт, мышьяк).
Эндокринные заболевания	Сахарный диабет, гипо-/гипертиреоз, синдром Кушинга, недостаточность надпочечников, акромегалия, феохро-моцитомы.
Нарушения питания	Дефицит тиамина, селена, карнитина ожирение, кахексия.
Инфильтративные заболевания	Саркоидоз, амилоидоз, гемохроматоз, коллагенозы.
Прочие	Болезнь Чагаса, ВИЧ-инфекция, послеродовая кардио-миопатия, терминал.

Следует подчеркнуть, что симптомы ХСН могут присутствовать в покое и/или при нагрузке. В то же время объективные признаки дисфункции сердца должны обязательно выявляться в покое. Это связано с тем, что появление такого признака (например, низкой ФВ ЛЖ) на нагрузке (например, у больного ИБС) может быть признаком не СН, а коронарной недостаточности. По аналогии с ФВ ЛЖ, это касается и других объективных признаков повреждения миокарда.

Лечение ХСН.

Можно сформулировать 6 очевидных целей при лечении ХСН:

- предотвращение развития симптомной ХСН (для I стадии ХСН);
- устранение симптомов ХСН (для стадий II–III);
- замедление прогрессирования болезни путем защиты сердца и других органов (для стадий I–III);
- улучшение качества жизни (для стадий II–III);
- уменьшение госпитализаций (и расходов) (для стадий I–III);
- улучшение прогноза (для стадий I–III).

Существует 6 путей достижения поставленных целей при лечении декомпенсации:

- диета;
- режим физической активности;
- психологическая реабилитация, организация врачебного контроля, школ для больных ХСН;
- медикаментозная терапия;
- электрофизиологические методы терапии;
- хирургические, механические методы лечения.

Задержка жидкости в организме и формирование отеочного синдрома является типичными наиболее известным проявлением ХСН.

*Диуретические (мочегонные) средства в лечении ХСН.* Диуретики – показаны всем больным при клинических симптомах ХСН, связанных с избыточной задержкой натрия и воды в организме. В табл. 2 приведена дозировка и продолжительность действия диуретиков при лечении больных с ХСН.

При правильном применении эти средства позволяют уменьшить число госпитализаций, что соответствует достижению двух из шести основных целей при лечении ХСН.

В многочисленных исследованиях показаны антиальдостероновые эффекты торасемида, сопровождающиеся достоверным уменьшением фиброза миокарда и параллельным улучшением диастолических свойств миокарда.

Таблица 2. Показания. Дозировки и продолжительность действия диуретиков при лечении больных с ХСН.

		Показания	Стартовая доза	Максимальная доза	Длительность действия
Тиазидные	Гидрохлоротиазид	II-III ФК (СКФ > 30 мл/мин)	25 мг x 1-2	200 мг/сут	6-12 час
	Индапамид СР	IFK (СКФ > 30 мл/мин)	1,5 мг x 1	4,5 мг /сут	36 час
	Хлорталидон	IFK (СКФ > 30 мл/мин)	12,5 мг x 1	1 00 мг/сут	24-72 часа
Петлевые	Фуросемид	II-ГУФК (СКФ > 5 мл/мин)	20 мг x 1-2	600 мг/сут	6-8 час
	Буметанид	II-ГУФК (СКФ > 5 мл/мин)	0,5 мг x 1-2	1 0 мг/сут	4-6 час
	Этакриновая к-та	II-ГУФК (СКФ > 5 мл/мин)	25 мг x 1-2	200 мг/сут	6-8 час
	Торасемид	II-ГУФК (СКФ > 5 мл/мин)	10 мг x 1	200 мг/сут	12-1 6 час
ИКАГ	Ацетазоламид	Легочно-сердечная недостаточность. Устойчивость к активным диуретикам (алкалоз)	250 мг x 13-4 дня с перерывами 10-14 дней	750 мг/сут	12-16 час

В поддерживающей фазе диурез должен быть сбалансированным и мА-сса тела стабильной при регулярном (ежедневном) назначении мочегонных. Наиболее частая ошибка в назначении диуретиков: попытка «ударного» диуреза - один раз в несколько дней. Более ошибочную тактику лечения, как с учетом качества жизни пациента, так и прогрессирования ХСН, трудно представить.

Алгоритм назначения диуретиков (в зависимости от тяжести ХСН) представляется следующим:

- I ФК – не лечить мочегонными;
- II ФК (без застоя) – малые дозы торасемида (2,5 - 5 мг);
- II ФК (застой) – тиазидные (петлевые) диуретики + спиронолактон 100 - 150 мг;
- III ФК (поддерживающее лечение) – петлевые (лучше торасемид) ежедневно в дозах, достаточных для поддержания сбалансированного диуреза+спиронолактон (малые дозы)+ацетазоламид (по 0,25 x 3 раза/сут. в течение 3 - 4 дней раз в 2 недели);
- III ФК (декомпенсация) – петлевые (лучше торасемид)+тиазидные+антагонисты альдостерона, в дозах 100-300 мг/сут. + ИКАГ;
- IV ФК – петлевые (иногда дважды в сутки или капельно в высоких дозах) + тиазидные + антагонисты альдостерона+ ингибиторы карбо-ангидразы (ацетазоламид по 0,25 x3 раза/сут. в течение 3 - 4 дней раз в 2 недели) + при необходимости изолированная ультрафильтрация и / или механическое удаление жидкости;

Придерживаясь указанных принципов, можно успешно лечить большинство пациентов с декомпенсацией сердечной деятельности и отечным синдромом.

«Золотой стандарт» с начала 90-х годов по настоящее время – комбинация четырех препаратов: иАПФ + диуретик + гликозид + $\beta$ -адрено-блокатор.

Эффект и влияние вспомогательных средств на прогноз больных с ХСН неизвестны (не доказаны).

#### Список используемой литературы:

1. Национальные рекомендации ВНОК И ОССН по диагностике и лечению ХСН (третий пересмотр). Утверждены конференцией ОССН 15 декабря 2009 года. Комитет по подготовке текста: Мареев В. Ю., Агеев Ф. Т., Арутюнов Г. П., Коротеев А. В., Ревивили А.Ш.
2. Шулуто Б.И., Макаренко С.В. Стандарты диагностики и лечения внутренних болезней. Издание 5-е дополненное и переработанное, – С.- етербург, ООО «Медкнига ЭЛБИ-СПБ», Ренккор, – 2009 г.

#### Окислительные и антиоксидантные процессы у детей с хроническими заболеваниями, проживающих в радиационно-химическом следе

*Т.В. Матковская, Г.А. Суханова, Е.А. Ямановская\**

*Сибирский государственный медицинский университет, г. Томск, Россия,*

*\*Детский санаторий «Озеро Шира»*

Представлены результаты исследования в 2003-2011 гг. окислительных процессов у 67 школьников с хроническими заболеваниями(основная группа детей школы -интерната), проживающих в районе радиационно-химического следа после аварии на промышленно-ядерном комплексе (ПЯК), 51 школьника, проживавших в Хакасии, республике Тыва, Красноярском крае, которые обследовались в санатории «Озеро Шира» и 22 школьника детского дома - группы сравнения (контроль). Дети находились на одинаковом питании. Методы исследования: представлены результаты клинического обследования, содержания малонового диальдегида (МДА), каталазы, молочной кислоты (МК), пировиноградной кислоты (ПВК) и их соотношения.

Школьники, рожденные после аварии или находившиеся в раннем возрасте во время аварии, имели более отягощенный анамнез, определялось преобладание различных жалоб, сочетанной хронической соматической заболеваемости, снижение физической работоспособности, и нарушение окислительных процессов и антиоксидантной защиты по сравнению с контрольной группой. В основной группе детей снижение физического развития определялось в 1,5 раза чаще, полового развития – в 9,4, умственного развития - в 4,5 раз, увеличение лимфоидной системы - в 3 раза, щитовидной железы - в 20. Отмечалось увеличение частоты кариеса в 22 раза, нарушения осанки -3,5, хронического фарингита – в 5 раз, болей в мышцах и костях – в 1, 6 раз, поражения нервной системы - в 5 раз чаще, чем у детей группы сравнения.

Исследования окислительных и антиоксидантных процессов у детей с различными заболеваниями проведены для исключения влияния заболеваний на течение окислительных и антиоксидантных процессов в различных районах. Хронические заболевания желудочно-кишечного тракта (ЖКТ), заболевания нервной системы достоверно преобладали в группе детей, проживающих в радиационно-химическом следе, причем сочетанная патология чаще встречалась у этих детей.

Результаты изучения состояния процессов ПОЛ при хронических заболеваниях у школьников основной группы и поступивших на лечение в детский санатории - группа сравнения представлены в табл. 1. Содержание малонового диальдегида (МДА) было повышено в основной группе детей с заболеваниями ЖКТ, печени и желчных путей, нервной системы по сравнению с их сверстниками группы сравнения. При хроническом тонзиллите и фарингите отмечалась тенденция к повышению показателей МДА, однако данные недостоверны.

Таблица 1. Содержание МДА (мкмоль/л) в сыворотке крови детей при хронических заболеваниях.

Группы детей, заболевания	Основная	Сравнения
Заболевания ЖКТ $n_1=21, n_2=21$	$3,40 \pm 0,13$ $p < 0,05$	$2,18 \pm 0,14$
Хронический тонзиллит, фарингит $n_1=15, n_2=24$	$3,31 \pm 0,27$ $p > 0,05$	$2,51 \pm 0,35$
Заболевания печени и желчных путей $n_1=9, n_2=17$	$3,39 \pm 0,34$ $p < 0,05$	$2,17 \pm 0,18$
Заболевания нервной системы $n_1=22,$ $n_2=11$	$3,08 \pm 0,23$ $p < 0,05$	$2,07 \pm 0,23$

$p < 0,05$  – достоверная значимость различий по сравнению с группой сравнения  $n_1$  – количество детей основной группы

$n_2$  – количество детей группы сравнения

При заболеваниях ЖКТ в основной группе детей содержание МДА было выше на 55%, при хроническом тонзиллите, фарингите - на 16%, заболеваниях печени и желчных путей – на 55% и в группе с заболеваниями нервной системы - на 47% по сравнению с контролем.

Итак, наиболее выраженное повышение содержания МДА у школьников основной группы по сравнению с детьми группы сравнения наблюдалось при заболеваниях желудочно-кишечного тракта, заболеваниях печени и желчных путей и заболеваниями нервной системы. В связи с этим можно сделать вывод, что не хронические заболевания влияли на показатели МДА, а в большей степени проживание в радиационно-химическом следе после аварий на ПЯК и сочетанность заболеваний. Это два взаимосвязанных процесса.

Результаты исследования активности каталазы приведены в табл. 2.

Таблица 2. Активность каталазы (мккат/л) в сыворотке крови детей при хронических заболеваниях.

Группы детей	Основной	Сравнения
Заболевания ЖКТ $n_1=21, n_2=14$	$0,16 \pm 0,01$ $p < 0,05$	$0,25 \pm 0,02$
Хронический Тонзиллит, фарингит $n_1=15, n_2=10$	$0,14 \pm 0,01$ $p < 0,05$	$0,26 \pm 0,01$
заболевания печени и желчных путей $n_1=9, n_2=16$	$0,15 \pm 0,01$ $p < 0,05$	$0,26 \pm 0,01$
Заболевания нервной системы $n_1=18, n_2=11$	$0,19 \pm 0,01$ $p > 0,05$	$0,23 \pm 0,01$

Примечание:  $p < 0,05$  – значимость различий по сравнению с группой детей  $p > 0,05$  - недостоверность различий

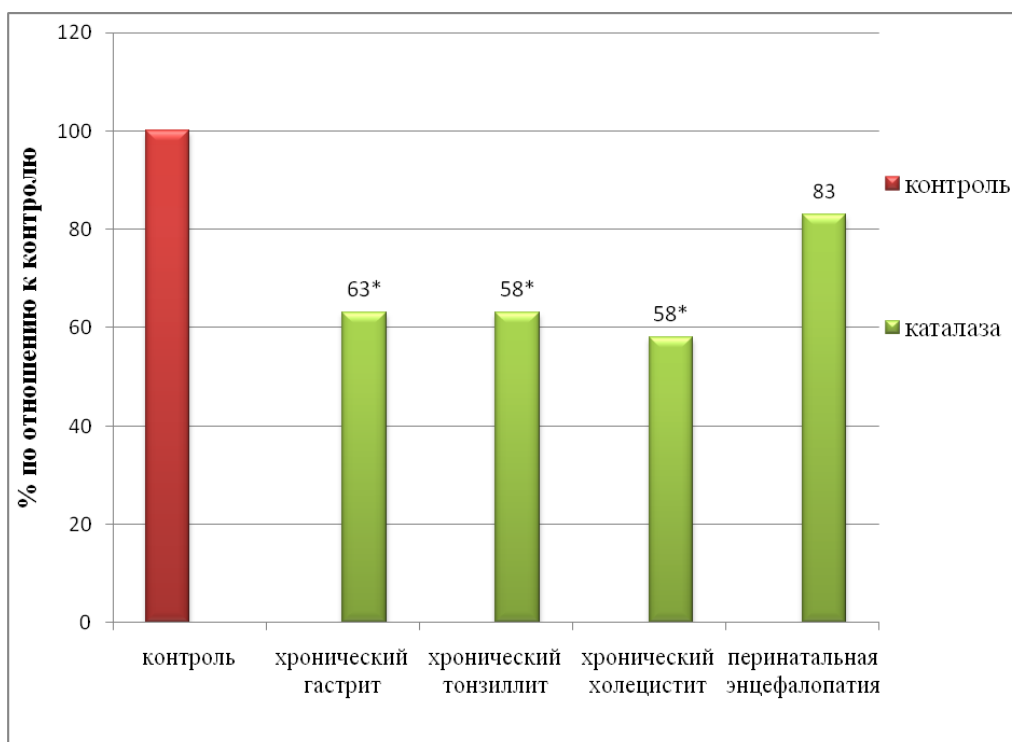
При всех заболеваниях школьников основной группы активность каталазы была ниже, чем у детей группы сравнения. При заболеваниях желудочно-кишечного тракта и печени и

желчных путей снижение уровня каталазы относительно контрольной группы составило соответственно 39% и 42%, при хроническом тонзиллите и фарингите – на 38%, при заболеваниях нервной системы - 17%. (рис. 1).

В группах детей с заболеваниями ЖКТ, заболеваниями печени и желчных путей и хроническим тонзиллитом, фарингитом отмечено достоверное снижение активности каталазы. При заболеваниях нервной системы отмечалась тенденция к снижению показателей каталазы, однако данные недостоверны. В результате изучения активности каталазы можно сделать вывод о более значительном снижении антиоксидантной защиты у детей основной группы при хронических заболеваниях желудка, печени и желчевыводящих путей, хроническом тонзиллите, фарингите, чем у их сверстников группы сравнения. Значит в экологически неблагоприятной местности показатели антиоксидантной защиты при одинаковых заболеваниях и одинаковых условиях жизни у детей более снижены, чем в группе сравнения у детей, проживающих в экологически более благоприятной местности.

Результаты изучения содержания лактата в сыворотке крови детей основной группы, представлены в табл. 3 и рис. 2. Содержание молочной кислоты при всех заболеваниях у школьников основной группы было выше, чем у их сверстников группы сравнения: при заболеваниях желудочно-кишечного тракта – на 33%, заболеваниях печени и желчных путей - на 39%, хроническом тонзиллите и фарингите – на 45%, и в группе с заболеваниями нервной системы - на 12 %. Достоверное увеличение содержания молочной кислоты было отмечено у детей основной группы при заболеваниях желудочно-кишечного тракта, при заболеваниях печени и желчных путей и при хроническом тонзиллите и фарингите по сравнению с этим показателем сверстников группы сравнения.

При заболеваниях нервной системы у детей, проживающих в радиационно-химическом следе в уровни молочной кислоты отмечалась тенденция к повышению лактата, однако данные не достоверны. Содержание ПВК в сыворотке крови детей основной группы было ниже, чем у детей (табл. 4): при заболеваниях ЖКТ – на 25%, хроническом тонзиллите – на 28%, с хроническом холецистите – на 21% и в группе с заболеваниями нервной системы - на 9%.



Примечание: \*-значимость различий по сравнению с группой контроля ( $p < 0,05$ ).

Рис. 1. Процентное отношение активности каталазы в сыворотке крови основной группы детей по отношению к показателям детей группы сравнения при хронических заболеваниях.

Таблица 3. Содержание молочной кислоты (ммоль/л) в сыворотке крови детей при хронических заболеваниях.

Группы	Основная	Сравнения
Заболевания ЖКТ n <sub>1</sub> =21, n <sub>2</sub> =14	4,19±0,17 p<0,05	3,14±0,12
Хронический тонзиллит n <sub>1</sub> =15, n <sub>2</sub> =10	4,71±0,4 p<0,05	3,38±0,21
Хронический холецистит n <sub>1</sub> =9, n <sub>2</sub> =16	3,99±0,19 p<0,05	2,75±0,19
Заболевания нервной системы n <sub>1</sub> =18, n <sub>2</sub> =11	3,84±0,35 p>0,05	3,44±0,34

Примечание: p<0,05 – значимость различия показателей основной группы по сравнению с группой детей из санатория Шира;

p<0,05 – значимость различия по сравнению с группой детей из санатория Шира.

Таблица 4. Содержание пировиноградной кислоты (мкмоль/л) в сыворотке крови детей при хронических заболеваниях.

Группы	Основной	Санаторий Шира
Хронический гастрит n <sub>1</sub> =21, n <sub>2</sub> =14	50,03±2,08 p<0,05	66,43±3,02
Хронический тонзиллит n <sub>1</sub> =15, n <sub>2</sub> =10	41,78±1,9 p<0,05	58,32±2,5
Хронический холецистит n <sub>1</sub> =9, n <sub>2</sub> =16	42,72±1,9 p<0,05	54,01±2,5
Заболевания нервной системы n <sub>1</sub> =18, n <sub>2</sub> =11	55,46±2,5 p>0,05	60,73±2,8

На рис. 2 приведены данные о содержании молочной и пировиноградной кислот во всех основных группах по отношению к контролю. Соотношение молочной и пировиноградной кислот при хронических заболеваниях: гастрите, холецистите, тонзиллите сдвигается в сторону лактата.

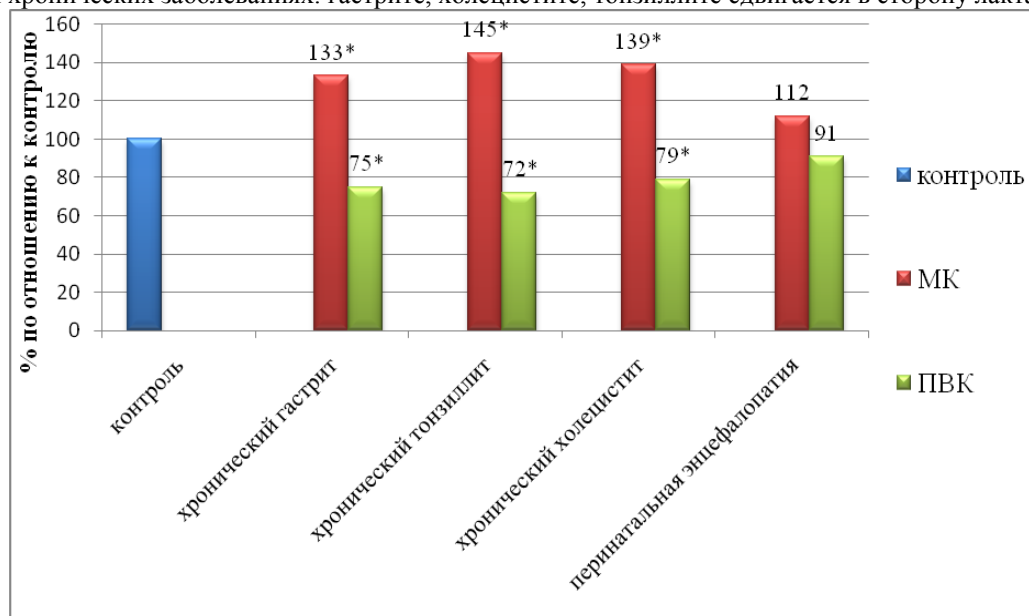


Рис. 2. Содержание молочной и пировиноградной кислот в сыворотке крови детей основной группы при хронических заболеваниях по отношению к соответствующим показателям(100%). детей группы сравнения. Примечание: \*-значимость различий по сравнению с группой контроля (p<0,05).



Итак, при хронических заболеваниях имеются существенные различия в содержании МК и ПВК в сыворотке крови школьников основной группы и детей группы сравнения. По сравнению с детьми группы сравнения, у школьников основной группы содержание МК повышается и снижается содержание ПВК. Это может свидетельствовать о наличии гипоксии тканей, которая ведет к нарушению проницаемости и целостности мембран клеток. Наиболее значительное увеличение МК и соответствующее снижение содержания ПВК обнаружено при хроническом тонзиллите.

Таким образом, проживание детей в радиационно-химическом следе оказывает влияние на окислительные и антиоксидантные процессы у них в большей степени, чем наличие заболеваний.

УДК 612.233-008.6

**Возможности пневмотахограммы в диагностике бронхообструктивных нарушений**

*П.Е. Месько, А.И. Карзилов\*, Ф.Ф. Тетевев, Т.Н. Бодрова, О.В. Калинина, О.В. Якис*

*Сибирский государственный медицинский университет, Томск*

*E-mail: [karzilov@mail.ru](mailto:karzilov@mail.ru)\**

Нарушение бронхиальной проходимости является ведущим патофизиологическим синдромом при большинстве хронических неспецифических заболеваний легких, развивающихся у лиц, проживающих в экологически неблагоприятных местностях. Недавние исследования показали, что бронхиальная проходимость относится к параметрам гомеостатической регуляции в аппарате внешнего дыхания [2, 3]. Современная пульмонология в диагностике бронхообструктивных нарушений опирается на измерение степени ограничения воздушного потока, рассчитанной по кривой форсированного выдоха и по петле поток-объем [1, 5]. 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 спонтанного дыхания при прерывании воздушного потока клапаном, качественная характеристика которой была рассмотрена в работе [7]. Позднее было найдено, что у больных хроническими обструктивными заболеваниями легких при спонтанном дыхании на пневмотахограмме выдоха после открытия клапана прерывателя регистрируется пик воздушного потока [6], обозначенного нами как дельта-пикфлоу, регистрация данного пика была наименована дельта-пикфлоуграфией [4].

**Цель работы:** изучить проявления пневмотахограммы и качественно их оценить при различных степенях обструктивных нарушений вентиляционной функции легких (ВФЛ).

**Материал и методы исследования.** Был обследовано 47 больных хроническими обструктивными заболеваниями легких (хроническая обструктивная болезнь легких, бронхиальная астма, обструктивная эмфизема легких). По степени снижения ОФВ1 в процентах по отношению к должному все пациенты были разделены на 4 группы: I группа – ОФВ1 составлял более 85%; во II, III, IV группы вошли больные у которых ОФВ1 составлял соответственно 84-65%, 64-45% и менее 45%. Контрольная группа включала 15 здоровых, некурящих человек. В каждой группе оценивались показатели бронхиального сопротивления  $Reff$  (кПа/л/с.), записанные на бодиплетизмографе (Erich Jaeger, Германия). Специальное исследование заключалось в регистрации на пневмотахограмме пика воздушного потока – дельта-пикфлоу. Для этого нами был разработан оригинальный комплекс приборов из компонентов стандартного серийного производства: 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. Обследуемый присоединялся к пневмотахографической трубке через загубник, с надетым на нос зажимом. Прерывание клапаном проводилось однократно на вдохе и выдохе, всего 6-8 прерываний за сеанс. Процедура исследования не вызывала каких-либо неприятных ощущений у здоровых лиц и у больных с одышкой. Из 6-8 зарегистрированных циклов (рис. 1) выбирали средний и рассчитывали показатели дельта-пикфлоу: амплитуду пика (h) л/с; продолжительность пика (t) сек.; площадь пика (S) л; максимальный поток (МП) л/с; а также отношение в процентах – h/МП %.

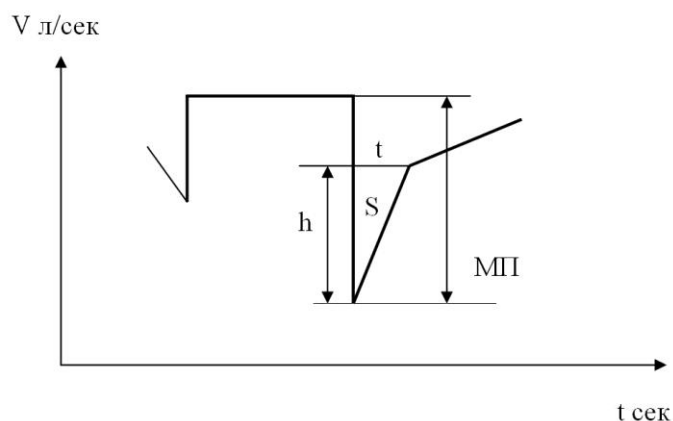


Рис. 1. Показатели дельта-пикфлоу при прерывании воздушного потока клапаном на 0,5 сек.  
Обозначения:  $h$  – амплитуда или высота пика (л/с), МП – максимальный поток (л/с),  $h/МП$  % – отношение высоты пика к максимальному потоку в процентах,  $t$  – продолжительность пика (с),  $S$  – площадь пика (л).

**Результаты и обсуждение.** Исследование показало (таб. 1), что высота дельта-пикфлоу у больных 4 групп была выше, чем в контрольной группе. При этом у больных IV группы она была значительно выше, чем в I и во II группах. Продолжительность пика у больных II, III и IV групп была больше чем в контрольной. Средние значения продолжительности дельта-пикфлоу в группах больных были приблизительно одинаковыми и достоверно между собой не различались. Средние величины площади дельта-пикфлоу и процентного отношения высоты пика к максимальному потоку были значительно выше у наблюдаемых больных по сравнению с контрольной группой. У больных I и II групп достоверно ниже, чем у больных III и IV групп. Максимальный поток в I и II группах не отличался от такового в контрольной группе, в III и IV группах этот показатель выше, чем в контрольной группе, и, кроме того, в IV группе он был выше, чем в I группе. Корреляционный анализ выявил обратную зависимость средней силы между снижением  $ОФВ_1$  и увеличением  $Reff$  и  $h$  ( $r=0,65$   $p<0,01$ ),  $S$  пика ( $r=0,61$   $p<0,05$ ). Продолжительность пика и максимальный поток не коррелировали ни с одним из показателей вентиляционной функции легких.

Таблица 1.

Показатели  $ОФВ_1$  и дельта-пикфлоу в контрольной группе и больных хроническими обструктивными заболеваниями легких ( $M \pm m$ )

Показатели	Контрольная группа (0)	Больные										
		I группа (n-13)	II группа (n-11)	P II-I	III группа (n-13)	P III-I	P III-II	IV группа (n-10)	P IV-I	P IV-II	P IV-III	
$ОФВ_1$ %	$107,4 \pm 3,1$	$93,2 \pm 4,9$	$76,1 \pm 1,5^*$	*	$58,7 \pm 1,7^*$	*	*	$39,6 \pm 3,0^*$	*	*	*	
Д П Ф	$h$ л/с	$0,42 \pm 0,06$	$1,41 \pm 0,27^*$	$1,32 \pm 0,37^*$	-	$2,06 \pm 0,35^*$	-	-	$2,52 \pm 0,39^*$	*	*	-
	$t$ сек	$0,03 \pm 0,005$	$0,04 \pm 0,007$	$0,05 \pm 0,005^*$	-	$0,06 \pm 0,012^*$	-	-	$0,06 \pm 0,009^*$	-	-	-
	МП л/с	$2,44 \pm 0,31$	$3,14 \pm 0,46$	$3,51 \pm 0,84$	-	$3,81 \pm 0,46^*$	-	-	$4,65 \pm 0,55^*$	*	-	-
	$h/МП$ %	$18,2 \pm 2,1$	$40,2 \pm 4,2^*$	$38,1 \pm 6,0^*$	-	$55,4 \pm 4,3^*$	*	*	$55,2 \pm 5,1^*$	*	*	-
	$S$ л	$0,005 \pm 0,001$	$0,024 \pm 0,005^*$	$0,028 \pm 0,005^*$	-	$0,05 \pm 0,006^*$	*	*	$0,063 \pm 0,01^*$	*	*	-

Примечание: \* статистически достоверные различия в группах больных и в группе контроля.

**Заключение.** Зависимость между основными параметрами вентиляционной функции легких ( $ОФВ_1$ ,  $Reff$ ) и данными дельта-пикфлоу (площадь пика, отношение амплитуды пика к максимальному потоку) косвенно свидетельствуют о связи степени нарушения бронхиальной

проходимости и изменений пневмотахограммы при прерывании воздушного потока клапаном. По площади и отношению высоты пика к максимальному потоку дельта-пикфлоу можно судить не только о наличии, но также и степени нарушения проходимости бронхов. Дельта-пикфлоуграфия является простым, необременительным для больного и не требующим дорогостоящего оборудования методом определения бронхиальной проходимости при обструктивных заболеваниях легких. Дельта-пикфлоуграфия может применяться у тяжелых больных, вынужденных находиться в клиностатическом положении.

#### Список использованной литературы

1. Гриппи М.А. Патофизиология легких: Пер. с англ. – М.: Бином, 1997. – 344 с.
2. Карзилов А.И. Биомеханический гомеостазис аппарата внешнего дыхания и механизмы его обеспечения/ А.И. Карзилов // Бюллетень сибирской медицины. – 2007. – №1. – С.13-38.
3. Карзилов А.И. Регуляторное обеспечение устойчивости биомеханики дыхания при обструктивных заболеваниях легких: Автореф. дис. докт. мед. наук. – Барнаул, 2009. – 39 с.
4. Месько П.Е. Влияние прерывания воздушного потока на кривую объемной скорости спонтанного дыхания в норме и при патологии: Автореф. дис. канд. мед. наук. – Томск, 2000. – 25 с.
5. Руководство по клинической физиологии дыхания. – Л.: Медицина. – 1980. – 376 с.
6. Knudson P.J. Contribution of airway collaps to supramaximal expiratory flows // J. Apple phisiol. – 1974. – V. 36. – P. 653-667.
7. Rossier P. et. al. Physiologie und Pathophysiologie der Atmung. – Springer-Verlag-Berlin-Gottingen Heidelberg, 1958. – 282 s.

УДК 349.2

#### Возможности использования «профессионального риска» в практике хозяйствующих субъектов

*Д.А. Рытова\*, Н.А. Чулков\*\**

*\*Томский государственный университет, г. Томск, Россия*

*\*\*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

*E-mail:Chulkov45@mail.ru*

Установлено, что практика использования профессионального риска ограничено применяется на современном этапе реформирования системы управления профессиональными рисками. Сделан вывод о том, что замена одного термина другим не меняет существа реализуемых мероприятий хозяйствующими субъектами.

В соответствии с изменениями внесёнными в Трудовой кодекс [1] необходимо переходить от управления охраной труда к управлению рисками повреждения здоровья работников актуально выполнение требований Федерального закона.

Основной задачей новой системы управления охраной труда является переход от реагирования на страховые случаи “post factum” к управлению рисками повреждения здоровья работников. Данная цель может быть достигнута созданием системы управления профессиональными рисками, которая должна стать основой управления системой сохранения жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности.

Создание системы управления профессиональными рисками предполагает проведение комплекса организационно-правовых, финансово-экономических, производственно-технологических, социальных, медицинских и санитарно-гигиенических мероприятий, направленных на минимизацию воздействия неблагоприятных производственных факторов на здоровье работников, а именно:

➤ создание системы выявления, оценки и контроля профессиональных рисков повреждений (утраты) здоровья работников для обеспечения превентивных мер защиты здоровья работника;

➤ совершенствование социально-трудовых отношений и развитие механизмов социального партнерства для разделения и закрепления ответственности:

- государства,
- работодателя,
- работника

за сохранение здоровья работников и поддержание трудовых ресурсов в работоспособном состоянии;

- совершенствование социального, медицинского и пенсионного страхования с целью повышения экономической и финансовой заинтересованности сторон социального партнерства в сохранении здоровья работников и работоспособности трудовых ресурсов; совершенствование законодательства, направленного на внедрение системы управления профессиональными рисками;
- построение эффективной сети информирования, консультирования и обучения различных групп работающего населения по вопросам охраны труда и здоровья на основе создания системы управления профессиональными рисками;
- апробация новых методических разработок, создание простых и доступных типовых образцов и моделей управления профессиональными рисками с целью их распространения по Российской Федерации.

В целом схему управления профессиональными рисками можно представить теми практическими действиями, которые выполняются на современном этапе хозяйствующие субъекты рис.1.

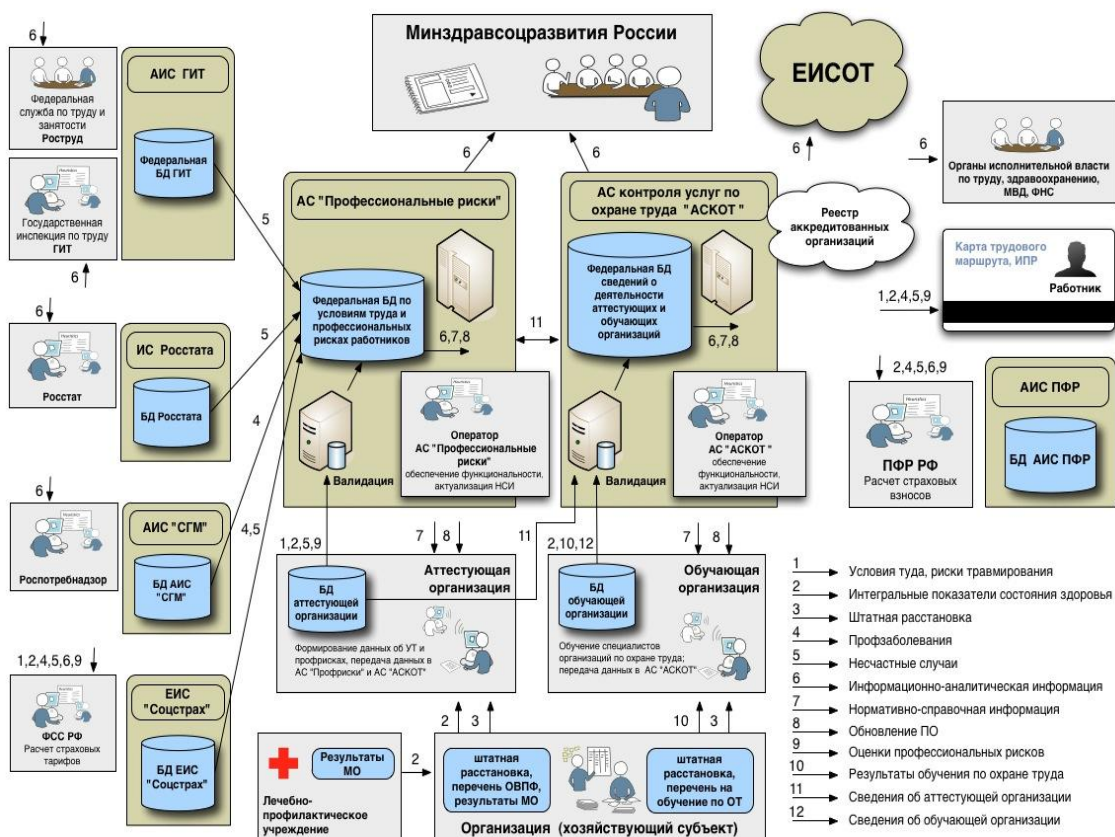


Рис.1 Схема информационно-аналитического обеспечения системы управления профессиональными рисками.

Экономический эффект системы управления рисками сводится к регулированию величины скидок и надбавок к страховым тарифам на обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний [2]. Величины рассчитываются Фондом социального страхования Российской Федерации [3] в текущем финансовом году и устанавливаются на очередной финансовый год в размерах не более 40 процентов установленного страхового тарифа по итогам деятельности страхователя за три года, предшествующих текущему, исходя из следующих основных показателей с учетом состояния охраны труда на основании сведений о результатах аттестации рабочих мест по условиям труда и сведений о проведенных обязательных предварительных и периодических медицинских осмотрах по состоянию на 1 января текущего календарного года:

Для хозяйствующего субъекта рассчитываются несколько показателей характеризующих профессиональный риск:

- показатель "а" - отношение суммы обеспечения по страхованию в связи со всеми произошедшими у страхователя страховыми случаями к начисленной сумме страховых

взносов по обязательному социальному страхованию от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний (далее - страховые взносы). Показатель "а" рассчитывается по следующей формуле:  $a = O / V$ ,

где: O - сумма обеспечения по страхованию, произведенного за три года, предшествующих текущему, в которые включаются:

- суммы выплаченных пособий по временной нетрудоспособности, произведенные страхователем;
- суммы страховых выплат и оплаты дополнительных расходов на медицинскую, социальную и профессиональную реабилитацию, произведенные территориальным органом страховщика в связи со страховыми случаями, произошедшими у страхователя за три года, предшествующие текущему (руб.);

V - сумма начисленных страховых взносов за три года, предшествующих текущему (руб.);

- показатель "в" - количество страховых случаев у страхователя, на тысячу работающих:

показатель "в" рассчитывается по следующей формуле:  $v = K / N * 1000$ ,

где: K - количество случаев, признанных страховыми за три года, предшествующих текущему;

N - среднесписочная численность работающих за три года, предшествующих текущему (чел.);

- показатель "с" - количество дней временной нетрудоспособности у страхователя на один несчастный случай, признанный страховым, исключая случаи со смертельным исходом.

Показатель "с" рассчитывается по следующей формуле:  $s = T / S$ ,

где: T - число дней временной нетрудоспособности в связи с несчастными случаями, признанными страховыми, за три года, предшествующих текущему;

S - количество несчастных случаев, признанных страховыми, исключая случаи со смертельным исходом, за три года, предшествующих текущему;

- коэффициент q1 рассчитывается по следующей формуле:  $q1 = (q11 - q13) / q12$ ,

где: q11 - число рабочих мест, на которых проведена аттестация рабочих мест по условиям труда на 1 января текущего календарного года организацией, аккредитованной в установленном порядке, на оказание услуг по аттестации рабочих мест по условиям труда;

q12 - число рабочих мест, подлежащих аттестации по условиям труда в соответствии с действующими нормативными правовыми актами;

q13 - число рабочих мест, отнесенных к вредным и опасным классам условий труда по результатам аттестации рабочих мест по условиям труда;

- коэффициент q2 рассчитывается по следующей формуле:  $q2 = q21 / q22$ ,

где q21 - число работников, прошедших обязательные предварительные и периодические медицинские осмотры в соответствии с действующими нормативно-правовыми актами на 1 января текущего календарного года;

q22 - число всех работников, подлежащих данным видам осмотра, у страхователя.

Для расчета коэффициентов используются сведения о результатах аттестации рабочих мест по условиям труда и проведенных обязательных предварительных и периодических медицинских осмотров, отраженных страхователем в соответствующем разделе формы расчета по начисленным и уплаченным страховым взносам на обязательное социальное страхование на случай временной нетрудоспособности и в связи с материнством и по обязательному социальному страхованию от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний, а также по расходам на выплату страхового обеспечения, утвержденной федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по выработке государственной политики и нормативно-правовому регулированию в сфере социального страхования

Показатели уровня проведения аттестации рабочих мест по условиям труда и уровня проведения обязательных предварительных и периодических медицинских осмотров рассчитываются и округляются до одного знака после запятой.

Таким образом, при оценке профессионального риска для целей экономического стимулирования, используют отработанные технологии управления состоянием здоровья работающих.

#### Список используемой литературы:

1. Трудовой кодекс Российской Федерации. – М.: Проспект, «Издательство «Омега-Л», 2009. - 2008 с.

2. Постановление фонда социального страхования Российской Федерации от 31 мая 2012 г. №122 «Об утверждении значений основных показателей по видам экономической деятельности для расчета скидок и надбавок к страховым на обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний на 2013 год.»
3. Методика расчета скидок и надбавок к страховым тарифам на обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний. Утверждена Приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 1 августа 2012 г. №39н.

УДК 616.12-005.4-06-098-085:616.379-008.64]-035.1-08:615.22

**Опыт лечения статинами пациентов с тяжелым течением заболеваний, ассоциированных с метаболическим синдромом**

*Беспалова И.Д., Медянцев Ю.А., Калюжин В.В., Рязанцева Н.В.*

*ГБОУ ВПО Сиб ГМУ Минздрава России, г. Томск,*

*МУЗ «Томская ЦРБ»*

*E-mail: [innadave@mail2000.ru](mailto:innadave@mail2000.ru)*

В условиях поликлиники центральной районной больницы проведено ретроспективное когортное исследование безопасности применения статинов у лиц, страдающих полиморбидной патологией с тяжелым течением заболеваний и высоким коронарным риском, ассоциированных с метаболическим синдромом. Исследовали 89 пациентов в возрасте от 39 до 80 лет, регулярно получавших статины от 1 до 3 лет в индивидуально подобранных дозах, которым проводился регулярный лабораторный контроль эффективности и безопасности данной терапии. У пациентов с полиморбидной патологией и высоким коронарным риском длительная терапия статинами даже в небольшой дозе способствовала статистически значимому снижению уровня общего холестерина и была безопасной. Об этом свидетельствовало отсутствие значимого увеличения на фоне лечения ряда биохимических показателей (трансаминаз, билирубина, мочевины, мочевой кислоты и креатинина). У больных, регулярно принимающих аторвастатин, достижение целевого уровня общего холестерина наблюдалось в 1,5 раза чаще, чем у больных, получающих другие статины, при меньшей продолжительности лечения.

В течение последних лет заболевания, ассоциированные с метаболическим синдромом (МС) (ишемическая болезнь сердца (ИБС), сахарный диабет типа 2 (СД 2) и др.), являются ведущей причиной смертности в экономически развитых странах, в том числе в России. Компоненты МС – абдоминальное ожирение, инсулинорезистентность, артериальная гипертензия, дислипидемия – относятся к модифицируемым факторам риска этих заболеваний, и составляют основу их тяжелого течения и осложнений [4].

Дислипидемия является не только фактором риска развития и прогрессирования атеросклероза, но и представляет ключевое звено патогенеза других заболеваний (ангиопатии при СД 2, желчнокаменной болезни (ЖКБ), стеатоза печени). Поэтому один из современных принципов первичной и вторичной профилактики патологических процессов, объединенных рамками МС – медикаментозная коррекция гиперлипидемии и дислипидемии как ведущих предикторов неблагоприятных исходов [4, 5]. Среди разных групп препаратов наиболее эффективными и популярными являются ингибиторы 3-гидрокси-3-метилглутарил-коэнзим А-редуктазы (статины), радикально изменившие подход к первичной и вторичной профилактике ИБС и мультифокальных поражений сосудов атеросклеротического генеза [1-3, 6, 7]. К сожалению, не только в России, но и во всем мире существует большой разрыв между официальными рекомендациями по лечению и реальной клинической практикой. Поскольку статины являются препаратами первичной и вторичной профилактики заболеваний, ассоциированных с МС, то их назначение, контроль эффективности и безопасности должны осуществляться, прежде всего, в амбулаторных условиях.

Цель исследования: Изучение безопасности и эффективности статинов у больных с тяжелым течением заболеваний, ассоциированных с МС, в условиях поликлиники центральной районной больницы.

Методы и материалы:

Для решения целевого вопроса выполнено ретроспективное когортное сравнительное исследование. Объектом исследования стали 89 пациентов в возрасте от 39 до 80 лет, наблюдающихся в поликлинике Томской центральной районной больницы. Из них 41 мужчина (46,1%) и 48 женщин (53,9%). Средний возраст пациентов составил: мужчин – 59,94±9,88 лет, женщин – 64,71±7,62. МС был определен у пациентов согласно критериям Всероссийского

научного общества кардиологов [5]. В исследование включали пациентов, состоящих на диспансерном учете с артериальной гипертензией, ишемической болезнью сердца, сахарным диабетом 2 типа, регулярно получающих статины, которым проводился своевременный лабораторный контроль эффективности и безопасности данной терапии. Во всех руководствах и рекомендациях главным показателем, по величине которого судят о состоянии липидов крови и его изменениях под влиянием лечения, является ХС ЛПНП [2, 3]. Поскольку в условиях ЦРБ сложно организовать полноценный лабораторный контроль эффективности и безопасности медикаментозного лечения, в качестве показателя эффективности проводимой терапии статинами использовали статистически значимую динамику общего холестерина, а в качестве показателей, характеризующих безопасность, – трансаминазы, билирубин, креатинин, мочевую кислоту и мочевину. По данным амбулаторных карт лабораторный контроль осуществлялся с интервалом от 3 до 6 месяцев. Забор крови для биохимического анализа производился в стандартных условиях утром натощак. Исследование выполняли на автоматическом биохимическом анализаторе АВХ Pentra 400 (Франция). Все выше перечисленные лабораторные показатели, анализировались дважды: до назначения статинов и на фоне их приема.

Всю выборочную совокупность больных разделили на две группы в зависимости от назначаемой гиполипидемической терапии: 1 группу составили пациенты (28,1%), получающие аторвастатин (липримар® – Pfizer Inc., Нью-Йорк, США), это пациенты, пожелавшие приобрести препарат за свой счет, 2 группу – пациенты (71,9%), принимающие другие статины (симвастатин, ловастатин, дженерики аторвастатина), получающие эти препараты в рамках программы льготного лекарственного обеспечения.

В таблице 1 представлены средние значения стартовой дозы и продолжительности лечения статинами. Обращал на себя внимание тот факт, что низкая стартовая доза препаратов не соответствовала высокому коронарному риску исследуемых лиц (у абсолютного большинства пациентов стартовая доза, независимо от препарата, составляла 10 мг).

Таблица 1

**Средняя стартовая доза статинов и средняя продолжительность лечения (M±STD)**

Показатели	1 группа (n = 25)	2 группа (n = 4)
Длительность лечения (годы)	1,68 ± 0,75	2,03 ± 1,08
Стартовая доза (мг)	14,8 ± 5,1	13,81 ± 6,52

Примечание: 1 группа – больные, получающие аторвастатин (липримар® – Pfizer Inc., Нью-Йорк, США), 2 группа – больные, получающие другие статины.

Анализировалась база данных поликлиники и амбулаторные карты пациентов.

Статистический анализ проводился с использованием компьютерных программ STATISTICA 6.0 и EXCEL 2007. Средние выборочные значения количественных признаков приведены в тексте в виде M±STD, где M – среднее выборочное, STD – стандартное отклонение. Проверка нормальности распределения производилась методом Шапиро-Уилка. В связи с отсутствием нормального распределения при сравнении количественных признаков между группами применялся тест Манна-Уитни. Во всех процедурах статистического анализа критический уровень значимости «р» принимался равным 0,05.

#### **Результаты:**

У всех пациентов отмечалось тяжелое течение ишемической болезни сердца с высоким риском сердечнососудистых событий. У абсолютного большинства пациентов (91%) диагностирована стенокардия напряжения III и IV функционального класса, у остальных клинической формой ИБС являлось нарушение сердечного ритма (мерцательная аритмия). Гипертоническая болезнь III стадии диагностирована у 100% больных, 31,5% перенесли острый инфаркт миокарда, 21,4% имели в анамнезе острое нарушение мозгового кровообращения. Больше половины исследуемых пациентов (51,7%) – это лица с ожирением разной степени выраженности, а остальные 48,3% - с избыточной массой тела. СД 2 типа средней и тяжелой степени тяжести отмечен у 39,2 % больных, документально подтвержденный облитерирующий атеросклероз сосудов нижних конечностей и атеросклероз аорты диагностированы у 37% и у 21,4% пациентов, соответственно, желчнокаменная болезнь (ЖКБ) установлена в 15,7% случаев. 69,7% пациентов являлись инвалидами, из них 42,7% – инвалиды II группы, а 27% – инвалиды III группы.

У больных обеих групп на фоне приема статинов отмечается статистически значимое снижение общего холестерина. Однако добиться снижения содержания общего холестерина до целевого уровня ( $\leq 4,1$  ммоль/л), рекомендуемого для пациентов с высоким риском

сердечнососудистых событий, удалось не у всех. Таковые результаты достигнуты у 44% пациентов первой группы и только у 27% пациентов второй группы.

Лабораторные показатели, характеризующие эффективность и безопасность лечения статинами, определяемые в условиях поликлиники, показаны в таблице 2. Клинически и статистически значимого увеличения значений изучаемых биохимических показателей по сравнению с исходными не происходило. Из всех пациентов только у одного на фоне лечения симвастатином имело место повышение трансаминаз почти в 1,5 раза. Повышение исходного уровня мочевой кислоты обнаружено у двух пациентов с документально подтвержденным диагнозом подагры. На фоне лечения статинами значение этого показателя существенно не изменилось.

Таблица 2

**Динамика лабораторных показателей у больных в процессе лечения статинами (M+STD)**

Показатели	1 группа (n = 25)		2 группа (n = 64)	
	Исходно	На фоне лечения	Исходно	На фоне лечения
Общий холестерин, ммоль/л	5,92±1,32	4,6±1,4*	5,94±1,65	4,9±1,1*
АСТ, ед/л	22,56±13,5	24,6±19,44	21,55±12,86	28,12±22,22
АЛТ, ед/л	20,6±9,63	19,51±10,16	22,58±11,8	23,88±14,99
Билирубин, мкмоль/л	8,62±3,08	8,6±3,85	12,76±6,54	11,26±7,4
Креатинин, ммоль/л	60,74±34,17	71,78±36,71	67,87±39,72	74,32±42,27
Мочевина, ммоль/л	6,12±2,06	6,46±2,76	5,53±1,3	5,83±1,81
Мочевая кислота, ммоль/л	297,16±64,39	314,75±55,56	342,18±82,64	362,0±56,9

Примечание: \* –  $p < 0,05$ ,

Опыт лечения статинами в Томской центральной районной больнице насчитывает около 4 лет. В течение последних трех лет на фоне роста первичной сердечнососудистой заболеваемости в Томском районе отмечается снижение смертности от данной патологии (с 7,5 до 6,8 случаев на 100 тыс. населения), что можно связать с успешной терапией статинами. К сожалению, в абсолютном большинстве случаев препараты данной группы назначаются врачами поликлиники пациентам с уже имеющейся, нередко тяжелой патологией и почти не используются как средство первичной профилактики. Основная причина – высокая стоимость препаратов этой группы, что делает их малодоступными для пациентов сельской местности.

**Заключение**

У пациентов с полиморбидной патологией и высоким коронарным риском длительная терапия статинами даже в небольшой дозе (14,8±5,1 мг – для аторвастатина и 13,8±6,5 мг – для других статинов) способствовала статистически значимому снижению уровня общего холестерина и являлась безопасной. У больных, регулярно принимавших аторвастатин, достижение целевого уровня общего холестерина наблюдалось в 1,5 раза чаще, чем у больных, получавших другие статины, при меньшей продолжительности лечения.

Безусловно, пациенты этой категории нуждаются в более активном гиполипидемическом лечении и более качественном лабораторном контроле. Очевидно и то, что в эпоху доказательной медицины врач, заинтересованный в успешном лечении больного, должен максимально доверять рекомендациям, основанным на данных широкомасштабных клинических контролируемых исследований, в которых доказана эффективность и безопасность препарата выбора при его длительном применении.

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).

**Список используемой литературы:**

1. Воронина В.П. Дженерики статинов: соотношение эффективности и безопасности/ В.П. Воронина, А.А. Серажим, А.В. Загребельный и др. // Рациональная фармакотерапия в кардиологии. 2009. № 6. С. 59 – 62.
2. Диагностика и коррекция нарушений липидного обмена с целью профилактики и лечения атеросклероза. Российские рекомендации IV пересмотр. Всероссийское научное общество кардиологов. Москва, 2010. – 88 с.



3. Карпов Ю.А. Статины в профилактике и лечении связанных с атеросклерозом заболеваний: эффективность и безопасность. // Рациональная фармакотерапия в кардиологии. 2005. № 2. С. 48 – 53.
4. Маколкин В.И. Метаболический синдром / В.И. Маколкин. – М.: ООО «Медицинское информационное агентство», 2010. – 144 с.
5. Национальные Рекомендации ВНОК и Общества специалистов по сердечной недостаточности (ОССН) по диагностике и лечению хронической сердечной недостаточности. Москва, 2010. 74 с.
6. Calisto K.L. Atorvastatin improves survival in septic rats: effect on tissue inflammatory pathway and on insulin signaling / K.L. Calisto, B.M. Caralho, E.R. Ropello et al. // PLoS One. 2010. Vol. 5(12). P. e14232.
7. Galani, V. and Vyas, M. In vivo and In vitro Drug Interactions Study of Glimepiride with Atorvastatin and Rosuvastatin // J Young Pharm. 2010. Vol. 2(2). P. 196–200.

УДК 616-008.9-056.8-082.5:613.21/.25

**Пищевое поведение и качество жизни пациентов с метаболическим синдромом**

*Беспалова И.Д.<sup>1</sup>, Медянцева Ю.А.<sup>2</sup>, Калюжин В.В.<sup>1</sup>, Рязанцева Н.В.<sup>1</sup>,*

*Осиков И.А.<sup>1</sup>, Мурашев Б.Ю.<sup>1</sup>, Афанасьева Д.С.<sup>1</sup>*

*ГБОУ ВПО Сиб ГМУ Минздрава России, г. Томск, Россия*

*МУЗ «Томская ЦРБ», г. Томск, Россия*

*E-mail: [innadave@mail2000.ru](mailto:innadave@mail2000.ru)*

В амбулаторных условиях произведена оценка пищевого поведения и качества жизни 64 пациентов с гипертонической болезнью с сочетанием с метаболическим синдромом. Установлено, что выраженность экстерналистического типа пищевого поведения обратно пропорциональна ИМТ и другим антропометрическим показателям, характеризующим степень абдоминального ожирения, а также выраженность эмоциогенного и экстерналистического типа пищевого поведения взаимосвязана со снижением КЖ по шкале влияние эмоционального состояния на ролевое функционирование.

Метаболический синдром (МС) – симптомокомплекс, который представляет собой актуальную медицинскую проблему планетарного масштаба, так как является кластером патофизиологических предикторов широко распространенных кардиологических и эндокринных заболеваний – основных причин ранней инвалидизации и высокой смертности современного человечества, способствующих драматическому снижению качества жизни (КЖ). Основными причинами МС считают: наследственную предрасположенность, гиподинамию и особенности пищевого поведения. При этом интенсивный рост заболеваемости и смертности от осложнений заболеваний, ассоциированных с МС в последние десятилетия сложно объяснить наследственными причинами, тогда как образ жизни человечества в это время изменился кардинально [5,7].

Пищевое поведение – это отношение человека к еде и ее приему в обычных условиях, условиях стресса. Пищевое поведение включает в себя установки, формы поведения, привычки и эмоции, касающиеся еды, которые индивидуальны для каждого человека и закладываются в детском возрасте. Выделяют три типа нарушения пищевого поведения: лимитирующее (ограничительное), являющееся следствием бессистемной диетотерапии с целью снижения массы тела, эмоциогенное (гиперфагическая реакция на стресс, эмоциональное переедание), при котором стимулом к приему пищи становится не голод, а эмоциональный дискомфорт, экстерналистическое – это повышенная реакция не на внутренние, гомеостатические стимулы к приему пищи (уровень глюкозы и свободных жирных кислот в крови, наполненность желудка, его моторика), а на внешние стимулы: накрытый стол, принимающего пищу человека, рекламу пищевых продуктов. Таким образом, человек с экстерналистическим пищевым поведением принимает пищу всегда, когда он ее видит и когда она ему доступна.

Цель исследования: оценить пищевое поведение пациентов с МС и изучить его взаимосвязь с показателями КЖ.

**Материал и методы:**

Для достижения поставленной цели в амбулаторных условиях проведено одномоментное (поперечное) исследование 64 пациентов с гипертонической болезнью (ГБ) II стадии в сочетании с метаболическим синдромом, диагностированными согласно рекомендациям экспертов Всероссийского научного общества кардиологов [7]. Протокол исследования одобрен этическим

комитетом Сибирского государственного медицинского университета № 1707.

Для оценки степени ожирения и характера распределения жира проведены измерения антропометрических параметров: массы тела (кг), роста (см), окружности талии (ОТ, см), окружности бедер (ОБ, см), сагиттального абдоминального диаметра (СД, см), а также определяли индекс массы тела (ИМТ) ( $\text{кг}/\text{м}^2$ ) и индекс ОТ/БО, объем общей жировой ткани (ООЖТ, л =  $1,36 \times \text{масса тела} / \text{рост} - 42$ ), объем висцеральной жировой ткани (ОВЖТ, л =  $0,731 \times \text{СД} - 11,5$ ), объем подкожной жировой ткани (ОПЖТ, л = ООЖТ - ОВЖТ). Висцеральный тип ожирения устанавливался при значении ОТ > 80 см у женщин и > 94 см у мужчин, при ОТ/ОБ > 0,9 и сагиттальном абдоминальном диаметре > 25 см [1]. В стандартных условиях измерялось артериальное давление (АД, мм рт. ст.). Биохимическим методом на автоматическом биохимическом анализаторе АВХ Pentra 400 (Франция) в сыворотке крови, взятой утром натощак, определялись уровни мочевого кислоты, глюкозы, трансаминаз, общего холестерина (ОХС), триацилглицеролов (ТГ), липопротеидов низкой и высокой плотности (ЛПНП и ЛПВП). Группу контроля составили 10 практически здоровых человек, не имеющих признаков МС и сопоставимые по возрастным характеристикам с группой пациентов.

Кроме исследования выше перечисленных клинико-лабораторных показателей, у всех пациентов и лиц контрольной группы выполнена оценка пищевого поведения с помощью голландского опросника DEBQ [11] и КЖ с использованием опросника MOS SF-36® [8, 10]. Средний возраст пациентов составил  $55,22 \pm 9,27$  года, длительность артериальной гипертензии на момент исследования составляла от 3 до 25 лет. Из них абсолютное большинство представлено женщинами – 49 (76,6%). Абдоминальное ожирение разной степени, гипертриацилглицеролемия и/или снижение концентрации ЛПВП той или иной степени выраженности выявлены у всех обследованных пациентов, однако в момент исследования ни один из пациентов не получал липостатические препараты. Нарушенная толерантность к глюкозе при проведении перорального теста толерантности к глюкозе или сахарный диабет типа 2 легкой степени установлены у 19 (29,7%) пациентов. Сахарный диабет 2 типа средней степени тяжести был диагностирован у 12 (18,7%) пациентов, которые получали гипогликемические препараты из группы бигуанидов. В исследование не включались больные с тяжелыми сопутствующими заболеваниями.

Статистическая обработка полученных результатов проведена путем создания единой электронной базы данных с использованием пакета Microsoft Office Access 2007 и последующей обработкой с применением 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). Проверка нормальности распределения проводилась методом Шапиро-Уилка. В связи с отсутствием нормального распределения множественные сравнения выполнялись с применением теста Краскела-Уоллиса (Kruskal-Wallis) ANOVA статистики. При так называемом Post-hoc-анализе использовали непараметрический тест Манна-Уитни (Mann-Whitney) с поправкой Бонферрони. Для оценки статистической взаимосвязи между показателями вычисляли коэффициент ранговой корреляции Спирмена (r).

#### Результаты и обсуждение

На предыдущем этапе исследования было установлено, что КЖ пациентов ГБ II стадии с МС по большинству шкал ниже, чем в контрольной группе. А корреляционный анализ позволил определить взаимосвязь показателей КЖ со всеми компонентами МС: со степенью абдоминального ожирения [4, 9], а также уровнем артериальной гипертензии, выраженностью гипергликемии и дислипидемии [2]. В настоящем исследовании для оценки сопряженности ожирения (основного компонента МС) с вариантами нарушений пищевого поведения все обследованные пациенты были разделены на три группы по значению ИМТ: 1-я группа – пациенты с нормальной массой тела (группа контроля), 2-я группа – пациенты с избыточной массой тела, 3-я группа – пациенты с ожирением разной степени выраженности. В каждой группе больных были лица с нарушением пищевого поведения всех трех типов: лимитирующего, эмоциогенного и экстернального. Экстернальный тип нарушения пищевого поведения был наиболее выражен у пациентов с нормальной массой тела (табл. 1). Иными словами, степень нарушения пищевого поведения экстернального типа поведения обратно пропорциональна индексу массы тела. Обращает на себя внимание тот факт, что и в группе контроля медиана, а также верхний и нижний перцентили значений обсуждаемого показателя выше нормального значения (2,7).

Таблица 1

Сравнительная характеристика пищевого поведения в группах больных, сформированных в зависимости от значения ИМТ (баллы) [Me (LQ; UQ)]

Тип пищевого поведения	1-я группа (n=10)	2-я группа (n=14)	3-я группа (n=50)
Лимитирующее	2,30 (1,40; 3,20)	2,55 (1,90; 2,28)	2,30 (1,80; 3,00)
Эмоциогенное	1,77 (1,46; 2,08)	1,15 (1,07; 1,77)	1,31 (1,08; 1,88)
Экстернальное *	3,55 (2,90; 3,70)	2,95 (2,10; 3,10)	2,50 (2,10; 3,20)

Примечание: \* -  $p < 0,05$ .

Важным с нашей точки зрения является и то, что медианы и, а также нижний и верхний процентилю оценок эмоциогенного типа пищевого поведения во всех группах превышали нормальные значения с максимальным числовым показателем именно в группе контроля, несмотря на то, что разница не имеет статистической значимости.

Возрастных и половых особенностей пищевого поведения мы не обнаружили, что несколько отличает наши результаты от результатов других исследователей [6], в которых обнаружено преобладание экстернального типа поведения у лиц старше 50 лет.

На следующем этапе проводили вычисление корреляционной матрицы, которая включала параметры пищевого поведения, с одной стороны, антропометрические и лабораторные показатели, а также оценки удовлетворенности жизнью – с другой. Обнаружены обратные корреляционные взаимосвязи экстернального типа пищевого поведения и ряда антропометрических показателей, характеризующих степень ожирения: массы тела ( $p < 0,05$ ;  $r = -2,24$ ), ИМТ ( $p < 0,05$ ;  $r = -2,67$ ), ООЖТ ( $p < 0,05$ ;  $r = -2,52$ ) и ОПЖТ ( $p < 0,05$ ;  $r = -2,49$ ). Корреляционный анализ показателей КЖ и нарушения пищевого поведения позволил установить обратные взаимосвязи выраженности экстернального и эмоциогенного типов нарушения пищевого поведения с КЖ по шкале RE – влияние эмоционального состояния на ролевое функционирование.

Далее все исследуемые были разделены на группы по принципу наличия или отсутствия нарушения у них того или иного типа пищевого поведения. Все клинико-лабораторные показатели сравнивались в этих группах. Обнаружены статистически значимые различия в группах по эмоциогенному пищевому поведению по индексу ОТ/ОБ и по общему холестерину ( $p < 0,05$ ) и в группах по экстернальному пищевому поведению по абсолютному большинству антропометрических показателей (массе тела, ИМТ, СД, ООЖТ, ОПЖТ) ( $p < 0,05$ ).

Таким образом, выраженность экстернального типа пищевого поведения обратно пропорциональна ИМТ и другим антропометрическим показателям, характеризующим степень абдоминального ожирения, то есть внешний вид пищи для тучных людей становится малозначимым. Этот относительный контроль над аппетитом можно объяснить компенсаторной реакцией организма для предупреждения дальнейшего роста массы тела.

Выраженность эмоциогенного и экстернального типа пищевого поведения взаимосвязана со снижением КЖ по шкале влияние эмоционального состояния на ролевое функционирование.

Из всех описываемых типов нарушений именно экстернальное пищевое поведение имеет наибольшую значимость на популяционном уровне, поскольку пищевая индустрия широко использует приемы для привлечения потребителя путем повышения внешней привлекательности продуктов (пищевые красители, яркая упаковка, реклама). Этим объясняется актуальность оценки пищевого поведения у относительно здоровых людей для своевременной его коррекции [3].

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).

#### Список использованной литературы:

1. Бекезин В.В. Сагитальный абдоминальный диаметр в диагностике висцерального ожирения у детей и подростков // Российский медико-биологический вестник им. акад. И.П. Павлова. 2004. № 3 - 4. С. 186 – 188.
2. 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.
3. Беспалова И.Д., Медянец Ю.А., Калюжин В.В. Сравнительный анализ двигательной активности и пищевого поведения американских и российских студентов медсестринских факультетов // Валеология. – 2012. - № 3. – С. 44-49.

4. Калюжин В.В., Тепляков А.Т., Камаев Д.Ю. Факторы, влияющие на качество жизни больных, перенесших инфаркт миокарда // Кардиология – 2001. – № 4. – С.58.
5. Маколкин В. И. Метаболический синдром. М: Медицинское информационное агентство, 2010. - 144 с.
6. Мищенко Т.В., Звенигородская Л.А., Варванина Г.Г. и др. Роль гормонов и типов пищевого поведения в развитии метаболического синдрома // Гастроэнтерология. - 2010. - № 7. – С. 12-19.
7. 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.
8. Новик А.А., Ионова Т.И. Руководство по исследованию качества жизни в медицине. 2-е издание / Под ред. Акад. Ю.Л. Шевченко. М.: ЗАО «ОЛМА Медиа Групп», 2007. 320 с.
9. Тепляков А.Т., Калюжин В.В., Камаев Д.Ю. Качество жизни больных с ишемической дисфункцией левого желудочка // Сибирский медицинский журнал. – 2001. – № 2. – С.16-19.
10. Permission for questionnaire SF - 36<sup>®</sup> use and copy. SF - 36<sup>®</sup>: Medical Outcomes Trust. <http://www.sf-36.com/tools/sf36.shtml>.
11. Sung J, Lee K, Song YM, Lee MK, Lee DH. Heritability of eating behavior assessed using the DEBQ (Dutch Eating Behavior Questionnaire) and weight-related traits: the Healthy Twin Study // Obesity (Silver Spring). – 2010. - №18(5). – P. 1000-1005.

УДК 616.153.857-008.61-098:577.121

#### **Нарушение пуринового обмена в патогенезе метаболического синдрома**

*Беспалова И.Д., Медянцева Ю.А., Калюжин В.В., Рязанцева Н.В.*

*ГБОУ ВПО Сиб ГМУ Минздрава России, г. Томск, Россия*

*МУЗ «Томская ЦРБ»*

*E-mail: [innadave@mail2000.ru](mailto:innadave@mail2000.ru)*

В клинических условиях исследован уровень мочевой кислоты в сыворотке крови у 103 пациентов ишемической болезнью сердца. Изучена взаимосвязь с компонентами метаболического синдрома у больных на фоне индивидуально подобранной патогенетической терапии. Показано, что в кластере компонентов метаболического синдрома наибольшую взаимосвязь с уровнем мочевой кислоты имеет абдоминальное ожирение.

Гиперурикемия (ГУ) - повышение уровня мочевой кислоты (МК) сыворотки крови выше 360 мкмоль/л у женщин и 420 мкмоль/л у мужчин - нередкое явление в практике клинициста [3, 5]. Бессимптомное увеличение уровня МК имеют 5–8% в популяции, и только у 5–20% из них развивается подагра.

Сегодня накоплено много данных о роли нарушений пуринового обмена в развитии целого ряда заболеваний, в том числе сердечно–сосудистых [4, 5]. Установлению распространенности ГУ и участия МК в патогенезе коронарных заболеваний посвящено большое количество эпидемиологических исследований второй половины XX века. Роль МК как предиктора сердечно-сосудистой заболеваемости и смертности изучалась практически во всех крупных популяционных исследованиях, причем были получены различные результаты[5, 9].

Среди причин, влияющих на уровень МК, лидирует метаболический синдром (МС) – совокупность факторов риска развития и тяжелого течения коронарной болезни сердца и других социально значимых заболеваний [6, 7]. Установленные корреляционные зависимости ГУ с компонентами метаболического синдрома позволили некоторым исследователям включить ее в кластер проявлений этого симптомокомплекса, а подагру считать ассоциированным с ним заболеванием. Однако результаты большого числа эпидемиологических и клинических исследований, направленных на обнаружение патогенетической взаимосвязи ГУ и компонентов МС (артериальной гипертензии, гипергликемии, дислипидемии и ожирения), противоречивы и не позволяют однозначно определить роль ГУ в патогенезе МС и ассоциированных с ним заболеваний, в том числе и при ИБС [3, 5, 7, 8, 9]. Ни один из возможных и описанных в литературе механизмов повышения уровня МК у данной категории пациентов не подтвержден до конца, что требует дальнейшего изучения и предполагает актуальность данного научного направления.

В связи с этим проведено одномоментное поперечное исследование, цель которого – изучение распространенности среди пациентов с ИБС бессимптомной гиперурикемии и поиск ее взаимосвязи с компонентами МС.

#### **Материал и методы:**

Было проведено обследование 103 пациентов ИБС в клинических условиях, диагностированной в соответствии с положениями, отраженными в Национальном руководстве по кардиологии [2]. 43,7% (n = 45) из них составили женщины, средний возраст которых -  $62,2 \pm 13,1$  года, мужчины составили 56,3% (n = 58), средний возраст -  $56,8 \pm 9,1$  лет. Из исследования были исключены пациенты, имеющие подагру. МС у пациентов был определен согласно рекомендациям экспертов Всероссийского научного общества кардиологов [7]. Для этого всем пациентам определялся необходимый спектр клинических, лабораторных и инструментальных показателей. Для оценки степени ожирения и характера распределения жира проведены измерения антропометрических показателей: массы тела (кг), роста (см), окружности талии (ОТ, см), окружности бедер (ОБ, см), сагиттального абдоминального диаметра (см), а также определены индекс массы тела (ИМТ) ( $\text{кг}/\text{м}^2$ ) и индекс ОТ/БО. 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, 5, 6]. Биохимическим методом на автоматическом биохимическом анализаторе ABX Pentra 400 определялись в сыворотке крови утром натощак уровни МК, глюкозы, общий холестерин, триглицериды и другие показатели, характеризующие метаболизм. Все пациенты получали индивидуально подобранную медикаментозную терапию, включавшую антиангинальные, гипотензивные, антиаритмические, дезагрегационные и липостатические препараты.

Статистическая обработка полученных результатов проведена путем создания единой электронной базы данных с использованием пакета Microsoft Office Excel 2007 и последующей обработкой на компьютере с применением пакета программ STATISTICA 6.0 (StatSoft, Inc., USA). Количественные данные представлены в виде медианы и 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). Проверка нормальности распределения производилась методом Шапиро-Уилка. В связи с ненормальным распределением при сравнении средних групповых количественных признаков применялся тест Манна-Уитни. Статистически значимыми считали различия при  $p < 0,05$ . Для оценки статистической взаимосвязи между показателями применялся корреляционный анализ Спирмена.

#### **Результаты**

Все пациенты имели ИБС: стенокардию напряжения I, II и III функционального класса (ФК), абсолютное большинство больных страдали гипертонической болезнью II и III стадии, имели избыточную массу тела (ИМТ > 25 < 30  $\text{кг}/\text{м}^2$ ) или ожирение разной степени выраженности (ИМТ > 30  $\text{кг}/\text{м}^2$ ). Около половины пациентов длительно курили, главным образом, мужчины. У 1/6 пациентов диагностирован сахарный диабет типа 2 легкой и средней степени тяжести.

По уровню МК все больные были разделены на две группы: 1-я группа (n = 65) – пациенты с нормоурикемией, т.е. с уровнем МК в сыворотке крови для мужчин < 420 мкмоль/л, для женщин < 360 мкмоль/л; 2-я группа (n = 38) – пациенты с ГУ, УМК у которых был выше обозначенной нормы. Далее все изучаемые показатели, большая часть из которых признаны компонентами МС, сравнивались в этих группах (табл. 1).

По мнению большинства исследователей [6, 7], абдоминальное ожирение является основным компонентом МС, который можно легко контролировать на всех этапах наблюдения за больным. Из таблицы видно, что статистически значимые различия между группами обнаружены по ряду показателей, характеризующих не только степень ожирения, то есть по массе тела и ИМТ ( $p < 0,05$ ), но и по характеру распределения жировой ткани, которая в данном случае оценивалась по ОТ и по сагиттальному абдоминальному диаметру ( $p < 0,05$ ). ОБ следует отнести к показателям, отражающим степень ожирения, различия в группах по этому показателю также были статистически значимы. Средние значения индекса ОТ/ОБ в обеих группах были больше 0,9, что соответствует центральному типу жировоголожения, хотя разница в группах не была статистически значимой.

При оценке биохимических показателей статистически значимые различия в группах были обнаружены только по уровню глюкозы в сыворотке крови. Отсутствие различий по другим признакам данного симптомокомплекса (артериальная гипертензия, дислипидемия) обусловлено, на наш взгляд, влиянием индивидуально подобранной гипотензивной и липостатической терапии.

Результаты анализа согласованности уровня МК с клиническими компонентами МС продемонстрировали прямую корреляционную взаимосвязь между анализируемой концентрацией конечного продукта пуринового обмена, с одной стороны, и массой тела ( $r=0,44$ ;  $p<0,05$ ), ИМТ ( $r=0,23$ ;  $p<0,05$ ), ОТ ( $r=0,36$ ;  $p<0,05$ ), ОТ/ОБ ( $r=0,35$ ;  $p<0,05$ ), а также сагиттальным абдоминальным диаметром ( $r=0,33$ ,  $p<0,05$ ) – с другой. Из лабораторных показателей уровень МК был взаимосвязан только с концентрацией креатинина крови ( $r=0,25$ ;  $p<0,05$ ).

Таблица 1

Распределение изучаемых показателей в группах больных ИБС, выделенных по уровню мочевой кислоты [Ме (LQ; UQ)]

	Нормоурикемия n=65 (63,1%)	Гиперурикемия n=38 (36,9%)	p
Рост (см)	168 (159; 174)	170 (164; 176)	0,070638
Вес (кг)	79 (67; 85)	90 (76; 100)	0,001746*
ИМТ	27,18 (24,77; 32,43)	30,9 (26,49; 34,42)	0,014549*
ОТ (см)	96 (84; 104)	103 (95; 115)	0,014411*
ОБ (см)	100 (97; 108)	105 (99; 113)	0,035580*
ОТ/ОБ	0,94 (0,85; 1,01)	0,95 (0,91; 1,02)	0,230332
Саг. диаметр (см)	27 (23; 30)	30,5 (26; 33)	0,006729*
САД (мм рт. ст.)	130 (120; 146)	140 (120; 150)	0,637212
ДАД (мм рт. ст.)	80 (79; 90)	80 (70; 90)	0,737697
Глюкоза (ммоль/л)	5,5 (5,2; 6,1)	6 (5,5; 6,9)	0,006390*
Фибриноген (г/л)	4,13 (3,67; 4,54)	3,83 (3,07; 4,39)	0,097372
АСТ (ед/л)	22 (17; 34)	23,5 (17; 33)	0,970014
АЛТ (ед/л)	24 (19; 27)	22 (19; 29)	0,964565
АЛТ/АСТ	0,94 (0,77; 1,29)	0,9 (0,77; 1,32)	0,533964
Креатинин (ммоль/л)	81 (68; 90)	82 (74; 87)	0,454213
Общий холестерин (ммоль/л)	5,7 (4,7; 6,7)	5,66 (4,5; 6,4)	0,596829
Триглицериды (ммоль/л)	1,45 (1,06; 1,87)	1,54 (0,92; 1,82)	0,854592

Примечание: \* -  $p < 0,05$ , ИМТ – индекс массы тела, ОТ - окружность талии, ОБ – окружность бедер, САД – систолическое артериальное давление, ДАД – диастолическое артериальное давление, АСТ – аспаратаминотрансфераза, АЛТ – аланинаминотрансфераза.

Полученные нами данные позволяют высказать предположение, что компоненты МС (в данном случае) по результатам проведенного исследования у более, чем 1/3 больных ИБС диагностирована бессимптомная ГУ, что согласуется с данными других исследователей. Уровень МК не зависит от степени коронарной недостаточности. На фоне индивидуально подобранной патогенетической терапии у пациентов с хроническим течением ИБС обнаружена положительная корреляция только с показателями абдоминального ожирения - основного компонента МС и уровнем глюкозы в сыворотке крови. Принимая во внимание мнение многих авторов о том, что бессимптомная ГУ является независимым и, главное, модифицируемым предиктором сердечно-сосудистой заболеваемости и смертности у больных с высоким общим сердечно-сосудистым риском, ее контроль и разработка методов 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).

#### Список используемой литературы:

1. Бекезин В.В. Сагиттальный абдоминальный диаметр в диагностике висцерального ожирения у детей и подростков // Российский медико-биологический вестник им. акад. И.П. Павлова. 2004. - № 3-4. С. 186 – 188.
2. Беленков Ю.Н., Оганов Р.Г. Кардиология: национальное руководство. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2007. - 1232 с.

3. Вирсаладзе Д.К., Тетрадзе Л.О., Джавашвили Л.В. и др. Уровни мочевой кислоты в сыворотке крови у пациентов с метаболическим синдромом // Медицинские новости Грузии. 2007. - № 5. - С. 35 – 37.
4. Волков В.Т., Сухих Ю.И. Подагра (перспективы исследования). Томск: «Тандем-Арт», 2003. - 428 с.
5. Кобалава Ж.Д., Толкачева В.В., Караулова Ю.Л. Мочевая кислота – маркер или новый фактор риска развития сердечно-сосудистых осложнений? // Российский медицинский журнал. 2002. - № 10. - С. 431.
6. Маколкин В. И. Метаболический синдром. М: Медицинское информационное агентство, 2010. - 144 с.
7. Мычка В.Б., Жернакова Ю.В., Чазова И.Е. Рекомендации экспертов Всероссийского общества кардиологов по диагностике и лечению метаболического синдрома (второй пересмотр). Доктор.Ру, 2010. -18 с.
8. Тетрадзе Л.О., Вирсаладзе Д.Н., Киласония Л.О. и др. Связь уровня мочевой кислоты с основными метаболическими параметрами в сыворотке крови у пациентов с метаболическим синдромом на фоне инсулиносенситайзерной терапии // Медицинские новости Грузии. 2007. - № 10. - С. 44 – 47.
9. Alderman MN, Cohen H, Madhavan S, Kivlighn S: Serum uric acid and cardiovascular events in successfully treated hypertensive patients // Hypertension. 1999. - V. 34. - P. 144-150.

УДК 616.12-008.331.1:616-008.9

**Влияние компонентов метаболического синдрома на качество жизни больных гипертонической болезнью**

*Беспалова И.Д.<sup>1</sup>, Медянец Ю.А.<sup>2</sup>, Калюжин В.В.<sup>1</sup>, Рязанцева Н.В.<sup>1</sup>,  
Осиков И.А.<sup>1</sup>, Мурашев Б.Ю.<sup>1</sup>, Афанасьева Д.С.<sup>1</sup>*

*ГБОУ ВПО Сиб ГМУ Минздрава России, г. Томск,  
МУЗ «Томская ЦРБ»*

*E-mail: [innadave@mail2000.ru](mailto:innadave@mail2000.ru)*

При сравнении показателей КЖ 46 пациентов ГБ с метаболическим синдромом и группы контроля обнаружены статистически значимые различия по шкале общего здоровья (GH), физического функционирования (PF), интенсивности боли (BP) и жизнеспособности (VT). Установлена обратная корреляционная взаимосвязь показателей КЖ со всеми компонентами МС, такими как абдоминальное ожирение, гипергликемия, дислипидемия, степень артериальной гипертензии, а также уровнем фибриногена.

В группе социально значимых для экономически развитых стран сердечно-сосудистых заболеваний наибольшее распространение имеет гипертоническая болезнь (ГБ). Патогенетическая взаимосвязь ГБ с комплексом конституциональных метаболических особенностей описана давно. В настоящее время предметом широкого обсуждения является взаимосвязь артериальной гипертензии (АГ) и инсулинорезистентности [2, 3]. Во всех классификациях АГ рассматривается в качестве одного из ведущих компонентов метаболического синдрома (МС) – симптомокомплекса, который представляет собой актуальную проблему планетарного масштаба, так как является кластером патофизиологических предикторов широко распространенных кардиологических и эндокринных заболеваний – основных причин ранней инвалидизации и высокой смертности современного человечества, способствующих драматическому снижению качества жизни (КЖ). Не случайно АГ, возникшая в структуре МС, является основным объектом терапевтических вмешательств. Цель современной терапии АГ – это предотвращение сердечно-сосудистых осложнений при сохранении удовлетворительного уровня КЖ пациента. Для достижения необходимого терапевтического эффекта и предотвращения снижения КЖ следует учитывать влияние МС и отдельных его компонентов на этот показатель.

**Цель исследования:** Изучение качества жизни больных гипертонической болезнью и взаимосвязи с компонентами метаболического синдрома.

**Материал и методы**

Для достижения поставленной цели в амбулаторных условиях проведено одномоментное (поперечное) исследование 46 пациентов с гипертонической болезнью II стадии в сочетании с метаболическим синдромом, диагностированными согласно рекомендациям экспертов Всероссийского научного общества кардиологов [2]. Лиц с симптоматической артериальной гипертензией (АГ) в исследование не включали. Протокол исследования одобрен этическим

комитетом Сибирского государственного медицинского университета (регистрационный № 1707). Средний возраст пациентов составил  $55,22 \pm 9,27$  года, длительность артериальной гипертензии на момент исследования составляла от 3 до 25 лет. Из них абсолютное большинство представлено женщинами – 36 (78,3%).

Для оценки степени ожирения и характера распределения жира проведены измерения антропометрических параметров: массы тела (кг), роста (см), окружности талии (ОТ, см), окружности бедер (ОБ, см), сагиттального абдоминального диаметра (СД, см), а также определяли индекс массы тела (ИМТ) ( $\text{кг}/\text{м}^2$ ) и индекс ОТ/БО, объем общей жировой ткани (ООЖТ,  $л = 1,36 \times \text{масса тела} / \text{рост} - 42$ ), объем висцеральной жировой ткани (ОВЖТ,  $л = 0,731 \times \text{СД} - 11,5$ ), объем подкожной жировой ткани (ОПЖТ,  $л = \text{ООЖТ} - \text{ОВЖТ}$ ). 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, 2]. В стандартных условиях измерялось артериальное давление (АД, мм рт. ст.). Биохимическим методом на автоматическом биохимическом анализаторе АВХ Pentra 400 (Франция) в сыворотке крови, взятой утром натощак, определялись уровни мочевого кислоты, глюкозы, трансаминаз, общего холестерина (ОХС), триацилглицеролов (ТГ), липопротеидов низкой и высокой плотности (ЛПНП и ЛПВП). Фибриноген определялся хронометрическим методом по Clauss на коагулометре (ООО «ТЕХНОЛОГИЯ-СТАНДАРТ», Барнаул). Группу контроля составили 18 практически здоровых человек, не имеющих признаков МС и сопоставимые по возрастным характеристикам с группой пациентов. Всем обследуемым произведена оценка КЖ с использованием опросника MOS SF – 36® [6].

Абдоминальное ожирение разной степени, гипертриацилглицеролемиа и/или снижение концентрации холестерина липопротеидов высокой плотности той или иной степени выраженности выявлены у всех обследованных пациентов, однако в момент исследования ни один из пациентов не получал липостатические препараты. Нарушенная толерантность к глюкозе при проведении перорального теста толерантности к глюкозе или сахарный диабет типа 2 легкой степени установлены у 18 (39,1%) пациентов. Сахарный диабет 2 типа средней степени тяжести установлен у 10 пациентов (21,7%), они все получали гипогликемические препараты из группы бигуанидов. В исследование не включались больные с тяжелыми сопутствующими заболеваниями.

Статистическая обработка полученных результатов проведена путем создания единой электронной базы данных с использованием пакета Microsoft Office Access 2007 и последующей обработкой на компьютере с применением 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). Проверка нормальности распределения производилась методом Шапиро-Уилка. В связи с отсутствием нормального распределения при сравнении средних групповых количественных признаков применялся тест Манна-Уитни. Статистически значимыми считали различия при  $p < 0,05$ . Для оценки статистической взаимосвязи между показателями вычисляли коэффициент ранговой корреляции Спирмена (r).

### Результаты и обсуждение

Исследуемая группа пациентов существенно отличалась от группы контроля по абсолютному большинству изучаемых показателей.

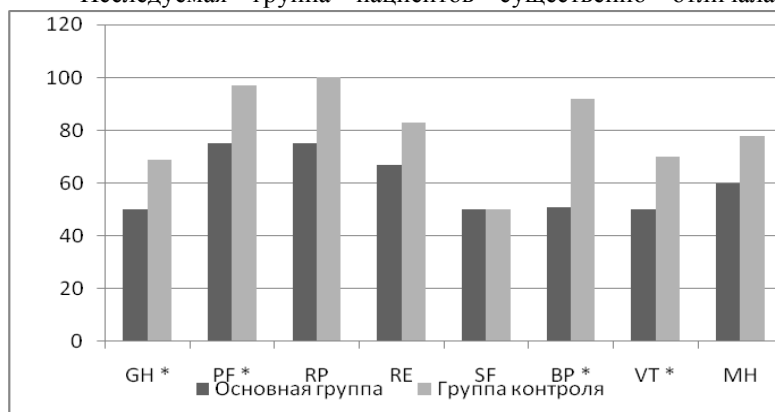


Рис. 1. Сравнительная оценка показателей КЖ (баллы) в группах

Примечание: GH - общее состояние здоровья, PF – физическое функционирование, RP - влияние физического состояния на ролевое функционирование, RE - влияние эмоционального

состояния на ролевое функционирование, SF - социальное функционирование, BP - интенсивность боли, ее влияние на функционирование, VT – жизнеспособность, MH - самооценка



психического здоровья. \* – межгрупповые различия статистически значимы ( $p < 0,05$ ).

Показатели КЖ больных ГБ сравнивались с таковыми в группе контроля (рис. 1.). Из рисунка видно, что КЖ группы контроля по большинству шкал выше, чем в основной группе. Однако статистически значимые отличия обнаружены лишь по шкале общего здоровья (GH), физического функционирования (PF), интенсивности боли (BP) и жизнеспособности (VT).

На следующем этапе исследования производили вычисление корреляционной матрицы, которая включала показатели КЖ по восьми шкалам (SF – 36®) и все изучаемые и перечисленные выше клинико-лабораторные параметры (табл. 1). Обращает на себя внимание большое число обратных корреляций между показателями КЖ, с одной стороны, и антропометрическими параметрами, характеризующими как степень ожирения, так и характер распределения жировой ткани, а также рядом лабораторных признаков МС – с другой. Из лабораторных показателей глюкоза имеет обратную корреляцию с оценкой общего состояния здоровья (GH), АСТ – с физическим функционированием (PF), фибриноген – с физическим функционированием (PF), интенсивностью боли (BP) и жизнеспособностью (VT), ТГ - с физическим функционированием (PF) и влиянием физического состояния на ролевое функционирование (RP), ЛПНП – только с физическим функционированием (PF). Обращает на себя внимание, что из всех показателей липидного спектра ЛПВП имеют прямую корреляционную взаимосвязь с наибольшим числом шкал КЖ. Из восьми шкал КЖ (SF – 36®) физическое функционирование (PF) имеет наиболее сильные взаимосвязи с наибольшим числом клинико-лабораторных показателей МС.

Таблица 1

Статистически значимые ( $p < 0,05$ ) корреляционные взаимосвязи ( $r$ ) между показателями качества жизни и клинико-лабораторными симптомами МС у больных гипертонической болезнью

Показатель	GH	PF	RP	RE	SF	BP	VT	MH
Масса тела, кг	-0,407	-0,532	-0,444	-	-	-0,495	-0,386	-
ИМТ, кг/м <sup>2</sup>	-0,413	-0,578	-0,409	-	-	-0,472	-0,399	-
ОТ, см	-0,412	-0,538	-0,433	-	-	-0,474	-0,389	-
ОБ, см	-0,386	-0,485	-0,400	-	-	-0,429	-0,354	-
ОТ/ОБ	-0,312	-0,392	-	-	-	-	-	-
Саг. диам., см	-0,433	-0,486	-0,383	-	-	-0,451	-0,422	-
ООЖТ, л	-0,436	-0,560	-0,460	-0,297	-	-0,515	-0,421	-
ОВЖТ, л	-0,478	-0,563	-0,453	-	-	-0,494	-0,477	-
ОПЖТ, л	-0,446	-0,590	-0,485	-	-	-0,515	-0,415	-
САД, мм рт.ст.	-0,333	-0,372	-	-	-	-0,361	-0,407	-
ДАД, мм рт.ст.	-	-	-	-	-	-	-	-
Глюкоза, ммоль/л	-0,408	-	-	-	-	-	-	-
АСТ, ед/л	-	-0,308	-	-	-	-	-	-
АЛТ, ед/л	-	-	-	-	-	-	-	-
МК, ммоль/л	-	-	-	-	-	-	-	-
ОХС, ммоль/л	-	-	-	-	-	-	-	-
ТГ, ммоль/л	-	-0,319	-0,305	-	-	-	-	-
ЛПНП, ммоль/л	-	-0,397	-	-	-	-	-	-
ЛПВП, ммоль/л	-	0,444	0,420	0,338	-	0,462	-	-
Фибриноген, г/л	-	-0,578	-	-	-	-0,450	-0,462	-

Примечание: (-) – отсутствие статистически значимой корреляции.

Изучение параметров КЖ у пациентов с заболеваниями, ассоциированными с МС, уже проводилось другими исследователями [4, 5]. Различия в дизайне, методах исследования и статистических приемах, вероятно, могут объяснить противоречивые результаты разных авторов. Этим отчасти объясняется и наш интерес к данной проблеме.

Таким образом, КЖ больных гипертонической болезнью, ассоциированной с МС по ряду шкал анкеты SF-36® существенно ниже, чем в группе контроля.

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).

#### Список использованной литературы:

1. Бекезин В.В. Сагиттальный абдоминальный диаметр в диагностике висцерального ожирения у

- детей и подростков // Российский медико-биологический вестник им. акад. И.П. Павлова. 2004. № 3 - 4. С. 186 – 188.
2. Маколкин В. И. Метаболический синдром. М: Медицинское информационное агентство, 2010. 144 с.
  3. 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.
  4. Качество жизни больных с желчнокаменной болезнью, ассоциированной с абдоминальным ожирением / И.Д. Беспалова, Ю.А. Медянцева, В.В. Калюжин и соавт. // Материалы II Межрегиональной научно-практической конференции с международным участием «Актуальные вопросы эндокринологии». Томск, 2011. С. 40-41.
  5. Тепляков А.Т., Калюжин В.В., Камаев Д.Ю. Качество жизни больных с ишемической дисфункцией левого желудочка // Сибирский медицинский журнал. 2001. № 2. С.16-19.
  6. Permission for questionnaire SF - 36<sup>®</sup> use and copy. SF - 36<sup>®</sup>: Medical Outcomes Trust. <http://www.sf-36.com/tools/sf36.shtml>.

УДК 616.1/4-085.832.3

**Нанобактериальная инфекция и вирусная теория гепатита.****Спорные и нерешенные вопросы*****В.Т. Волков, Н.Н. Волкова****Сибирский государственный медицинский университет, г. Томск, Россия**e-mail:vt\_volkov@rambler.ru*

В статье авторы приводят данные возможной причастности нового патогена-нанобактерии экологического фактора окружающей среды человека и животных. Авторами 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  $10^9$  клеток 1 мл. с фрагментами разрушенных лимфоцитов это вступает в явное противоречие с устойчивым представлением о вирусной природе гепатитов с использованием широкого арсенала противовирусных препаратов и открывает перспективу альтернативной антинанобактериальной терапии гепатитов с использованием нанобиотика Tx (Mezob 2003 и др.)

Из истории науки, посвященной изучению гепатита известно, что в 1967 году американским ученым Барух Самуэль Бламбергом и его сотрудниками проводя 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 у больных гепатитом В. 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 bs 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 (Безпрозванны 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, переключаясь 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. Следует вместе с тем, 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. etal (1979) связывают инфекционную активность сыворотки крови на инфицированность половых гормонов, спермы, содержимого влагалища, цельной крови и ее компонентов (плазма, фибриноген), мочи, выделением кала. Переливание крови доноров, практически здоровых лиц, гемодиализ не гарантирует развитие острого гепатита у здоровых и ослабленных болезнью почек лиц представляет несомненный интерес в поисках конкретного возбудителя гепатита работы японцев Инада и Идо (1915) обнаружившим у морских свинок, которым вводилась кровь больных инфекционной желтухой, огромное количество спирилл (*Spirochaetae icterohaemkacica*). Однако при систематических исследованиях крови и мочи спирохету 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. etal, 1978, Horak W. etal.,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. etal. 1969] указывают на наличие у большинства инфицированных вирусом В сферических образований нанометрического диапазона у больных гепатитом, а 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 (А и-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. etal 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 исследователя отмечены 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.]. Еще более низкие цифры развития хронических заболеваний печени дают другие исследователи. Так согласно наблюдениям В.В.Влауера с соавт. (172) у 789 перенесенных гепатит А развитие хронического гепатита активной.

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 перевернули 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 у больных, страдавших гепатитом и циррозом печени, что противоречит представлениям относительно вирусной и алкогольной природы этих заболеваний.

Роль лимфоцитов по современным представлениям за иммунологические повреждения ткани и печени, 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  $\times 200$  выявлен феномен апоптозиса печеночных клеток с явлением некроза, печеночные клетки находятся в состоянии некробиоза, ядра раздуты, резко увеличены с явлением лимфомакрофагоцитальной инфильтрацией. Введение внутривенно  $10^{-7}$  смеси нанобактерия Sang. Фирмы Nanobac-Lab (Финляндия) вызывает у пациентов, страдающих гепатитом инфильтрацию немедленного типа, что свидетельствует о присутствии в крови у больных антинанобактериальных антител та же смесь, добавленная в культуры 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 была 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 нет необходимости, что передача продуктами гепатита обусловлена не вирусами, а нанобактериемией и это открывает широчайшую перспективу пересмотра не только этиологии роли нанобактерии, а не вирусов в патогенезе гепатитов, но и в поисках альтернативной терапии нанобактериальной инфекции с исключением противовирусных препаратов и применением антинанобактериальной терапией-нанобиотиком ТХ. Невозможно исключить, что именно терапия пилотного проекта Gary Mezo (2003) может спасти пациентов, страдающих гепатитом и переходом его в цирроз печени. С позиции биоэтики незнание учеными, что энтеральный путь проникновения нанобактерии с сырой водой, молоком, мясом говядины на 100% контаминированных нанобактериями, легко проникающими через плаценту в плод с разрушением лимфоцитов в состояние и поражение печени. Переливание крови и его компонентом так же контаминированных нанобактерий увеличивает число больных гепатитом, а это ятрогенная широкого масштаба и особого нарушения основного врачебного принципа «не вреди» основой этой трагической ошибки является отсутствие представлений ученых и врачей об агрессивности нанобактерии. Добавим к этому, что Kajander A.O. et al (1989) одним из первых в 2002 году сообщил о контаминации полиомиелитной вакцине нанобактерии, подтвержденной американскими учеными (Mezo G. Etal 2005), что производство вакцин идет с использованием сыворотки крупного рогатого скота в 100% контаминированных нанобактерией. Наступила эра новых технологий в диагностике наномедицины позволяющих разрушить старые концепции и парадигмы представлений этиопатогенеза гепатита с учетом появления новых фактов в науке. Поистине был прав Клод Бернар утверждавший, что с появлением нового факта необходимо признать его и отказаться от старых теорий, даже если они поддерживаются и признаны крупными авторитетами. Не менее прав и наш соотечественник крупный биолог и вирусолог А.П. Пономарев (2008, 2011), 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. Это давало авторам из опубликованных электронных микрофотографий (Робинсон В.С. 1989) Жданов В.М. (1975). Представляет несомненный интерес, что гепатит и возникает при широком спектре заболеваний включая болезни крови, ВИЧ-

инфекции, лекарственных поражений, что затрудняет классификацию гепатита, а нанобактерия, относящаяся к нанобиомиру вообще не включена в этиологию гепатита, хотя по своим характерологическим признакам (нанометрические размеры, сферическую форму как и вегетирующие варианты (Волкова Н.Н. 2007) она мало чем отличается от австралийского антигена и частиц Дейна в условиях проведения электронной микроскопии.

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 образований. Использование ЕДХ микрорентгеновской приставки на установке Camera-Microbiam (Франция) по данным дифракции удалось получить по пикам карбонат-апатит самой оболочки используя иммунофлюоресцентный метод с использованием моноклиальных антинанобактериальных антител фирмы Nanobac-Lab (Finland) т.н. вируса гепатита В, а так же в частицах Дейна колонии зеленоватого цвета, что на 100% идентифицируется как нанобактерия. Сотрудниками городской больницы №: г. Владимира (Каштанов Д.В., Манина Т.А., Лисицина Е.В., ФГУ «ВНИИЗЖ» г. Владимира (Пономарев А.П. и др.) тщательно обследовали с использованием полимеразной цепной реакции (ПЦР), 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 (НСV)-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  $10^9$ - $10^{10}$  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 (рис.) 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 50-100нм. 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 препаратов, а использование терапии антинанобактериальной инфекции согласно пилотному проекту G.Mezo (2003) с применением нанобиотика Тх.

#### Список использованной 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. 2005-2005.- №2-с 26-31
5. Волков В.Т., Волкова Н.Н. и др. Биоминерализация (новейшая экология) г. Томск Из-во «Тандем-Арт. Томск»-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. Батрова г. Томск – Из-во И.П. Сековой-215 с.
8. Волкова Н.Н. Исследование биоминерализационного геоэкологического фактора в подземных водах Томского района: автореф. канд. диссертации геолого-минералогических наук-Томск-2006-25 с.
9. Волков В.Т. Нанобактерия. Перспективы изучения в медицине // Природные интеллектуальные ресурсы Сибири: Мат. 7-ой Международной конференции. Барнаул. 2001-с-130-133.

10. Волков В.Т., Волкова Н.Н. Нанобактерия // Сиб.мед. журнал-2002-№5-с.5-10
11. Мансуров Х.Х., Мироднов Т.К., Расулова Т. Сравнительное изучение антигена в сыворотке крови и ткани печени // Сов. Медицина, 1979, №2-с.50-54
12. 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.-Черноголовка. 2008-с.-313
13. Мансуров Х.Х. Портальная гипертензия – Душанбе: Таджикистаниздат, 1962.-83 С.
14. Ногаллер А.М., Юлдашев К.Ю. Хронический гепатит и циррозы печени. –Ташкент, 1977.-279с
15. Пономарев А.П. Электронная микроскопия нанобактерий и других представителей микро-наномира // г. Владимир, Из-во И.П. Журавлева-2011-180 с.
16. Пономарев Н.П., Пичуева А.А., Никешина и др. // Тр. Федерального центра охраны здоровья животных-г. Владимир, 2009-Т7-с.2020-2039
17. Пономарев А.П., Пичуева А.Л., Никешина И. Электронно-микроскопический анализ образцов крови и органов кроликов, инокулированных суспензиями нанобактерий.
18. Пономарев А.П., Борисова О.А., Кухаркина О.В. Нанобактерия-новые представители мира бактерий г. Владимир-с. -2008-2047
19. Подымова Е.М. Болезни печени: Медицина,1984-465 с.
20. 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
21. Пономарев А.П., Манин Б.А., Никешина Т.Б. Электронно-микроскопические исследования биоагентов, контаминирующих сывороток телят // Тр. Федерального центра охраны животных. – Владимир, 2008-т.6-с. 465-477
22. Пономарев А.П., Белик Е.В., Никешина Т.Б. Электронно-микроскопические исследования биоагентов, контаминирующих сывороток телят // Тр. Федерального центра охраны животных.
23. Пономарев А.П., Белик Е.В., Никешина Т.Б. Изменения морфологии лимфоцитов крови животных при поражении нанобактериями // Нанотехнологии: наука и производство. 2010-№2-с. 26-34
24. Пономарев А.П., Белик Е.В. Морфология и свойства наночастиц или нанобактерий, выявленных в биологических материалах методом электронной микроскопии // Труды Федерального центра охраны животных. – Владимир, 2008. – т.6.-с. 433-447
25. Пономарев А.П., Белик Е.В., Молева А.А. Выявление нанобактерий в крови кроликов методом электронной микроскопии // Вестник РАСХН. – 2008.-№5.-с. 82-86
26. Пономарев А.П., Б.В. Морфологические особенности строения нанобактерий, выявленных в крови животных // Нанотехнологии: наука и производство. – 2009. - №1(2). - с. 15-22
27. Пономарев А.П. Электронно-микроскопические исследования отдельных микроорганизмов, относящихся к нано-и микромиру // Нанотехнологии: наука и производство – 2008. - №4 – с. 12-20
28. Пономарев А.П. Электронная микроскопия нанобактерий – новые представители мира бактерий: обзор литературы: Владимир: ф24 «ВНИИЗЖ», 2008. – 48 с.
29. Пономарев А.П., Белик Е.В. Морфология и свойства наночастиц или нанобактерий, выявляемых в биологических материалах методом электронной микроскопии // Труды Федерального центра охраны животных. – Владимир,2008. – т6. – с. 465-477
30. Пономарев А.П., Белик Е.В., Гарасько Е.В., Шиляев Р.Р. // 23-я Рос. Конференция, по электронной микроскопии: Тез. докл. – Черноголовка, 2008. – с. 414
31. Робинсон В.У. Вирус гепатита – Вирусология: В 3х т. По ред. Б.Фильдса, Д.Найпа: мир, 1988 – с. 287-336
32. Суворова Е.И. Методы просвечивающей электронной микроскопии высокого разрешения для анализа наноструктуры биоматериалов: автореф., дисс. Д-ра физ.-мат. наук. – м. 2006 – 35 с.
33. Гареев Е.М., Тареева И.Е.: многотомное руководство по внутренним болезням. – м.: Медицина 1965, т.5, с. 306-447
34. Гареев Е.М., Назареген Е.М., Семендяк и др. Эпидемический гепатит-м.: Медгиз 1977. – 446 с.
35. Blumberg B.S., Satnic A.J., London N.T. Australia antigen and hepatic – J. AMA., 1965, vol.207, P 1895.

36. Feinstone A., Kapikian A., Purselia Q/ Hepatitis detection by immune electron microscopy – *Scientes*, 1973, vol 182, P – 1026-28
37. Kajander E.O. Fetal bovine serum: discovery of nanobacteria / E.O. Kajander, Kuronen/ *N.Ciftogly//Molecular Biology of cell, Suppl.* – 1996.- vol.7.- p 517/

УДК 616.124.2-089-1-1-088.6:616.22-007.22-007.2

### **Перспективы исследования нового патогена-нанобактерии в генезе ревматизма**

***В.Т. Волков, Н.Н. Волкова***

*Сибирский государственный медицинский университет, г. Томск, Россия*

***e-mail:vt\_volkov@rambler.ru***

В статье авторы на основании собственных исследований и публикаций ряда зарубежных ученых высказывают мнение о возможной этиопатогенетической роли новейшего фактора экологии и патогена-нанобактерии в поражении клапанного аппарата, хорд, миокарда с формированием сердечного порока у больных ревматизмом.

С тех пор как в 1924 году Карей Кумбс (Carrey Coombs) написал одним из первых руководство по ревматизму, выделив его в самостоятельную нозологию, и указал на этиологическую роль  $\beta$ -гемолитического стрептококка в генезе этого человеческого недуга широкая армия врачей и исследователей восприняла это как непогрешимую истину и легла в основу монографий и диссертационных исследований. Диагностика и доказательства этиологической роли  $\beta$ -гемолитического стрептококка в развитии ревматизма строилась помимо нахождения его на клапанном аппарате, миндалинах у пациентов, перенесших ангину, а иммунология выставила в качестве аргументов повышенный титр антител к стрептококку (антистрептолизин и др.). Респектабельная иммунология в течение более 100 лет, внедряясь в соматическую медицину, так и не приблизила нас к истинным представлениям природы значительного числа заболеваний, гарантируя этиотропную терапию и излечение недуга. Ярким примером этого является бронхиальная астма, число которых достигло в наши дни 300 миллионов человек и продолжает расти. В связи с этим иммунологические модели соматических заболеваний, включая ревматизм, больше порождают вопросы, чем приближают нас к истине. В этом нас убеждает сама статистика, свидетельствующая, что банальная ангина, порождающая неимоверное число больных, но только 1% заболевает ревматизмом. В течение 30 лет профессор Е.Залесский со своими сотрудниками обнаружили в условиях использования электронной микроскопии в тканях миокарда больных ревматизмом вирусоподобные сферической формы образования, создалась альтернативная теория вирусного происхождения ревматизма. Однако остаётся практически совершенно неясным механизм оссификации митрального клапана в формировании ревматического порока сердца у пациентов, страдающих ревматизмом. В дополнении необходимо признать, что теория аутосенсбилизации так и не смогла выяснить этиологию ревматизма и, к сожалению, специфический возбудитель его до сих пор не раскрыт. Экспериментальные попытки многих исследователей создать ревматизм с применением  $\beta$ -гемолитического стрептококка окончились неудачей в том числе использование  $\beta$ -гемолитического стрептококка так и не получены у животных типичные Ашоф–Талалаевские гранулемы как доказательство гистоморфологической картины ревматизма (Цончев В.Г. 1965). В исследованиях профессора В.Иоффе (1959), Н.Д. Стражеско приведены доказательства все того же  $\beta$ -гемолитического стрептококка в генезе ревматизма, однако все выше сказанное свидетельствует о шаткости и малой убедительности этиологической роли  $\beta$ -гемолитического стрептококка. Постараемся аргументировать несостоятельность устаревшей концепции ревматизма на основании новых фактов, полученных нами (Волков В.Т. 2003) и ряда зарубежных ученых относительно этиологической роли нанобактерии, нового патогена, ответственного за поражение клапанного аппарата, миокарда, хорд и формирование ревматического порока, оссификации клапанов у больных ревматизмом. Обратимся к проблеме патологической оссификации в первую очередь клапанного аппарата сердца столь характерного для больных ревматизмом, речь идет не просто к механическому осаждению кристаллов кальция как это имеет место в отечественной литературе как впрочем и столь же наивное представление относительно инфильтрации сосудов холестерина в которых так же имеет место феномен кальцификации сосудистой стенки и атероматозных бляшек (Струков А.И. 1963 г. и др.) кальцинируются по непонятным причинам имплантанты, стенты, возвращая циркуляторные расстройства в сосудах.

В 2003 году нами в условиях трансмиссионной микроскопии в толще удаленных хирургических створках митрального клапана 12 больных (8 муж. и 4 жен.), страдающих прижизненно ревматизмом обнаружили сферической конфигурации образования нанометрического размера 50-100 нм., окруженные плотной капсулой по данным ЕДХ - микрорентгеновского анализа состоящие из карбонат-апатита. Обработка образцов 2% раствором уранилацетата и инкубация с коллоидным золотом, покрытым анти-нанобактериальными антителами 8Д10 (NanoBak-Finland) с добавлением тиазинового флюоресцина. Все это позволяет в 100% идентифицировать нанобактерию.

В более поздних исследованиях наших коллег (Кожевников М.Л. и др. 2008) колонии нанобактерий были выявлены в строме миокарда у больных ревматизмом на электронных снимках отчетливо определяются овоидной формы нанобактерии окруженные плотной мантией. Вокруг нанобактерий размером 50-100нм. В диаметре отчетливо видны измененные кардиомиоциты со следами разволокнения. Учеными крупнейших научных центров США в частности в клинику братьев Мейо (Miller et.al 2003 г.), института прикладных медико-биологических исследований и нанотехнологий г. Чикаго, Файнбенской школы медицины, отделения кардиологии и кардиоторакальной хирургии Северо-Восточного университета (США), NASA проводят разноплановые исследования причастности вновь найденного патогенна - нанобактерии к поражению атеросклерозом крупных магистральных сосудов и оксификации, вальвулита, поражения хорда, воспалительных изменений сердечно-сосудистого аппарата, с формированием сердечного порока у больных ревматизмом. Нанобактерия по мнению финских исследователей выбрасывает олигопептид, особый белок, вызывающий воспаление окружающей ткани сердца, более того нанобактерия, единственная из класса хламидий способна осаждать кальций и холестерин, что в состоянии объяснить формирование холестериновых бляшек и патологическую кальцификацию клапанов и сосудов сердца, коронарных, аорты и мозга (Kajander A.O. et al, 1998). На патологическую кальцинацию клапанов сердца при ревматических пороках ссылаются Yu YR, Zhao et al (2010) центрального университета Шанхая (Китай).

Авторам удалось обнаружить, изолировать и культивировать нанобактерии в сердечных клапанах человека при ревматических пороках Авторы детально изучили 4 группы клапанов сердца: нормальные и кальцинированные. Позитивный контроль – нанобактерии штамма «Sego», а так же негативный контроль сопровождался облучением сыворотки крови рентгеновскими лучами мощностью 30 кGy. Частичка каждого клапана сердца подвергалась иммуно-прокраске с использованием анти-нанобактериальных антител 8Д10. Остальная часть клапана гомогенизировалась, фильтровалась и использовалась для культивирования. Культуры еженедельно просматривались под микроскопом. Культуральная среда в различные временные точки исследовалась спектрофотометрически. Культуры после 3 недель культивирования исследовались иммунофлюоресцентным методом с двойной прокраской анти-нанобактериальных антител 8Д10 с использованием трансмиссионной электронной микроскопии (ТЭМ).

В соответствии с полученными результатами авторов из 29 кальцинированных клапанов положительную прокраску на присутствие нанобактерий с анти-нанобактериальн культурой антител дали 26 кальцинированных клапанов, все нормальные не кальцинированные клапаны не содержали нанобактерий, т.е. были негативными. Подвижные тоненькие частицы были выявлены под микроскопом в группе с кальцинированными клапанами, оптическая плотность культуральной смеси между различными группами была статистически достоверной ( $P < 0,001$ ). В группе нанобактерий штамма «Sego» и в группе кальцинированных клапанов при двойной иммунофлюоресцентной окраске были выявлены типичные для нанобактерий зеленые флюоресцирующие колонии. Трансмиссионная микроскопия показала, что культивированные частицы из группы с кальцинированными клапанами имели размер от 88 до 342 нанометра. Они имели клеточную мембранную структуру. Таким образом авторами нанобактерии у больных ревматизмом были изолированы и культивированы в группе кальцинированных клапанов. Это проливает свет на механизмы патологической кальцинации клапанного аппарата у больных ревматизмом.

В соответствии с результатами первооткрывателей нанобактерий у человека и животных финских ученых во главе с А.О.Каяндером (1998) нанобактерии из класса хламидий в состоянии осаждать и кристаллизовать кальций в организме для постройки своей карбонат-апатитной оболочки в местах её колонизации.

Дело в подобной ситуации не ограничивается лишь патологической кальцификацией. По мнению финских ученых сама нанобактерия заключенная в каменную апатитную мантию выбрасывает патологический белок-олигопептид, который образует воспалительную пленку,



формирую вальвулы, способствует морфологическим изменениям клапанного аппарата, его разволокнению, укорочению хорд и воспалительным изменениям миокарда (Волков В.Т. 2004, Кожевников М.Л. и др. 2008). Учитывая участие нанобактерий в генезе глубоких морфологических изменений коллагена, в дезорганизации, разволокнения створок клапанов, гибели кардиомиоцитов миокарда, апоптозиса клеток (Kajander A.O., et al, 1998) и наших исследований создается четкое представление о причастности нанобактерии как одного, возможно определяющего фактора ревматизма и формирования ревматического порока сердца с активным участием патологической оссификации клапанного аппарата. Это весьма веская альтернатива устойчивому мнению ученых и широкой армии врачей современной медицины по поводу этиологической роли  $\beta$ -гемолитического стрептококка. Следует указать, что приведенные нами (Волков В.Т. и др. 2004) электронной микроскопии позволила выявить в оссифицированных клапанах, удаленных хирургическим путем у больных ревматизмом помимо колоний нанобактерий так же вирусные частицы (ассоциативный вариант представителей наномира). Естественно возникает вопрос их взаимодействия, учитывая, что как вирус, так и нанобактерия чрезвычайно инвазивны, а нанобактерия даже в состоянии проникать в ядро клетки ((Kajander A.O. et al, 1998) среди сторонников вирусной теории ревматизма помимо наших новосибирских ученых (Е.Залесский и др.) упоминаются Danielopolu, Wtembacher, Schlessinger, Kissll, Edelman и др. авторы основывают свои выводы на том, что в течение острого ревматизма никому не удавалось обнаружить в организме больных ревматизмом, какого либо агента, которому можно было бы приписать появления ревматизма. Copelman (1963) так и не удалось воспроизвести ревматизм у добровольце путем введения далеко не все исследователи расценивают Ашоф-Талалаевские гранулемы характерным морфологическим признаком ревматизма, (Цончев В. 1965) так как эти узлы определяются у пациентов, страдающих узелковым периартериитом, ревматоидным артритом (Ш.Т. Шуцяну 1983) иммунологические исследования, проведенные с целью выявления стрептококковых эндотоксинов в структуре гранулемы, не дали убедительных результатов (Ш.Т. Шуцяну и соавт. 1983).

По мнению многих специалистов, лечение антибиотиками пенициллинового ряда и сульфамидами ревматизма их эффективность не доказана (Schlessinger, Signy, Danielopolu и др.), оправдывает себя лишь профилактика ревматизма с помощью антибиотиков. Если считать, что природа ревматизма окажется нанобактериальной природы, то следует отметить, что согласно результатам исследований финских ученых (Kajander A.O. et al, 1998) нанобактерия резистентна ко всем антибиотикам, кроме тетрациклина, который сравнительно легко проникает сквозь апатитную оболочку и убивает нанобактерию. Таким образом при получении в дальнейшем твердых доказательств этиологической роли нанобактерии в генезе ревматизма открывается этиотропная, альтернативная терапия этого недуга и с учетом этапов иммунологических изменений в клапанном аппарате в том числе патологическую кальцинацию створок клапанов и их деформацию возможно надеяться поставить шлагбаум на пути формирования порока сердца и предупредить его с помощью применения нанобиотика ТХ (Gary Mezo 2004). В настоящее время его использование широко применяется во всем мире.

Большинство отечественных врачей и исследователей мало уделяют внимание патологической роли кальцификации несмотря на то, что она согласно статистике претендует на лидирующую роль в расстройствах здоровья. Вклад ее в большинстве заболеваний приводит к тому, что эти заболевания становятся смертельными, в том числе заболевания сердца, сахарный диабет, рак.

Из 60 миллионов американцев, имеющих кальциноз внутренних органов имеют как правило, оссифицирующую опухоль яичника и грудной железы у женщин в связи с чем диагностическая ценность патологической оссификации весьма высока, а кальциноз ревматических измененных клапанов, в том числе аорты, стеноз ее устья, формирование мочевых камней, желчных не является случайным пассивным процессом, а представляет собой регулируемый клеточный воспалительный процесс с активным участием нанобактерии и носит инфекционный характер, нередко ассоциированный с экспрессивностью остеобластных маркеров и неопластическим процессом.

#### Список использованной литературы:

1. Волков В.Т., Волкова Н.Н. и др. Болезни биоминерализации (новейшая экология). Изд-во «Тандем Арт». Томск 2004, 391с.
2. Волков В.Т., Волкова Н.Н. и др. Нанобактерия. Изд-во «Твердыня» Томск 2003, 358 с.
3. Волков В.Т., Волкова Н.Н. и др. Биоминерализация в организме человека и животных. Из-во «Тандем-Арт» Томск 2004, 496 с.

4. В.Т. Волков, Н.Н. Волкова, С.М. Шихман. Инфекционная теория новообразований и нанобактерия (перспективы исследований) // Сибирский медицинский журнал (Иркутск). – 2003. – Т. 26, № 6. – С. 9–20.
5. В.Т. Волков, Н.Н. Волкова, Ю.И. Сухих. Нанобактерия // Сибирский медицинский журнал. – 2003. – № 3. – С. 5-9.
6. Волков В.Т., Хламидийная теория атеросклероза: гипотеза Ослера и современные исследования // Сибирский медицинский журнал – 2004г. - № 2. – с 13-21.
7. Кожевников М.Л., Казаков В.А., Стасев А.Н., Суходоло И.В. Случаи нанобактериоза у больных с приобретенным ревматическим пороком сердца // Сибирский медицинский журнал (Томск). – 2008. – Т. 23, № 6. – С. 102–104.
8. Талалаев В.Т. Избранные труды. Медгиз. М., 1953.
9. Benedict S. Maniscabo and Karen A Tajol. Calcification in coronary artery disease can be. Reversed by EDTA – tetracycline long-term chemotherapy // Pathophysiology oct. 2004; 11(2): P.95-101
10. Ciftcioglu N., “Nanobacteria and man” Enigmatic microorganisms and life in extreme environments; Eds. J. Seckebach. Kluwer (the Nitherland) 1998

УДК 616.13-004.6

### Самоконтроль при вторичной профилактике сердечно-сосудистых заболеваний

*Т.В. Гуляева**ГУ НИИ кардиологии ТНЦ СО ГРАМН, г. Томск, Россия*

Лечебная гимнастика – это метод активной терапии, обеспечивающий реализацию лечебного и одновременно профилактического принципов здравоохранения. Известно, что эффективность процедур лечебной физкультуры определяется адекватностью видовой спецификации физических упражнений, объемом и мощностью физической нагрузки, индивидуальными функциональными способностями данного конкретного пациента. Если получаемая физическая нагрузка оказывается в рамках индивидуальной адекватности, то организм компенсирует её действие развёртыванием имеющихся у него резервных возможностей. Когда организм систематически испытывает определенные по объему и мощности физические нагрузки, происходит совершенствование функциональных систем, адаптация соответствующих органов и экономизация их функций.

Специальная литература [1–4] по целому ряду заболеваний дает рекомендации по комплектации средств и дозированию физической нагрузки. После применения на стационарном этапе процедуры лечебной гимнастики и других физических нагрузок, пациентам рекомендуется продолжать двигательную активность и дальше, после выписки из стационара. В этот период большую роль играет умение следить за своим здоровьем и контролировать функциональное состояние при самостоятельных занятиях. Для этого необходимо знать основные параметры нагрузки: исходное положение, которое в значительной степени определяет уровень общей физической нагрузки; темп выполнения и ритм, который может как увеличить, так и уменьшить действие упражнений на организм. Такое же влияние оказывает амплитуда и степень отягощения. Числом повторов упражнений и длительностью процедур можно регулировать мощность физической нагрузки и др.

Существуют простые способы проверки своего функционального состояния: работа сердца, о которой можно судить по частоте сердечных сокращений (ЧСС); артериальное давление (АД); частота дыхания и общее самочувствие. По изменению этих показателей можно самостоятельно контролировать мощность нагрузки и своевременно корректировать её, что позволяет избежать ухудшения общего состояния. Сегодня дозирование ведется по принципу индивидуальных особенностей организма. Величина рабочей частоты сердечных сокращений (ЧСС), то есть тренировочный пульс, вычисляется по показателю индивидуального функционального резерва сердца (ИФРС). ИФРС рассчитывается следующим образом:

$$\text{ИФРС} = 190 - \text{возраст (в годах)} - \text{ЧСС}_{\text{сисх.}} \text{ (в покое за 1 мин.)},$$

где: рабочая ЧСС =  $\text{ЧСС}_{\text{сисх.}} + K * (\text{ИФРС})$ ,

K-коэффициент (допустимый прирост ЧСС в % к уровню  $\text{ЧСС}_{\text{сисх.}}$ ).

На стационарном этапе коэффициент зависит от лечебно-охранительного режима и колеблется в пределах от 11% при постельном и до 40-50% при общем режиме, при этом контроль осуществляется врачом методистом-инструктором по лечебной физической культуре. После

выписки пациенты переходят на дальнейшие этапы реабилитации, где допустим прирост ЧСС к уровню ЧССисх. от 50 до 70-75% от ИФРС.

Хорошее здоровье надо зарабатывать с помощью физической культуры, какую бы форму она не принимала. Умение применять практически те или иные средства физической культуры в режиме труда и отдыха, умение применять гигиенические и закаливающие процедуры, средства самоконтроля за состоянием своего здоровья, помогают продолжить жить активно и творчески.

**Список использованной литературы:**

1. Лечебная физическая культура. Под. Ред. С.Н. Попова. Учебник для институтов физической культуры. М «ФИС» 1988г.
2. В.Г. Постоловский, В.М. Дорточев. Учебное пособие для врачей, методистов, преподавателей лечебной физкультуры. Кинезотерапия в системе медицинской реабилитации. Санкт-Петербург СПбМАПО 2000г.
3. Мотков В.Н. Общие основы лечебной физкультуры М.Медгиз 1963.
4. Лечебная физкультура и врачебный контроль: под ред. ВА Епифанова Учебник М. медицина 1990

УДК 616.13-004.6-02.621.37

**Сравнительная характеристика артериального давления, роста, веса, массы тела и основных показателей липидного спектра крови студентов г. Томска**

*И.Н. Конобеевская, Т.В. Гуляева*

*ФГБУ «НИИ кардиологии» СО РАМН, г. Томск, Россия*

*E-mail: kin@cardio.tsu.ru*

Решение вопросов первичной профилактики сердечнососудистых заболеваний связано с определением состояния здоровья или, в первую очередь, практически с установлением границ нормы различных показателей, причем, в эпидемиологических исследованиях с целью единого методического подхода и однотипной трактовки данных целесообразно определять их для каждой популяции. Необходимо ответить на вопрос, какие уровни артериального давления, роста, веса, холестерина крови и т.п. являются нормой в соответствии с возрастом, полом, местом проживания, видом трудовой деятельности и т.д. Отсутствие соответствующих нормативных данных затрудняет оценку региональных особенностей, возможность сравнения различных популяций и стратегию профилактики. В связи с этим, изучение характеристик основных физиологических показателей у студентов, в зависимости от возраста и пола, представляло определенный интерес.

По стандартной методике на скрининге обследовано 2650 студентов (90% случайная выборка); из них 1075 юношей (средний возраст  $19,9 \pm 0,1$  лет) и 1575 девушек (средний возраст  $19,6 \pm 0,1$  лет,  $p < 0,02$ ). В первой возрастной группе (17-19 лет) оказалось 750 студентов (69,8%) и 816 студенток (51,8%), остальные составили вторую группу лиц (20-25 лет). При оценке показателей использовались процентильные распределения. Для каждой возрастной группы изучались средние уровни, определялись границы нормы (от 10 до 90% значений показателей), пограничные уровни (от 90 до 94% значений) и патологические ( $\geq 95\%$  значений).

Анализ средних значений и процентильных распределений уровней артериального давления у студентов показал возрастание систолического артериального давления (САД) от  $119 \pm 0,7$  у студентов 17 лет до  $124,4 \pm 1,3$  мм рт.ст. у студентов 25 лет ( $p < 0,002$ ). Отмечалось превышение уровней САД во второй группе по сравнению с группой 17-19 лет ( $p < 0,02$ ) и у лиц 25 лет по сравнению с групповыми и среднепопуляционными результатами. Средние значения составили  $120,2 \pm 0,3$ , а границы нормы колебались от 108 до 133 мм рт.ст. Следует отметить, что хотя в некоторых возрастных группах (18, 23 года) 90%-ные значения САД приближались к величине, указанной ВОЗ, в среднем как по группам, так в целом по выборке, значения, полученные у студентов Томска, несколько ниже рекомендуемых ВОЗ [1]. Отрезные точки для пограничной артериальной гипертензии (ПАГ) колебались в пределах 134 -139, для артериальной гипертензии (АГ) равны или превышали 140 мм рт.ст. У студенток уровни САД оказались существенно ниже во всех возрастных группах по сравнению со студентами ( $p < 0,001$ ). Распределение процентильных уровней свидетельствовало о более постоянных значениях САД, за исключением лиц 22 и 23 лет, у которых показатели достоверно превышали групповые и

популяционные результаты ( $p < 0,001$ ). Средние значения составили  $112,7 \pm 0,3$  мм рт.ст. Показатели границ нормы также сдвинуты в сторону меньших величин и колебались в пределах 100-124 мм рт.ст. Отрезные точки для ПАГ составили 125 - 129, для АГ равны или превышали 130 мм рт.ст. Средние показатели диастолического артериального давления (ДАД) у студентов составили  $74,5 \pm 0,3$  мм рт.ст., существенно не отличались, за исключением возраста 19 лет, где отмечены наиболее высокие значения, а также превышения уровня показателя у второй группы ( $75,3 \pm 0,4$  и  $74,1 \pm 0,3$  мм рт.ст.  $p < 0,02$ ). Границы нормы составили 63-83, отрезные точки для ПАГ колебались в пределах 84-85, для АГ равнялись или превышали 86 мм рт.ст. Средние уровни ДАД у студенток составили  $71,3 \pm 0,2$ , существенно не отличаясь за исключением возраста 22 лет, когда отмечалось повышение до  $73,6 \pm 1,0$  мм рт.ст. ( $p < 0,05$ ). Следует отметить, что во всех возрастных группах они были ниже по сравнению с таковыми у студентов ( $p < 0,001$ ). Границы нормы колебались от 60 до 80, отрезные точки для ПАГ соответствовали значениям 81-82, для АГ равнялись или превышали 83 мм рт.ст. Таким образом, следует отметить, что в среднем как по группам, так и в целом по выборке значения АД, полученные у студентов и студенток г. Томска, были несколько ниже критериев, рекомендуемых ВОЗ [2].

Средние показатели роста в группах студентов существенно не различались и составляли  $176,8 \pm 0,3$  для первой и  $176,5 \pm 0,4$  см для второй возрастной групп. Границы нормы соответствовали 168-185 см. Средние уровни роста в группе студенток были существенно ниже, чем у студентов, но в целом по группам не различались. Границы нормы находились между 156-171 см. Средние показатели веса у студентов во второй возрастной группе (20-25 лет) были выше как данных первой группы ( $p < 0,001$ ), так и средне популяционных. Границы нормы соответствовали 60-81 кг. В группе студенток показатели веса не различались в возрастном аспекте, а в сравнении с выборкой студентов имели достоверно меньшие значения. Границы нормы составили 50-71 кг. Весоростовой показатель - индекс Кетле во второй возрастной группе у студентов был существенно выше ( $22,9 \pm 0,3$  и  $21,9 \pm 0,1$ ,  $p < 0,001$ ), причем наиболее высокий уровень отмечен у студентов в возрасте 24 лет ( $24,3 \pm 0,5$  кг/м<sup>2</sup>) в сравнении с групповыми ( $p < 0,01$ ) и популяционными значениями ( $22,2 \pm 0,07$  кг/м<sup>2</sup>,  $p < 0,001$ ). Границы нормы колебались от 19,6 до 25 кг/м<sup>2</sup>. В данном случае имелось полное совпадение с критериями ВОЗ. В группе студенток средние показатели не имели существенных различий. Границы нормы соответствовали 19,1-25,9 кг/м<sup>2</sup>. Следует отметить, что хотя по показателям роста и веса студенты значительно превышали аналогичные данные студенток, интегральный показатель Кетле у последних был несколько выше ( $22,4 \pm 0,07$  кг/м<sup>2</sup>,  $p < 0,05$ ).

Содержание холестерина (ХС) крови у студентов было сравнительно невысоким  $4,83 \pm 0,05$  и имело некоторую тенденцию к повышению с возрастом от  $4,74 \pm 0,09$  до  $5,29 \pm 0,31$  ммоль/л, но существенных различий между группами не выявлено. Обращали внимание высокие границы нормы этого показателя  $6,24$  ммоль/л ( $247,5$  мг%) и критериев гиперхолестеринемии, что значительно превышало цифры, рекомендуемые ВОЗ [3]. В группе студенток существенных различий в содержании ХС не выявлено, но в сравнении с показателями у студентов они достоверно выше, как в целом по популяции, так и особенно в первой возрастной группе ( $5,15 \pm 0,05$  и  $5,28 \pm 0,14$  ммоль/л,  $p < 0,001$ ). Также отмечался высокий уровень границ нормы  $6,78$  ммоль/л ( $262,2$  мг%) и гиперхолестеринемии, что на  $1,06$ - $1,68$  ммоль/л превышало цифры, рекомендуемые ВОЗ. Показатели средних значений содержания триглицеридов (ТГ) в группах студентов существенно не различались, за исключением более низкого уровня в возрасте 24 лет ( $1,02 \pm 0,09$  ммоль/л,  $p < 0,01$ ). Распределение процентильных отрезков также подтверждало отсутствие значительных отличий и некоторое снижение показателя только у 24-летних студентов. Границы нормы находились в пределах  $0,79$ - $1,75$  ммоль/л ( $70$ - $155$  мг%) и были близки к рекомендуемым ВОЗ. Аналогичные результаты получены у студенток. Возрастные колебания показателя были несущественными, средние значения идентичны данным, полученным у студентов ( $1,23 \pm 0,02$  и  $1,24 \pm 0,02$  ммоль/л). Границы нормы составили  $0,78$ - $1,73$  ммоль/л ( $69$ - $153$  мг%) и показатели гипертриглицеридемии (ГТГ) полностью совпадали с соответствующими данными у студентов и также были близки к критериям ВОЗ. Показатели ХС ЛПВП у студентов в различных возрастных группах существенно не отличались за исключением группы в 23 года, где отмечено превышение среднего уровня с  $1,29 \pm 0,02$  до  $1,49 \pm 0,09$  ммоль/л,  $p < 0,05$ . Граница нормы составила  $0,84$  ммоль/л ( $32$  мг%) и была ниже цифр, рекомендуемых ВОЗ. У студенток показатели существенно не различались. Средний уровень равнялся  $1,41 \pm 0,02$  ммоль/л. Граница нормы составила  $0,93$  ммоль/л ( $36$  мг%) и хотя отличалась от таковой у студентов, была близка к критериям ВОЗ.

Содержание холестерина липопротеидов низкой плотности (ХС ЛПНП) у студентов равнялось  $3,02 \pm 0,05$  ммоль/л несколько повышаясь с возрастом от  $2,86 \pm 0,08$  до  $3,49 \pm 0,32$  ммоль/л, средние значения показателя (за исключением у 20-летних студентов) существенно не различались. Верхняя граница нормы составила 4,35 ммоль/л. Следует отметить, что у студенток отмечалось существенное превышение показателей во всех возрастных группах в сравнении со студентами ( $p < 0,001$ ). Границы нормы также были более высокими и составили 2,12-4,83 ммоль/л. Наибольший интерес представляла характеристика коэффициента атерогенности (КА), указывающая на соотношение атерогенных и неатерогенных липидных фракций крови. У студентов отмечалось некоторое возрастное повышение индекса от  $2,76 \pm 0,09$  до  $3,93 \pm 0,63$ , но существенным был подъём значений показателя только у 19-летних студентов ( $p < 0,01$ ). Верхняя граница нормы была сдвинута в сторону больших значений и составила 4,88 отн.ед. Достоверно меньшими эти показатели были у студенток. Распределение процентилей КА свидетельствовало об отсутствии существенных возрастных колебаний у изучаемой выборки студенток. Верхняя граница нормы была также высокой и составила 4,24 относительные единицы. Из вышесказанного следует, что у студентов и студенток по большинству показателей имелись существенные отличия. У студентов отмечались более высокие цифры САД, ДАД, роста, веса, КА; у студенток - содержания ХС, ХС ЛПНП, ХС ЛПВП и ИМТ. Показатели ТГ были идентичными.

Таким образом, региональными особенностями томских студентов являются сдвиги в сторону низких значений уровней АД. Границы нормы показателей диастолического артериального давления несколько ниже соответствующих критериев, рекомендуемых ВОЗ [4,5]. Обращают внимание и наиболее атерогенные характеристики липидтранспортной системы крови, заключающиеся в более высоком как среднем содержании ХС и ТГ крови, в группе юношей 4,83 и 1,24 и в группе девушек 5,13 и 1,23 ммоль/л, так и границ нормы этих показателей. Указанные особенности целесообразно учитывать при выделении групп риска, мониторинге и профилактических вмешательствах у данной группы населения.

#### Резюме:

1. Оптимальные величины (границы нормы) для показателей АД, ИМТ у студентов Томска находятся в пределах 108/63 - 133/83 мм рт.ст. и 19,6 - 25,0 кг/м<sup>2</sup>; у студенток - соответственно 100/60 - 124/80 мм рт.ст. и 19,1 - 25,9 кг/м<sup>2</sup>. Для показателей липидного спектра крови ХС, ХС ЛПВП, ТГ, ХС ЛПНП, КА эти цифры составляют у студентов 3.64 - 6.24; 1.06 - 1.96; 0.79 - 1.66; 1.88 - 4.35; 1.65 - 4.88; у студенток - соответственно 3.74 - 6.78; 1.14 - 2.08; 0.78 - 1.65; 2.12 - 4.82; 1.61 - 4.24 ммоль/л.
2. Зоной умеренного риска (пограничные результаты) для тех же показателей у студентов являются значения 134/84 - 139/85 мм рт.ст.; 25,1 - 26,3 кг/м<sup>2</sup> и 6.25 - 6.76; 0.85 - 1.05; 1.67 - 1.75; 4.36 - 4.81; 4.89 - 5.72; у студенток - соответственно 125/81 - 130/82 мм рт.ст.; 25.9 - 27.6 кг/м<sup>2</sup> и 6.79 - 7.38; 0.94 - 1.13; 1.66 - 1.73; 4.83 - 5.19 и 4.25 - 4.78 ммоль/л.
3. Зоной высокого риска (патологические результаты) у студентов являются для АД значения  $\geq 140/86$  мм рт.ст.; ИМТ  $\geq 26,4$  кг/м<sup>2</sup>; ОХС  $\geq 6.77$ ; ХС ЛПВП  $\leq 0.84$ ; ТГ  $\geq 1.76$ ; ХС ЛПНП  $\geq 4.82$  ммоль/л, ИА  $\geq 5,73$  отн. ед.; для студенток - соответственно 131/83; 27.7; 7.39; 0.93; 1.74; 5.20; 4.79.
4. Региональными особенностями томских студентов являются сдвиги в сторону низких значений уровней АД и наиболее атерогенные характеристики липидтранспортной системы крови, заключающиеся в более высоком содержании ХС и ТГ крови, в группе юношей  $4,83 \pm 0,04$  и  $1,24 \pm 0,02$  и в группе девушек  $5,13 \pm 0,05$  и  $1,23 \pm 0,02$  ммоль/л соответственно.

#### Список используемой литературы:

1. Руководство по профилактике в практическом здравоохранении. Адаптированный вариант рекомендаций ВОЗ «Prevention in primary care» / Под ред. И.С. Глазунова, Р.Г. Оганова, Н.В. Перовой, Р.А. Потемкиной. Государственный научно-исследовательский центр профилактической медицины Минздрава РФ. – М., 2000. – 216с.
2. 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)).
3. Кухарчук В.В. (от имени группы экспертов ВНОК) Российские рекомендации «Диагностика и коррекция нарушений липидного обмена с целью профилактики и лечения атеросклероза» // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. - 2004. - № 3 (2). – С. 133-144.
4. Эпидемиологические методы изучения сердечно-сосудистых заболеваний / Роуз Д. [и др.]; пер. с англ. - Женева: ВОЗ, 1984. - 224 с.

5. Конобеевская И.Н. Региональные особенности факторов риска сердечнососудистых заболеваний у студентов // Коронарная и сердечная недостаточность, коллективная монография под ред. Р.С. Карпова. Томск: СТТ. - 2005. С. 636-644.

УДК 616-002-092:577.121

**Воспалительный процесс в патогенезе метаболического синдрома**

**Б.Ю. Мурашев<sup>1</sup>, И.Д. Беспалова<sup>1</sup>, Н.В. Рязанцева<sup>1</sup>, В.В. Новицкий<sup>1</sup>, В.В. Калюжин<sup>1</sup>, Ю.А. Медянцева<sup>2</sup>, И.А. Осихов<sup>1</sup>, Д. С. Афанасьева<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>ГБОУ ВПО СибГМУ Минздрава России, Томск

<sup>2</sup>МУЗ «Томская центральная районная больница», Томск

**E-mail: [salag2008@yandex.ru](mailto:salag2008@yandex.ru)**

Проведен анализ современной научной литературы. Глубоко изучена роль воспаления в патогенезе метаболического синдрома и ассоциированных с ним заболеваний. Установлено, что ряд аспектов данного направления требуют дальнейшего изучения и уточнения.

Метаболический синдром (МС) – одна из наиболее значимых проблем современной медицины, так как является комплексом факторов риска развития и тяжелого течения ряда социально значимых заболеваний, основных причин высокой смертности. [1-3, 19]. Представления об этой проблеме 21 века подошли в настоящее время к своеобразному кризису, связанному с «перепроизводством» непрерывно обновляющейся информации о возможных проявлениях и отсутствии общепринятой доказанной концепции его патогенеза [16]. 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 последнее время в литературе широко обсуждается новая концепция патогенеза об ассоциации инсулинорезистентности и абдоминального ожирения с хроническим вялотекущим воспалительным процессом, опосредованным участием цитокинов и белков острой фазы, вырабатываемых печенью в ответ на стимуляцию цитокинами. Трактовка значимости воспаления в патогенезе МС и ассоциированных с ним заболеваний (атеросклероз, сахарный диабет 2 типа (СД 2 типа) и др.) существенно расширилась и охватывает не только локальные воспалительные реакции (эндотелий сосудов и жировая ткань), но и системное воспаление, которое, в отличие от локального, более демонстративно и доступно для исследования в условиях клиники [1, 12, 13]. Однако до сих пор не ясно, 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-6 (ИЛ-6) [4, 5, 6].

Воспаление может быть связующим звеном между метаболическими нарушениями и сердечно-сосудистыми заболеваниями. Исследования последних лет свидетельствуют о важной роли воспалительных реакций и активации иммунной системы в развитии СД 2 типа и ассоциированных с ним состояний, таких как инсулинорезистентность (ИР), центральное ожирение, дислипидемия, артериальная гипертензия (АГ), атеросклероз [21, 22]. Хроническое воспаление – состояние повышенной работы иммунной системы [22]. Выявлено, что в результате действий различных экзогенных инфекционных факторов у пациентов с ожирением, с АГ, ИБС, СД 2 типа более часто нарушаются функции иммунной системы. Люди, страдающие ожирением, чаще подвергаются инфекционным заболеваниям. При увеличении степени ожирения — уменьшается абсолютное число Т-лимфоцитов и их функциональная активность, увеличивается также абсолютное количество В-лимфоцитов, повышается уровни гранулоцитов и моноцитов. Повышается уровень фагоцитоз, циркулирующих иммунных комплексов (ЦИК) и системы комплемента сыворотки крови. Такое нарушение гомеостаза на молекулярно клеточном уровне вызывает поражение сосудов посредством образования активных молекулярных соединений, таких как анафилоксины, протеолитические ферменты и супероксидные радикалы. Исследования по оценке уровня иммуноглобулинов у пациентов с ожирением и МС показывают очень противоречивые результаты [15-19]. Стимулирующая продукция интерферона- $\gamma$ , ИЛ-1, ИЛ-6 имеет более высокий уровень у пациентов с ожирением, чем у лиц с нормальной массой тела. Развитию микрососудистых и сердечно-сосудистых осложнений у пациентов с СД может

способствовать окислительный стресс [20], который, в частности, способен инициировать отклонения в секреции и активности инсулина [20]. Основными цитокинами, участвующими в патогенезе одного из компонентов метаболического синдрома, такого как, СД 2 типа, являются ИЛ-1 $\beta$ , ФНО- $\alpha$ , ИЛ-6. В отличие от экспериментальных исследований не подтверждена роль ИЛ-1 $\beta$  в апоптозе  $\beta$ -клеток у человека [9, 11]. ИЛ-1 $\beta$  усиливает токсичность неэстерифицированных ЖК [18].

Наличие хронического неспецифического воспаления при ожирении [7, 8], ИР, СД 2 типа [15, 16] и ранних стадиях атеросклероза [15, 16] позволяет рассматривать воспаление как связующее звено между абдоминальным ожирением, метаболическими нарушениями и сосудистыми заболеваниями [3]. 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 [4-11].

Висцеральная жировая ткань секретирует огромное количество биологически активных веществ - адипокинов: лептин; ФНО- $\alpha$  (кахексин), который влияет на синтез, секрецию, активность других цитокинов [4-11]. ФНО- $\alpha$  нарушает инсулиночувствительность и стимулирует липолиз [14]. Кроме того, ФНО- $\alpha$  приводит к увеличению адгезии лейкоцитов к эндотелию [13], активации воспалительных путей, опосредованных нуклеарным фактором- $\kappa$ B [15, 16], увеличению экспрессии адгезионных молекул и эндотелина-1, экспрессии матричных металлопротеиназ [17], подавлению экспрессии NO-синтазы; интерлейкины-1, 6, 8 (ИЛ-1, 6, 8); ингибитор активатора плазминогена I типа (ИАП-I); ангиотензин II; резистин; адипсин; белок, родственник протеину агути; трансформирующий фактор роста- $\beta$  (ТФР- $\beta$ ); адипофилин; адипонектин; перилипид. Главным иммунонейроэндокринным регулятором является лептин. Активная выработка лептина является маркером воспаления и поражения жировой ткани, ведет к сдвигу редокс-состояния организма в прооксидантную сторону (с последующей гиперпродукцией перекисных соединений) [20]. Таким образом лептин при ожирении может быть главным патогенетическим фактором в развитии инсулинорезистентности и нарушении метаболизма липидов и глюкозы [3, 13]. ФНО- $\alpha$  выполняет роль медиатора ИР при ожирении и МС, синтезируется в адипоцитах и макрофагах. 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. Установлено, что продукция ИЛ-6 висцеральной жировой тканью сальника примерно в 2-3 раза превышает, чем продукция подкожной жировой ткани. Причем, ИЛ-6 выполняет как противо-, так и провоспалительное действия [19, 22], а дисрегуляция ИЛ-6 может играть как защитную, так и провоцирующую роль в развитии воспаления [16]. Считается, что повышение уровня ИЛ-6 приводит к увеличению ИР за счет подавления GLUT4 [20]. Про- и противовоспалительные эффекты ИЛ-6 позволяют предположить, что ИЛ-6 нивелирует воспаление низкой степени выраженности, индуцированное другими провоспалительными медиаторами. Повышенные при МС и ожирении уровни ФНО- $\alpha$ , ИЛ-6, СРБ-*hs* и других воспалительных медиаторов доказывают, что МС - воспалительное состояние в организме [4-8].

Макрофаги и адипоциты влияют на высокую степень развития воспалительных и метаболических механизмов в организме при ожирении. По функциональным способностям эти клетки схожи. Ряд исследователей предполагают, что миграция макрофагов в жировую ткань – это особенность не только ожирения, но и других воспалительных процессов, что требует дальнейшего изучения [12].

Однако вклад воспаления жировой ткани (ВЖТ) 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 (ЖТ) 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).

#### Список используемой литературы:

1. Бутрова С.А. Висцеральное ожирение - ключевое звено метаболического синдрома // Ожирение и метаболизм.- 2004.-№ 1.-С. 10-16.
2. Зайчик А.Ш. Патохимия (эндокринно-метаболические нарушения) Учебник для студентов медицинских вузов. Изд. 3-е, дополненное и исправленное. – Спб.: ЭЛБИ-СПб, 2007. – 768 с.
3. Строев Ю.И. Классические и современные представления о метаболическом синдроме. Часть 2. патогенез // Вестник Санкт-Петербургского университета. – 2007.- Вып.4 – С. 3 – 14

4. Шварц В. Я. Воспаление жировой ткани (часть 1). Морфологические и функциональные проявления. // Проблемы эндокринологии. – 2009. – Т. 55, № 4. – С. 44-49.
5. 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.
6. Шварц В. Я. Воспаление жировой ткани (часть 3). Патогенетическая роль в развитии атеросклероза. // Проблемы эндокринологии. – 2009. – Т. 55, № 6. – С. 40-45.
7. Шварц В.Я. Воспаление жировой ткани (часть 4). Ожирение — новое инфекционное заболевание? (обзор литературы). // Проблемы эндокринологии. – 2011. - № 5. – С. 63 – 71.
8. Шварц В.Я. Воспаление жировой ткани (часть 5). Взаимосвязь с физиологической инсулинрезистентностью. // Проблемы эндокринологии. – 2011. - № 6 – С. 64 – 70.
9. Шварц В. Я. Жировая ткань как орган иммунной системы. // Цитокины и воспаление. – 2009. – Т. 8, № 4. – С. 3-10.
10. Шварц В. Я. Регуляция метаболических процессов интерлейкином 6. / В. Я. Шварц // Цитокины и воспаление. – 2009. – Т. 8, № 3. – С. 3-10.
11. Шварц В. Я. Физиологическая и патологическая роль рецепторов врожденной иммунной системы жировой ткани. // Патологическая физиология и экспериментальная терапия. – 2010. - № 3. – С. 45-51.
12. Юренко А.В. Связь медиаторов воспаления с компонентами метаболического синдрома у больных хроническим холециститом // Современные наукоёмкие технологии. – 2008. - № 2. – С. 79.
13. Aldhahi W. Adipokines, inflammation, and the endothelium in diabetes. // Current diabetes reports. – 2003. – Vol. 3. – P. 293–298.
14. 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.
15. Grimble R.F. Inflammatory status and insulin resistance // Curr. Opin. Clin. Nutr. Metab. Care.- 2002.-N. 5.-P. 551-559.
16. Lyon C.J. Adiposity, inflammation, and atherogenesis // Endocrinology.-2003.-V. 144.-P. 2195-2200.
17. Neels J.G. Inflamed fat: what starts the fire? // J. Clin. Invest. -2006.-V. 116.-P. 33-35.
18. Pickup J.C. Is type II diabetes mellitus a disease of the innate immune system? // Diabetologia. – 1998. – Vol. 41. – P. 1241–1248.
19. Weisberg S.P. Obesity is associated with macrophage accumulation in adipose tissue. // J. Clin. Invest.- 2003.-V.112.-P.1796-1808.
20. Wellen K.E. Inflammation, stress, and diabetes // J. Clin. Invest.-2005.-V. 115.-P. 1111-1119.
21. Xu H. Chronic inflammation in fat plays a crucial role in the development of obesity-related insulin resistance // J Clin Invest. -2003. -V. 112. -P. 1821-1830.
22. 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.

УДК 616.38-056.257-092:616-018.26-002

#### **Роль воспаления жировой ткани в патогенезе абдоминального ожирения**

***И. А. Осиков, И. Д. Беспалова, Б. Ю. Мурашев, Д. С. Афанасьева***

*ГБОУ ВПО Сиб ГМУ Минздрава России, г. Томск,*

***E-mail: [osikhov.25-88@yandex.ru](mailto:osikhov.25-88@yandex.ru)***

На основании данных литературы показана актуальность проблемы распространения и развития ожирения как компонента метаболического синдрома. Приведены современные представления о роли воспаления жировой ткани при развитии метаболического синдрома у больных с абдоминальным типом ожирения. Кратко описаны механизмы, приводящие к развитию воспалительного процесса в жировой ткани, его влияние на метаболические пути в организме.

В настоящее время ожирение является одним из самых распространённых хронических заболеваний в мире: по данным Всемирной организации здравоохранения к началу XXI века избыточную массу имело около 30% населения планеты. С наиболее значимыми медицинскими последствиями ожирения – сахарным диабетом 2 типа и сердечно-сосудистыми заболеваниями связаны высокие показатели потери трудоспособности и преждевременной смертности в современном мире [4, 7]. Растущая распространённость ожирения в развитых странах удвоилась за



последние 20 лет. Высокая частота нарушений углеводного и липидного обменов, артериальной гипертонии на фоне ожирения свидетельствуют об актуальности исследования проблемы метаболического синдрома. Метаболический синдром – это комплекс метаболических, гормональных и клинических нарушений, тесно связанных с риском развития и неблагоприятного течения целого ряда, распространенных социально-значимых заболеваний, среди которых особое место занимают сердечно-сосудистые заболевания и сахарный диабет 2 типа. На сегодняшний день проведены ряд исследований метаболического синдрома у разных возрастных групп, однако многие патогенетические аспекты формирования этого симптомокомплекса остаются малоизученными. Согласно дефинициям Международной диабетической ассоциации и Всероссийского научного общества кардиологов абдоминальное (висцеральное, центральное) ожирение является основным, обязательным критерием метаболического синдрома [1, 9]. Представления о роли жировой ткани в организме в последнее время существенно изменились. Результаты интенсивно проводимых в течение последнего десятилетия показали, что жировая ткань весьма активна в метаболическом аспекте и не является инертным органом, служащим для накопления и хранения энергетических субстратов. Жировая ткань отличается весьма интенсивными и непрерывно протекающими процессами усвоения и синтеза триглицеридов и жирных кислот, липолиза и выделения этих субстанций. Жировая ткань хорошо васкуляризирована и при ожирении находится в метаболически активном состоянии и может влиять на функцию других органов, включая сосудистую стенку во всем организме. В жировой ткани синтезируется ряд пептидных гормонов – адипокинов, включая лептин, адипонектин, резистин, висфатин, а также цитокинов (фактор некроза опухоли –  $\alpha$ , интерлейкин-1 $\beta$ , -6, -8), хемокинов (монокитарный хемотаксический белок-1), факторов роста (трансформирующий фактор роста  $\beta$ ) и других соединений, обладающих эндокринным, паракринным и аутокринным действием [5, 6, 8]. Одним из процессов, объединяющих абдоминальное ожирение и инсулинорезистентность, является хроническое субклиническое воспаление. Экспериментальные и клинические исследования, проведенные за последние годы, выявили, что сдвиг секреции адипокинов и их метаболизма при абдоминальном ожирении приводит к воспалению жировой ткани, рассматриваемое как следствие и причина ожирения и связанных с ним многочисленных заболеваний [11]. Воспалительный процесс, главным образом, влияет на метаболическую и секреторную функцию жировой ткани и играет ведущую роль в развитии сопровождающих ожирение патологических процессов: атеросклероза, метаболического синдрома, сахарного диабета 2 типа. Основное внимание уделяется феномену развития воспаления в жировой ткани у тучных людей. В их организме адипокины вносят существенный вклад в развитие «тлеющего» хронического воспалительного процесса в жировой ткани [2]. Подтверждением воспаления жировой ткани является её клеточная инфильтрация с накоплением нейтрофилов, лимфоцитов и макрофагов, которые являются источниками провоспалительных цитокинов. Повышенная секреция воспалительных медиаторов при абдоминальном ожирении поддерживает хроническое воспаление жировой ткани. Однако, последовательность событий, приводящих к появлению воспалительных процессов в жировой ткани, и как данные события регулируются, остаются до конца не изученными [10]. Помимо локальных изменений при воспалении жировой ткани происходит фиброз, изменения микроциркуляции, нарушения метаболизма жировой ткани, а также повышение в крови уровня неспецифических маркеров воспаления как С-реактивный белок, фибриноген, коррелирующих с выраженностью процесса [3].

Таким образом, изучение патогенеза воспаления жировой ткани при абдоминальном ожирении является актуальной задачей современной патофизиологии. Решение ее позволит глубже понять клеточные и молекулярные механизмы воспаления жировой ткани, оценить вклад жировой ткани в системный воспалительный ответ, который в отличие от локального воспаления более демонстративен и доступен для исследования в клинических условиях. Эти знания будут способствовать повышению качества диагностики, разработать диагностические критерии активности воспаления при метаболическом синдроме, а также откроют перспективы для разработки новых подходов к лечению абдоминального ожирения.

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).

#### Список используемой литературы:

1. Всероссийское научное общество кардиологов. Рекомендации экспертов всероссийского научного общества кардиологов по диагностике и лечению метаболического синдрома. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2009. – 32 с.

2. Кондаков И.К., Коваль С.Н., Снегурская И.А. К проблеме метаболического синдрома. Жировая ткань и маркеры острой фазы воспаления // Артериальная гипертензия. – 2009. – №3(5). – С. 39-42.
3. Шварц В. Воспаление жировой ткани (часть 1). Морфологические и функциональные проявления // Проблемы эндокринологии. – 2009. – Т. 55. – № 4. – С. 44-49.
4. Fruhbeck G., Ambrosi J. et al. The adipocyte: a model for integration of endocrine and metabolic signaling in energy metabolism regulation // Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab. – 2001. – Vol. 280. – P. 827-847.
5. Kiess W., Petzold S., Topher M., et al. Adipocytes and adipose tissue // Best Practice and Research Clinical Endocrinology and Metabolism. – 2008. – Vol. 22. – P. 135-153.
6. Lucas S., Verwaerde C., Wolowczuk I. Is the Adipose Tissue the Key Road to Inflammation? // Immunology and Immunogenetics. – 2009. – Vol. 1. – P. 3-14.
7. Raitakari O.T., Juonala M., Viikari J.S. Obesity in childhood and vascular changes in adulthood: insights into Cardiovascular Risk in Young Finns Study // Int. J. Obes. (London). – 2005. – Vol. 29. – P. 101-104.
8. Rasouli N., Kern P.A. Adipocytokines and the Metabolic Complications of Obesity // J. Clin. Endocrinol. Metab. – 2008. – Vol. 93. – P. 64-73.
9. Rosenzweig J.L., Ferrannini E., Grundy S.M., et al. Primary prevention of cardiovascular disease and type 2 diabetes in patients at metabolic risk: an Endocrine Society clinical practice guideline // J. Clin. Endocrinol. Metab. – 2008. – Vol. 93. – P. 3671-3689.
10. Suganami T., Ogawa Y. Adipose tissue macrophages: their role in adipose tissue remodeling // Journal of Leukocyte Biology. – 2010. Vol. 10. – P. 1-7.
11. Zeyda M., Stulnig T.M. Obesity, Inflammation, and Insulin Resistance – A Mini-Review // Gerontology. – 2009. – Vol. 55. – P. 379-386.

УДК 613.646/.647:628:727(571.16)

**Гигиеническая оценка микроклимата и искусственного освещения  
в образовательных учреждениях г. Томска**  
**Т.В. Андропова, О.В. Сафронова, Л.П. Волкотруб**  
*Сибирский государственный медицинский университет, г. Томск, Россия*  
**E-mail: tvandro@mail.ru**

Дана оценка параметров микроклимата и искусственной освещенности в основных помещениях образовательных учреждений г. Томска. Предложены рекомендации по улучшению воздушно-теплого режима и искусственного освещения в исследованных учреждениях.

Закон РФ «Об образовании» (2012) предоставил образовательным учреждениям возможность выбора программ и методов обучения, в связи с этим вводятся новые технологии обучения, существенно увеличиваются объем и сложность учебной нагрузки. Проблема физиологической стоимости этой нагрузки актуально в связи с тем, что с введением инновационных преобразований в большинстве случаев адекватно не меняется уровень санитарно-гигиенического состояния этих учреждений, в которых дети проводят большую часть дня.

Цель настоящей работы: оценить санитарно-гигиенические условия обучения в образовательных учреждениях г. Томска.

Объектом исследования явились показатели микроклимата (температура и относительная влажность воздуха) и искусственной горизонтальной и вертикальной освещенности в различных помещениях 8 детских образовательных учреждений (ДОУ) общего типа и 22 средних образовательных школах (СОШ) г. Томска. Гигиеническая оценка дана путем сопоставления фактических данных с нормативными, действующими в настоящее время [1].

Проанализировано 1130 измерений параметров микроклимата и искусственного освещения, представленные в протоколах производственных измерений ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Томской области» за 2009 и 2010 гг. Статистическая обработка проведена в программе MS Office Excel 2007. Рассчитаны средние значения и 95% доверительные интервалы для средних (95% ДИ).

Изменение физических параметров воздушной среды напрямую влияет на теплообмен между организмом и внешней средой и может привести к нарушению теплового равновесия

человека. Неудовлетворительные результаты исследований параметров микроклимата отмечено в основных помещениях ДОУ (игровых, спальнях, санузлах), а также в классах, кабинетах труда и информатики ряда школ. В частности, показатели температуры в помещениях групповой ячейки ДОУ были ниже нормативных показателей в 51% случаев (95% ДИ 42-61%), тогда как в СОШ это касалось, в основном, кабинетов информатики, трудовых мастерских для мальчиков – 7% (95% ДИ 3-11%). Исследования влажности воздуха показали, что лишь в 21% случаев (95 % ДИ 10-32 %) этот показатель был ниже нормативного.

Отклонения параметров микроклимата регистрируются, как правило, в результате неудовлетворительной работы систем отопления в холодные месяцы года, некачественной подготовки объектов к отопительному сезону. Нестабильный тепловой режим приводит к переохлаждению детей, что провоцирует возникновение простудных инфекционных заболеваний.

Рациональное искусственное освещение образовательных учреждений имеет большое значение для правильной постановки и проведения учебного процесса, создания комфортных условий для выполнения зрительных работ, а также для эффективности использования электроэнергии, расходуемой на освещение. Одним из главных при этом является вопрос гигиены зрения, поскольку в России сложилась крайне неблагоприятное положение с состоянием зрения детей и подростков.

По данным медицинских осмотров, проводимых перед поступлением в школу, близорукость выявляется у 4,5-8,2% детей, причем в каждом 13-15 случае диагностируется миопия высокой степени, ведущая к выраженному нарушению зрения и резко ограничивающая возможности ребенка. Число детей с понижением остроты зрения за время обучения в школе увеличивается почти в 3 раза [2,3]. Нарушения зрения оказывают негативное влияние на состояние здоровья, работоспособность и развитие ведущих физиологических систем организма ребенка [4].

В 1980-1981 гг. массовое обследование состояния искусственного освещения в 193 школах в 21 городе и 15 сельских поселках РФ показало, что в 70% случаев нормы не выполняются и наполовину. Рекомендации по улучшению искусственного освещения школ в основном не были реализованы. Повторные обследования в 2003-2004 гг. школ городов Москвы (10 школ), Саранска (35 школ) и Томска (10 школ) показали дальнейшее ухудшение условий освещения школ. [5].

В нашем исследовании установлено соответствие показателей искусственного освещения санитарно-гигиеническим нормам в ряде обследованных помещений, однако были выявлены нарушения, создающие реальные предпосылки для ухудшения функций органа зрения обучающихся.

Для искусственного освещения практически всех обследованных ДОУ используются лампы накаливания (87%) (95 % ДИ 80-94%). В основных помещениях детских учреждений не достаточен уровень средней горизонтальной освещенности в 36 % случаев (95 % ДИ 27-46 %).

Несмотря на то, что утвержденные в 2003 году «Изменения № 1 к СНиП 23-05-95» запрещают применение ламп накаливания при освещении учебных помещений, они до сих пор используются во многих учреждениях в давно устаревших неэффективных светильниках, вследствие этого перерасход электроэнергии составляет 35-40 % [4].

В 76% СОШ (95 % ДИ 69-83%) помещения оборудованы осветительными установками с люминесцентными лампами. Уровень средней горизонтальной освещенности на рабочих местах школьников не достигал минимально допустимых значений в 28% случаев (95% ДИ 20-36 %). Это касается спортивных залов, кабинетов информатики, труда, где необходимы особые условия светового режима. В классах, где доски имеют дополнительное освещение, в 27% случаев (95 % ДИ 19-37 %) вертикальная освещенность ниже нормативной (300 лк). Подобная ситуации особенно недопустима в условиях компьютеризации учебной нагрузки, предъявляющих повышенные требования к качеству освещения.

Таким образом, возникает острая необходимость в обеспечении рационального освещения образовательных учреждений, соблюдение основных требований при применении новых технологий обучения (компьютеры, интерактивные доски).

На основании анализа состояния воздушно-теплового режима в образовательных учреждениях в период реконструкции и ремонта зданий рекомендуется использовать системы автоматического регулирования параметров микроклимата.

Для правильной организации искусственной световой среды в помещениях необходимо заменить устаревшие светильники на более современные. Далее, необходимо технически обеспечить раздельное включение линий светильников, позволяющее автоматически регулировать

долю искусственного света в соответствии с изменениями естественного освещения. Также необходимо установить софиты для дополнительной подсветки классной доски.

Для обеспечения психофизиологического комфорта в помещениях необходимо использовать источники света с цветовой температурой – 3000-4500° К (тепло-белые и белые). Это повысит количество и качество освещения и снизит затраты электроэнергии. Для предотвращения пульсации светового потока необходимо преобразование тока питания ламп в высокочастотный, то есть применение электронных пускорегулирующих аппаратов.

**Список используемой литературы:**

1. СанПиН 2.4.2.2821-10. «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям и организации обучения в общеобразовательных учреждениях».
2. Онищенко Г.Г., Баранов А.А., Кучма В.Р. Безопасное будущее детей России. Научно-методические основы подготовки плана действий в области окружающей среды и здоровья наших детей (руководство). – М.: ГУ НЦЗД РАМН, 2004. – 154 с.
3. Цамерян А.П. Оптико-физиологические аппаратные методы коррекции и восстановления зрения у детей. Пособие для врачей. – М.: МЗиСР РФ, РАМН, ГУ НЦЗД НИИ ГиОЗДиП, 2005. – 14 с.
4. Плаксина Л.И. Воспитание и обучение детей дошкольного возраста с нарушениями зрения. – М.: Академия, 2001. – С.47-59.
5. Айзенберг Ю.Б. О неудовлетворительном состоянии освещении школ // Светотехника. – 2011. – № 4. – С.78.

УДК 616.233- 008.6-037

**Влияние эуфиллина на показатели механики дыхания у больных хронической обструктивной болезнью легких**

*Т.Н. Бодрова, Ф.Ф. Тетенев*

*Сибирский медицинский университет, г. Томск, Россия*

*E-mail: tochka.sib@yandex.ru*

В повседневной пульмонологической практике эуфиллин довольно часто используется для лечения больных хронической обструктивной болезнью легких (ХОБЛ) как препарат улучшающий общее самочувствие больных и уменьшающий дыхательный дискомфорт. Клинический эффект при этом, как правило, объясняется бронхорасширяющим действием препарата и улучшением вентиляционной функции легких. У 12 больных ХОБЛ исследовали дыхательный дискомфорт по аналоговой шкале Борга, показатели вентиляционной функции легких с помощью общей плетизмографии тела и биомеханики дыхания с помощью метода зондирования пищевода до и после внутривенного применения эуфиллина. Исследование проводили утром натощак в сидячем положении. В результате исследований было установлено, что после введения эуфиллина дыхательный дискомфорт полностью прошел у 6 пациентов. У остальных 6 исследованных лиц дыхательный дискомфорт значительно уменьшился. Изменения вентиляционных показателей состояли в следующем. Максимальная вентиляция легких увеличилась в среднем от 64,6 % до 86,7% ( $P<0,05$ ); ОФВ-1 повысился от 61,4% до 82,9% ( $P<0,05$ ). Остальные скоростные показатели в среднем не изменились. Общая емкость легких, Жизненная емкость легких и остаточный объем легких в среднем не изменились. Повышение МВЛ и ОФВ-1 вполне соответствует общепринятому представлению о бронхорасширяющем влиянии эуфиллина. Тем не менее, показатели вентиляционной функции легких лишь косвенно могут характеризовать проходимость бронхов. МВЛ в среднем повысилась от 2-й степени снижения до 1-й степени, а снижение ОФВ-1 в среднем оставалась на уровне 2-й степени снижения. Показатели неэластического сопротивления легких были значительно повышены по сравнению с нормальными показателями до и после введения эуфиллина. Общее неэластическое сопротивление легких (ОНС) под влиянием эуфиллина снизилось на вдохе в среднем с 0,71 до 0,44 кПа·л/с ( $P<0,05$ ); на выдохе – с 1,11 до 0,75 ( $P<0,001$ ). Структура же ОНС показала, что аэродинамическое (бронхиальное) сопротивление на вдохе и выдохе не изменилось. На вдохе в среднем соответственно 0,59 и 0,54 кПа·л/с; на выдохе – 0,67 и 0,56 кПа·л/с. Достоверно снизилось тканевое неэластическое сопротивление легких на выдохе, в среднем соответственно: 0,44 и 0,30 кПа·л/с ( $P<0,01$ ). Тот факт, что бронхиальное сопротивление у больных ХОБЛ под влиянием эуфиллина не изменилось является достоверным признаком, что эуфиллин не оказывал бронхорасширяющее действие. Следовательно, клинический эффект не был связан с

бронхолитическим действием препарата и что увеличение МВЛ и ОФВ-1 тоже не был обусловлен снижением бронхальной обструкции. Бронхиальное сопротивление является единственным показателем, достоверно отражающим состояние проходимости бронхов. Под влиянием эуфиллина общая работа дыхания и её фракции в среднем не изменились. Не изменилась динамическая и статическая растяжимость легких. Эластическая тяга легких (ЭТЛ) в среднем увеличилась с 1,55 до 1,91 кПа ( $P < 0,01$ ), тогда как ЖЕЛ в среднем не изменилась. Этот факт объяснить трудно. Таким образом, выраженный положительный клинический эффект применения эуфиллина у больных ХОБЛ нельзя связывать с его бронхорасширяющим действием. Наиболее вероятно положительный терапевтический эффект от применения эуфиллина у больных ХОБЛ обусловлен влиянием его на центральную нервную систему, систему регуляции дыхания и, вероятно на порог восприятия одышки.

УДК 616.995.122.21:616.248 – 008.4

**Влияние инвазии *Opisthorchis felinus* на клеточный состав индуцированной мокроты у больных бронхиальной астмой**

***О.В. Калинина, Т.Н. Бодрова, А.И. Карзилов, П.Е. Месько***  
*ГБОУ ВПО СибГМУ Минздрава России, г. Томск, Россия*  
*E-mail: kov7575@km.ru*

Бронхиальная астма является чрезвычайно распространенным заболеванием в мире, причиняющим значительный ущерб обществу, связанный не только с экономическими затратами на лечение, но также с потерей трудоспособности и ухудшением качества жизни больных [7]. Увеличение доли пациентов, страдающих бронхиальной астмой, по литературным данным [1, 2, 5, 6], может быть объяснено разными факторами, в том числе и внешнесредовыми, такими как гельминтная инвазия. Учитывая, что Западная Сибирь является гиперэндемичным очагом описторхоза, а пораженность местного населения данным гельминтом на отдельных территориях достигает 97%, изучение роли гельминтных инвазий в механизмах регуляции воспаления при бронхиальной астме является актуальной задачей.

В настоящее время осуществляется поиск наиболее информативных маркеров, характеризующих выраженность воспаления при бронхиальной астме. Последние годы широкое практическое применение получила методика определения клеточного состава в индуцированной мокроте.

Цель работы - изучить состав индуцированной мокроты до и после лечения описторхоза и объяснить патогенетический механизм влияния хронического описторхоза у больных бронхиальной астмой.

Материал и методы.

Протокол исследования одобрен локальным этическим комитетом Сибирского государственного медицинского университета (г. Томск). Было обследовано 25 пациентов в возрасте от 18 до 60 лет (в среднем 38,5 лет) до и после лечения описторхоза. Диагноз бронхиальной астмы был поставлен на основании критериев ВОЗ, степень тяжести заболевания устанавливали согласно критериям документа GINA (2006г.) [3, 4]. Диагноз описторхоза верифицировался наличием соответствующего «рыбного» 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. Дегельминтизация проводилась в фазу ремиссии БА по традиционной схеме билтрицидом (празиквантел), использовалась «щадящая» методика. Индуцированную мокроту получали путём ингаляций с помощью ультразвукового небулайзера. Общий цитоз подсчитывали в камере Горяева. Просмотр препаратов осуществлялся под иммерсией с использованием светооптического микроскопа «Биолам Ломо». Подсчитывались дифференцированно клетки: эозинофилы, нейтрофилы, альвеолярные макрофаги и лимфоциты. Полученные результаты выражались как в абсолютных цифрах (количество клеток \* 10<sup>6</sup> в мл), так и в процентах.

Статистическая обработка данных проводилась с использованием пакета программ Statistica 6.0 for Windows (StatSoft, США). Для сравнения групп показателей использовались непараметрические методы (критерии Манна—Уитни и Вилкоксона). Пороговый уровень статистической значимости принимался при значении критерия  $p < 0,05$ .

Результаты и обсуждение.

Индуцированная мокрота больных бронхиальной астмой с «микст»-патологией характеризовалась высоким уровнем цитоза  $1,8 \pm 0,13 \times 10^6/\text{мл}$ , в её составе преобладали эозинофилы –  $42,2 \pm 1,99\%$  и нейтрофилы –  $40,2 \pm 1,5\%$ , количество макрофагов было снижено и составляло  $13,4 \pm 2,4\%$ . После дегельминтизации у больных бронхиальной астмой в индуцированной мокроте было зафиксировано снижение цитоза до  $0,9 \pm 0,08 \times 10^6/\text{мл}$  ( $p < 0,05$ ), при этом в клеточном составе было выявлено уменьшение абсолютного числа эозинофилов –  $22,3 \pm 3,38\%$  ( $p < 0,05$ ) и нейтрофилов –  $28,5 \pm 2,3\%$  ( $p < 0,05$ ), отмечено было увеличение процентного содержания альвеолярных макрофагов до  $44,2 \pm 4,4\%$  ( $p < 0,05$ ).

Учитывая представленные данные, можно предположить, что при бронхиальной астме маркерами воспаления в бронхиальном дереве являются эозинофилы и в меньшей степени нейтрофилы. Вероятно, эозинофилы воздействуют на окружающие ткани путём выделения цитотоксических веществ, тем самым индуцируют активность нейтрофилов в воспалительном инфильтрате бронхов и стимулируют инфекционный процесс. Это подтверждается тем, что у больных бронхиальной астмой в сочетании с хроническим описторхозом прослеживается снижение количества альвеолярных макрофагов в индуцированной мокроте.

**Заключение.**

Таким образом, приведенные данные свидетельствуют о том, что гельминтную инвазию *Ophiorhynchis felineus* у больных бронхиальной астмой следует рассматривать как фоновый патогенетический механизм, приводящий к более тяжелому течению основного заболевания. Последнее подтверждается тем, что после лечения описторхоза уменьшился цитоз, количество эозинофилов и нейтрофилов, улучшились защитные свойства бронхов, о чём свидетельствует повышение содержания альвеолярных макрофагов.

#### **Список используемой литературы:**

1. Беэр С.А. Этапы эволюции ареалов некоторых описторхид и палеоочагов описторхоза / С.А. Беэр, В.А. Майер // Актуальные проблемы описторхоза. – Томск: Издательство Томского университета, 1986. – С. 12-15.
2. Бочарова, Т. Циркуляция возбудителя описторхоза в районе р. Чулым (бассейн р. Обь) Данные за 1939-2006 гг. // Ветеринария с.-х. животных. 2009. – № 8. – С. 33-38.
3. Бронхиальная астма: Руководство для врачей России (Формулярная система). – М., 1999. – 40 с. – (Приложение к журн. «Пульмонология»).
4. Глобальная стратегия лечения и профилактики бронхиальной астмы / под ред. А.Г. Чучалина. – М.: Атмосфера, 2002. 160 с.
5. Ильинских Е.Н. Актуальные вопросы изучения проблемы описторхоза в Сибири / Е.Н. Ильинских // Бюллетень сибирской медицины, 2002. – № 1. - С.63.
6. Котелкин А.Т. Описторхоз / А.Т. Котелкин, И.А. Разумов, В.Б. Локтев // Медицинская паразитология и паразитарные болезни. 1996. – № 2. – С. 18-23.
7. Beasley R. The Global Burden of Asthma Report, Global Initiative for Asthma (GINA). 2004. Электрон. дан. Режим доступа: <http://www.ginasthma.org>.

УДК 612.233-008.6

#### **Эффективность прогнозирования вентиляционных возможностей аппарата внешнего дыхания**

***А.И. Карзилов\*, Ф.Ф. Тетнев, Бодрова Т.Н., Месько П.Е., О.В. Калинина, О.В. Якис***

*Сибирский государственный медицинский университет, Томск, Россия*

***E-mail: [karzilov@mail.ru](mailto:karzilov@mail.ru)\****

В современное время выживаемость человечества напрямую зависит от состояния экологической ситуации в ареале проживания. Загрязнение воздушного пространства оказывает неблагоприятное воздействие на органы дыхания. При этом, в первую очередь, поражается бронхолегочный тракт, что приводит к фатальному нарушению бронхиальной проходимости, которая является ведущим фактором, определяющим вентиляционные возможности аппарата внешнего дыхания и жизнедеятельность человека в норме, при бронхообструктивных нарушениях [3, 7, 10, 12, 13] и относится к параметрам гомеостатической регуляции в аппарате внешнего дыхания [5].

В настоящее время, референтным методом диагностики НБП у больных бронхиальной астмой и хронической обструктивной болезнью легких, согласно международным рекомендациям Глобальной стратегии лечения и профилактики бронхиальной астмы (GINA, редакция 2011) [12], Глобальной стратегии диагностики, лечения и профилактики хронической обструктивной болезни

легких (GOLD, редакция 2011) [13] и российским клиническим рекомендациям по пульмонологии, 2007 [8], являются параметры форсированного выдоха за первую секунду –  $ОФВ_1$ , соотнесенного в процентах с должной величиной –  $ОФВ_1\%$  и процентного отношения к форсированной жизненной емкости легких –  $ОФВ_1/ФЖЕЛ\%$ .

При проведении пробы с форсированным выдохом полученные результаты зависят не только от состояния механических свойств бронхолегочной системы, но и целого ряда внелегочных факторов: ригидность грудной клетки; регуляция тонуса и сокращения дыхательной мускулатуры; состояние дыхательного центра; утомление, желание и способность больного выполнить дыхательный маневр и др. [3, 7, 10].

При эпидемиологическом исследовании респираторной функции показатели форсированного выдоха являются не референтным методом, а способом прогнозирования НБП с низким процентом верификации НБП – так, при найденном снижении  $ОФВ_1\%$  у работающих людей на промышленном предприятии диагноз был верифицирован у 22,7% мужчин и 8,9% женщин, сниженной пиковой скорости выдоха – у 18% мужчин и 7,4% женщин [2].

Полученные данные обосновывают необходимость проведения поиска и изучения простых, необременительных способов прогнозирования НБП, которые в последующем могут стать объектом внедрения инновационных технологий. Таким методом может быть пневмотахограмма спонтанного дыхания с прерыванием воздушного потока. Показано, что у здоровых лиц и больных с бронхообструктивным синдромом наблюдаются различные значимые корреляционные связи между паттернами спокойного дыхания [4], на пневмотахограмме спокойного дыхания после фазы прерывания воздушного потока регистрируется «дельта-пик», выраженность которого коррелирует со степенью бронхиальной обструкции [14].

Цель работы: проанализировать возможности регрессионных моделей, отражающих зависимость показателей бронхиальной проходимости  $ОФВ_1\%$  и  $ОФВ_1/ФЖЕЛ\%$  от параметров паттернов спокойного дыхания вдоха и выдоха при прерывании воздушного потока, антропометрических данных и оценить их диагностические возможности в прогнозировании нарушения бронхиальной проходимости.

**Материал и методы исследования.** Настоящее исследование было проведено на смешанной группе лиц, включающей здоровых некурящих людей ( $n=15$ ), больных бронхиальной астмой (БА) ( $n=30$ ), хронической обструктивной болезнью легких (ХОБЛ) ( $n=16$ ) и внебольничной пневмонией (ВП) ( $n=17$ ), – всего 78 человек, из них мужчин – 40, женщин – 38, возраст 15-64 лет.

Запись паттернов дыхания проводили на оригинальной установке, состоящей из дифференциального датчика давления ПМД-1000 для получения пневмотахограммы; пневмотахографической трубки Вотчала со специально подобранным коэффициентом сопротивления; автоматического прерывателя воздушного потока; малоинерционного, прямопишущего регистратора. Обследуемый субъект подсоединялся к пневмотахографической трубке посредством резинового загубника, прекращение носового дыхания проводилось при помощи носового зажима. Референтное исследование бронхиальной проходимости проводилось при помощи пневмотахографа (Медфизприбор, Казань). Определялись ФЖЕЛ, л,  $ОФВ_1$ , л. Рассчитывали отношение  $ОФВ_1/ФЖЕЛ\%$  в процентах; процентное отношение  $ОФВ_1$  к должной величине –  $ОФВ_1\%$ , рассчитанной по формулам Клемента Р.Ф. и соавт. [7]. Определение Raw,  $кПа \cdot л^{-1} \cdot с$ , проводили при помощи плетизмопрессографа постоянного объема (Erich Jaeger, Германия).

Запись данных проводили в условиях относительного покоя исследуемого при скорости движения ленты самописца  $100 \text{ мм} \cdot с^{-1}$  кривой пневмотахограммы спонтанного дыхания при однократном прерывании воздушного потока на 0,5 с в фазу вдоха и выдоха в 3-4 дыхательных циклах. Исследование продолжалось 2-3 минуты и не вызывало каких-либо неприятных ощущений у обследуемых лиц. Из зарегистрированных циклов выбирали средний и рассчитывали параметры пневмотахограммы в периоды вдоха и выдоха: продолжительность основных пиков в фазу вдоха ( $L_{in}$ ) до прерывания воздушного потока  $L_i$ , после прерывания  $L_{mi}$ , с; аналогично в фазу выдоха ( $L_{ex}$ ) –  $L_e$  и  $L_{me}$ , с; дополнительного пика в фазу вдоха  $L_{pi}$  и выдоха  $L_{pe}$ , с; амплитуда этих пиков в фазу вдоха:  $H_i$ ,  $H_{mi}$ ,  $H_{pi}$  и выдоха:  $H_e$ ;  $H_{me}$ ;  $H_{pe}$ ,  $л \cdot с^{-1}$ ; площадь пиков на вдохе:  $S_i=0,5 \cdot H_i \cdot L_i$ ,  $S_{pi}=0,5 \cdot H_{pi} \cdot L_{pi}$  и выдохе:  $S_e=0,5 \cdot H_e \cdot L_e$ ,  $S_{pe}=0,5 \cdot H_{pe} \cdot L_{pe}$ , л; скорость отклонения кривой пневмотахограммы от изолинии на вдохе –  $A_i$  и выдохе –  $A_e$ , скорость приближения к изолинии на вдохе  $A_{pi}$ ,  $A_{mi}$  и выдохе  $A_{pe}$ ,  $A_{me}$ ,  $л \cdot с^{-2}$ . При регрессионном анализе также учитывались рост  $P$ , см; вес  $W$ , кг; возраст  $B$ , годы; пол  $\Pi$ , 1 – муж., 2 – жен.

Регрессионные модели прогнозируемых показателей строились при помощи множественного линейного регрессионного анализа с использованием программного пакета SPSS

(Release 14, SPSS Inc., США). Проверку на нормальность распределения значений признака проводили по критерию Колмогорова-Смирнова. Операционные характеристики теста – чувствительность (Se), специфичность (Sp), прогностичность положительного (Pr) и отрицательного результата (Pn) [11] рассчитывали по точкам разделения теста, поиск которых проводили по методике расчета минимальных абсолютных значений  $dS=|Se-Sp|$ , предложенной [6].

**Результаты и обсуждение.** Регрессионные модели параметров ОФВ<sub>1</sub>/ФЖЕЛ% и ОФВ<sub>1</sub>% рассчитывались пошаговым методом [1]. Распределение фактических значений ОФВ<sub>1</sub>/ФЖЕЛ% и ОФВ<sub>1</sub>% соответствовало нормальному закону. В качестве предикторов использовали параметры антропометрии – P, W, B, П и пневмотахограммы – Hpi, Lpi, Hmi, Hi, Lmi, Li, Si, Smi, Spi, Api, Ai, Ami, Hpe, Lpe, Hme, He, Lme, Le, Se, Sme, Spe, Ape, Ae, Aме. Были получены следующие уравнения регрессии:

$$\text{ОФВ}_1/\text{ФЖЕЛ}\% = 5,604 \cdot \text{П} - 0,438 \cdot \text{В} + 0,462 \cdot \text{P} - 355,249 \cdot \text{Spi} + 0,056 \cdot \text{Api} + 1,671 \cdot \text{Ae} \quad (1)$$

$$\text{ОФВ}_1\% = 0,606 \cdot \text{P} - 665,346 \cdot \text{Spi} \quad (2)$$

При дисперсионном анализе моделей наблюдался высокий уровень статистической значимости ( $p=0,000$ ). Процент отражения моделью изменчивости прогнозируемых переменных (скорректированный R-квадрат) составил 97,4 % (1) и 93,5% (2). Гистограммы остатков соответствовали нормальному закону распределения. Распределение прогнозируемых значений ОФВ<sub>1</sub>/ФЖЕЛ%, ОФВ<sub>1</sub>% соответствовало нормальному закону. Операционные характеристики теста чувствительность (Se), специфичность (Sp), прогностичность положительного (Pr) и отрицательного результата (Pn), рассчитанные по методике [6], соответствовали прогнозируемым 72% ОФВ<sub>1</sub>/ФЖЕЛ% (Se – 80,6%, Sp – 78,6%, Pr – 76,3%, Pn – 82,5%) и 89% ОФВ<sub>1</sub>% (Se – 78,8%, Sp – 73,3%, Pr – 68,4%, Pn – 82,5%). Полученные данные свидетельствуют о достаточно хороших диагностических возможностях моделей прогнозирования нарушения бронхиальной проходимости по математическим моделям ОФВ<sub>1</sub>/ФЖЕЛ% и ОФВ<sub>1</sub>%.

Преимущества предлагаемого метода: одновременное прогнозирование показателей ОФВ<sub>1</sub>/ФЖЕЛ% и ОФВ<sub>1</sub>%; не требуется сотрудничество с обследуемым при минимальной функциональной нагрузке на него; непродолжительность исследования; может применяться в клинических условиях у больных, страдающих пневмонией, бронхиальной астмой, ХОБЛ которые не могут выполнить спирометрические диагностические пробы, а также у тяжелобольных находящихся в клиностатическом положении; возможность продолжительного мониторинга состояния бронхиальной проходимости у больных в отделениях интенсивной терапии. Данная технология в качестве инновационной может быть использована в специализированных респираторах предназначенных для лиц, находящихся в экстремальных и чрезвычайных ситуациях, связанных с присутствием бронхоконстрикторных веществ в окружающей среде. На данный способ определения нарушения бронхиальной проходимости был получен патент Российской Федерации на изобретение [9].

#### Список используемой литературы

1. Бююль А., Цёфель П. SPSS: Искусство обработки информации. Анализ статистических данных и восстановление скрытых возможностей: Пер. с нем. – СПб.: ДиаСофтЮП, 2005. – 608 с.
2. Вострикова Е.А., Багрова Л.О., Осипов А.Г. и др. Чувствительность и специфичность спирометрических показателей при скрининговом исследовании респираторной функции // Пульмонология. – 2004. – № 4. – С. 45-50.
3. Гриппи М.А. Патофизиология легких: Пер. с англ. – М.: Бином, 1997. – 344 с.
4. Карзилов, А.И. Влияние респираторной терапии на регуляцию дыхания у больных с бронхообструктивным синдромом и здоровых лиц / А.И. Карзилов, Ф.Ф. Тетенов, Т.Н. Бодрова // Пульмонология. – 2005. – № 3. – С. 77-82.
5. Карзилов А.И. Биомеханический гомеостазис аппарата внешнего дыхания и механизмы его обеспечения/ А.И. Карзилов // Бюллетень сибирской медицины. – 2007. – №1. – С.13-38.
6. Карзилов А.И. Регуляторное обеспечение устойчивости биомеханики дыхания при обструктивных заболеваниях легких: Автореф. дис. докт. мед. наук. – Барнаул, 2009. – 39 с.
7. Клемент Р.Ф. Физиологические механизмы внешнего дыхания и их нарушения // Болезни органов дыхания: Рук-во для врачей. В 4 томах / Под ред. Н.Р. Палеева. – М.: Медицина, 1989. – Т. 1. – С. 49 - 70.
8. Клинические рекомендации. Пульмонология / Под ред. А.Г. Чучалина. – М.: ГЭОТАР-Медия, 2007. 240 с.
9. Патент РФ № 200118413/14, 10.07.2000.



10. Тетенев Ф.Ф. Обструктивная теория нарушения внешнего дыхания. Состояние. Перспективы развития // Бюллетень сибирской медицины. – 2005. – № 4. – С. 14-26.
11. Флетчер Р., Флетчер С., Вагнер Э. Клиническая эпидемиология. Основы доказательной медицины: Пер. с англ. – М.: Медиа Сфера, 1998. – 352 с.
12. Global Strategy for Asthma Management and Prevention, Global Initiative for Asthma (GINA) 2011. Available from: <http://www.ginasthma.org>.
13. Global Strategy for the Diagnosis, Management and Prevention of COPD, Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease (GOLD) 2011. Available from: <http://www.goldcopd.org>.
14. Hage R., Aerts J.G.J.V., Verbraak A.F.M. et al. Detection of flow limitation during tidal breathing by the interrupter technique // Eur. Respir. J. – 1995. – № 8. – P. 1910-1914.

**Клиническая эффективность вибротерапии в комплексном лечении острых и обострений хронических ларингитов у пациентов голосоречевых профессий**

**Т.Н. Зарипова, Е.М. Зеленкин, В.И. Мухина**

*ФГУ «Томский НИИ курортологии и физиотерапии ФМБА России», г. Томск, Россия*

*ФГУ «Научно-клинический центр оториноларингологии ФМБА России», г. Томск, Россия*

*МБЛПУ «Поликлиника № 10», Г. Томск, Россия*

**E-mail: vim16@sibmail.com**

Острые и обострения хронических процессов в гортани, являются одними из широко распространенных заболеваний среди патологии ЛОР органов. При этом следует отметить, что на фоне возникновения острого процесса в гортани или обострения хронического ларингита всегда остается опасность формирования тяжелого осложнения. Социальная значимость заболевания заключается в том, что ларингиты часто приводят к временной потере трудоспособности. Особенно это касается лиц, у которых профессия связана с голосовой нагрузкой, т.е. лиц голосоречевых профессий (педагоги, воспитатели детских садов, лекторы, актеры, певцы, студенты театральных учебных заведений и др. Учитывая, что важную роль в развитии воспалительных заболеваний гортани играет профессиональный фактор, а лица голосоречевых профессий регулярно испытывают повышенную голосовую нагрузку, они попадают в группу повышенного риска [3, 4, 5, 9, 10].

Согласно эпидемиологическим исследованиям, хронический ларингит, который является потенциальным очагом обострения, составляет от 8,4 до 50,2% всей гортанной патологии [8].

Голосовой аппарат лиц голосоречевых профессий особенно раним, а лечение таких больных имеет свои специфические особенности. В отличие от лиц других профессий, у которых временная нетрудоспособность может заканчиваться в течение 7-10 дней, у лиц голосоречевых профессий потеря трудоспособности может затягиваться на месяцы, требует дополнительных реабилитационных методов, а в ряде случаев вынуждает больного сменить профессию.

Особенно актуальным остается вопрос лечения больных голосоречевых профессий в условиях поликлиники, куда обращается основное число больных.

В последние годы в лечении значительного круга соматических заболеваний широкое распространение нашел метод вибрационной терапии – низкочастотный вибрационный массаж. Применению низкочастотного вибрационного массажа в клинике предшествовали многочисленные теоретические и экспериментальные исследования, в результате которых был изучен механизм низкочастотной вибрации и лечебное воздействие этого физического фактора на системы организма и организм в целом. На основании этих исследований были разработаны рекомендации по использованию низкочастотного вибромассажа для лечебных и профилактических целей (при целом ряде заболеваний). Было установлено, что низкочастотный вибрационный массаж обладает противовоспалительным, противоотечным и противоаллергическим действием, улучшает крово- и лимфообращение, активизирует защитные силы организма, способствует проникновению лекарственных препаратов в ткани [6, 7, 11].

Вместе с тем, широкое применение антибиотиков и других антимикробных препаратов и наблюдающийся рост резистентности микроорганизмов к ним, говорят о необходимости поиска альтернативы антибактериальным препаратам, к которым можно отнести лечебные бактериофаги, которые пока не нашли достаточного своего использования в лечебной практике [12, 15, 16, 13, 14].

На основании изложенного, становится совершенно очевидным и оправданным дальнейшее совершенствование и разработка новых технологий в лечении острых и обострениях хронических воспалительных процессов в гортани у пациентов голосоречевых профессий [1, 2].

**Цель исследования.** Оптимизация эффективности лечения и снижение сроков нетрудоспособности лиц голосоречевых профессий с острым и обострением хронического ларингита с применением низкочастотной вибрации и бактериофага.

**Задачи исследования.**

1. Изучить микрофлору гортани, определить чувствительность её к антибиотикам и бактериофагам у больных голосоречевых профессий с острым и обострением хронического ларингита.

2. Определить выбор специфической бактериофаготерапии у пациентов голосоречевых профессий.

3. Разработать комплексное лечение пациентов голосоречевых профессий с острым и обострением хронического ларингита, с применением низкочастотной вибротерапии и специфического бактериофага.

4. Изучить эффективность разработанного метода лечения, сроки восстановления голоса и речи, сроки восстановления трудоспособности.

**Объект и методы исследования.** В период с 2009г. по 2011гг. в Медицинском бюджетном лечебно-профилактическом учреждении «Поликлиника №10» г.Томска, было обследовано и пролечено 107 пациентов голосоречевых профессий с острым и обострением хронического катарального ларингита, в возрасте от 18 до 60 лет, из них 64 женщины и 43 мужчины. Больные были распределены в группы в зависимости от формы воспалительного процесса и его длительности, при этом группы были сопоставимы по полу и возрасту. С острым ларингитом находились на лечении 27 пациентов, с хроническим ларингитом в стадии обострения - 80 человек.

При обращении к оториноларингологу, больные жаловались на осиплость, дискомфорт при фонации, першение, сухость в гортаноглотке, затрудненное дыхание, сухой кашель, слабость, снижение работоспособности. Ощущение комка в глотке, чувство инородного тела и затруднение дыхания беспокоили 34 человека в первой группе и 22 в группе сравнения. Выраженность жалоб зависела от длительности заболевания и остроты воспалительного процесса.

Кроме общераспространенных методов обследования, больным 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) и Инструкции по применению дисков для определения чувствительности к антибиотикам, утвержденной начальником управления по внедрению новых лекарственных средств и медицинской техники МЗ СССР от 12.10.84г. Биоматериал получали путем взятия мазка со слизистой гортани в области вестибулярных складок, межчерпаловидного пространства и слизистой голосовых складок стерильным ватным тампоном, увлажненным стерильным физраствором. Чувствительность микроорганизмов к антибиотикам определялась по трем степеням: чувствительный к антибиотику (S), умерено-устойчивый к антибиотику (I), устойчивый к антибиотику (R). Больные обследовались до лечения и после проведенного курса лечения. Также, обследование больных включало непрямую ларингоскопию, электронную ларингостробоскопию, определение времени максимальной фонации.

Вместе с тем, нами был разработан объективный инструментальный метод - акустический анализ голоса с помощью компьютерной программы PRAAT. Пациентам была предложена специально разработанная фраза, которую они проговаривали для записи до лечения, в процессе лечения и после него. Оценка голоса пациентов проводилась по следующим параметрам: отношение гармоника-шум (HNR), степень частотной нестабильности голоса (Jitter), степень амплитудной нестабильности голоса (Shimmer).

Больные обследовались до лечения и после проведенного курса терапии. Всем проводилось ультразвуковое обследование щитовидной железы. У исследуемых не было других тяжелых хронических заболеваний, которые требовали бы дополнительного постоянного лекарственного лечения.

Все пациенты, в зависимости от диагноза и проводимого лечения, были разделены на четыре группы:

I группу – основную, составили 20 пациентов с острым ларингитом, которым был проведен разработанный комплекс лечебных мероприятий, включающий вибротерапию в комплексе со специфическим бактериофагом местно.

II группу (сравнения) составили 7 пациентов с острым ларингитом, которым проводилось традиционное лечение, включающее противовоспалительную, противоотечную, десенсибилизирующую терапию, без применения вибро- и бактериофагтерапии.

III группу – основную, составили 58 пациентов с обострением хронического катарального ларингита, получавшим лечение по разработанной методике, включающий вибротерапию в комплексе со специфическим бактериофагом местно и внутрь.

IV группу (сравнения) составили 22 пациента с обострением хронического ларингита, пролеченных по традиционной методике, включающей антибактериальную, десенсибилизирующую, противоотечную терапию.

В первый день обращения пациента к врачу-отоларингологу проводилось полное обследование пациента и взятие мазка со слизистой гортани для проведения бактериального анализа. Врач-отоларинголог корректирует назначенную врачом общей практики до приема отоларинголога противовоспалительную, противовирусную, антибактериальную терапию или назначает антибактериальную терапию без учета микрофлоры коротким курсом до получения бактериального анализа со слизистой гортани. Например: азитрокс 500мг 1р\д = 3 дня, зиртек 10мг, фалиминт 1т x 3 р\д рассасывать, линкас (сироп) 1стл x 3 р\д или амоксиклав (панклав) 675мгx3р\д, цетрин 10 мг 1р\д, септолете 1т x 3 р\д рассасывать, отвары брусники, клюквы, шалфея. При необходимости корректировалась противовирусная (реаферон - по схеме, кагоцел). По показаниям назначалась противокашлевая терапия – аскорил (бромгексин 1ст.л x 3 р\д) и др. Начиная с 5 дня болезни, после получения результата бактериального анализа, у больных I и III (основных) начинался лечебный комплекс местной низкочастотной вибротерапии и специфической бактериофаготерапии в соответствии с выделенной микрофлорой. Нами использовались препараты бактериофагов, разрешенные к применению Роспотребнадзором, № 1 – 11/229-05 от 16 декабря 2005г.

Вибротерапия проводилась аппаратом Flimm Fighter производитель General Phisiotherapy, INC. США (регистрационное удостоверение ФС № 2006/2429, действительно с 28.12.2006г. по 28.12.2016г.).

Пациенты групп сравнения (II и IV), продолжали получать только противовоспалительную традиционную терапию, вибротерапию и бактериофаг не получали.

Математическая обработка результатов исследования клинической эффективности предложенного метода проводилась с помощью статистических программ STATISTICA 6.0 и SPSS 13. Рассчитывали медиану (Me), верхний и нижний квартили, [LQ; UQ], частоту встречаемости признака в процентах. Использовались непараметрические методы с расчетом критерия Вилкоксона (Уровень статистической значимости  $P < 0,005$ ).

#### Результаты исследования:

В результате лабораторного исследования был выявлен микробный пейзаж со слизистой оболочки гортани у больных острым ларингитом, который представлен на рис. 1.

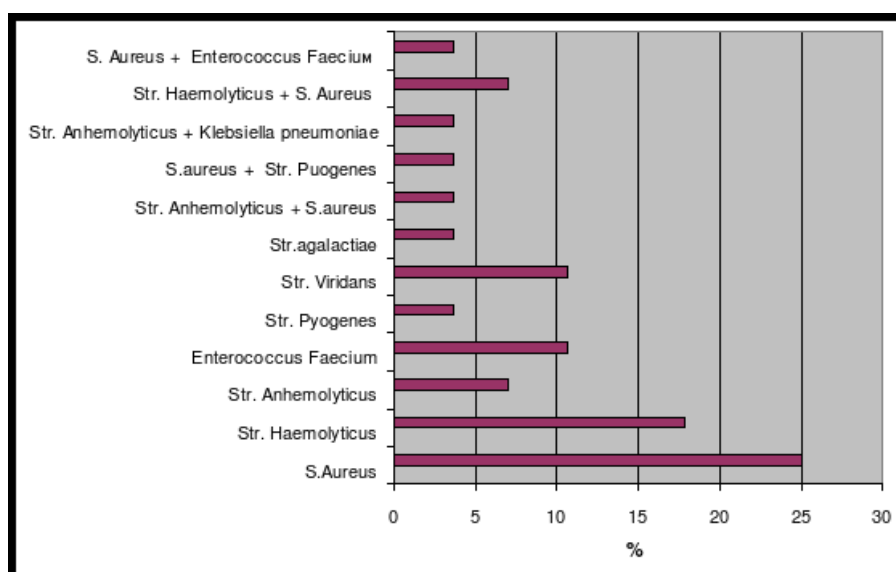


Рис.1. Микробный пейзаж со слизистой оболочки гортани у больных с острым ларингитом.

Как видно из рисунка 1, в группе пациентов с острыми ларингитами (n = 27) *S.aureus* встречается у 7 больных (25%), на втором месте *Str. haemolyticus* у 5 больных (18%), *Enterococcus faecium* и *Str. Viridans* у 3 пациентов (11%). Случаи микробных ассоциаций – единичные, кроме *Str. Haemolyticus* + *S. Aureus*, которая встречается дважды.

Микробный пейзаж со слизистой оболочки гортани у больных с обострением хронического ларингита представлен на Рис. 2.

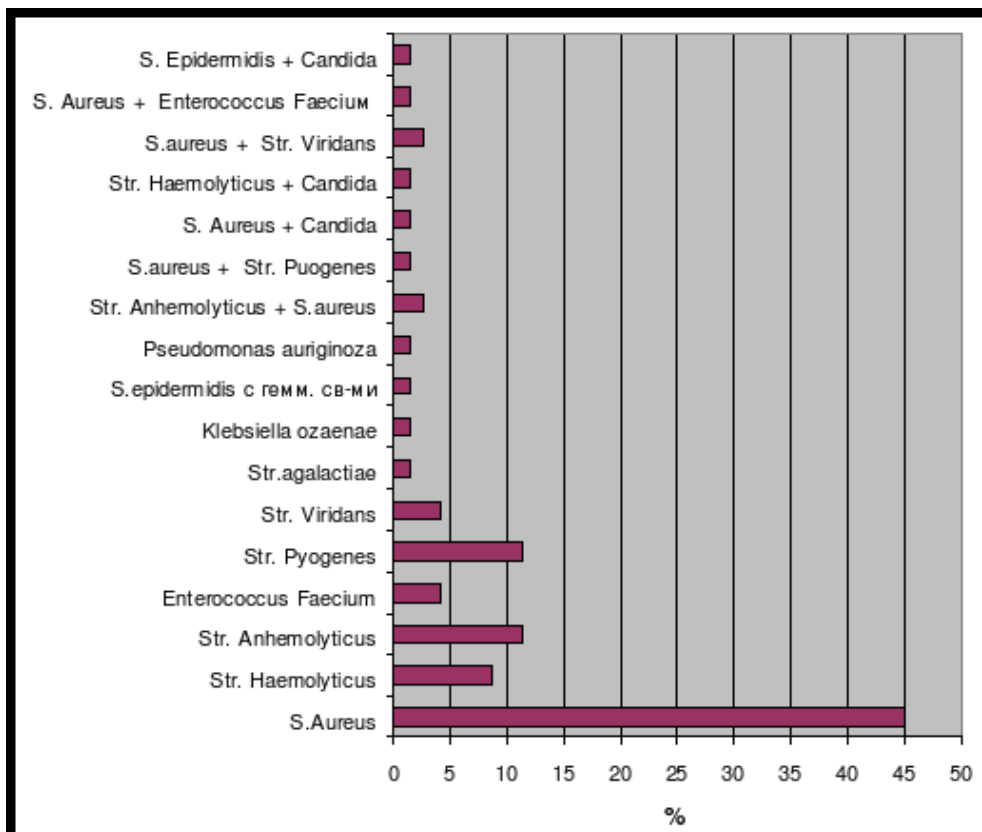


Рис. 2. Микробный пейзаж со слизистой оболочки гортани пациентов с хроническим ларингитом.

На рисунке 2 видно превалирование возбудителя *S.aureus* - у 36 пациентов (45%), на втором месте *Str. Anhaemolyticus* и *Str. Pyogenes* - у 9 пациентов (11%), *Str. haemolyticus* – у 7 пациентов (9%). Остальные возбудители, как монокультуры, так и микробные ассоциации выявлялись в единичных случаях, кроме *Str. Anhemolyticus* + *S.aureus* и *S.aureus* + *Str. Viridans* – по 2 случая. При этом обращает на себя внимание тот факт, что в структуре микробного пейзажа больных с острыми и хроническими ларингитами доминирует *S.aureus* как в монокультурах, так и в микробных ассоциациях.

Наибольшая чувствительность *S.aureus* определяется к левофлоксацину (83%), ципрофлоксацину (72%), тетрациклину (77%), к кларитромицину (62%). Наибольшая резистентность *S.aureus* определяется к ванкомицину (63%), цефотаксиму (60%), азитромицину (20 %). Наибольшая чувствительность *Str. haemolyticus* определяется к кларитромицину (82%), ванкомицину (76%), ципрофлоксацину и цефатаксину (71%).

Выбор специфической бактериофаготерапии зависит от правильно выделенного патогенного микроорганизма со слизистой гортани у пациента.

При применении фаговых препаратов необходимо учитывать специфичность монобактериофагов и поливалентных фаговых препаратов. Для лечения больных с различной выделенной микрофлорой нами использовались различные бактериофаги. Нами применялся стафилококковый бактериофаг при наличии у пациента *S.aureus* в бактериальном анализе со слизистой гортани и полибактериофаг поливалентный, если микрофлора пациента представляла собой другие выделенные микроорганизмы (*Str. Viridans*, *Str. Haemolyticus*, *Str. Anhaemolyticus*, *Str. Pyogenes*, *Klebsiella pneumonia*, *Pseudomonas auriginoza*). При остром ларингите

бактериофаготерапия применялась только местно в виде вливаний в гортань. При обострении хронического ларингита бактериофаготерапия проводилась как местно – в виде вливаний 1мл раствора, так и вовнутрь.

**Комплексное лечение больных заключалось в следующем:**

Пациентам основной группы с острым ларингитом (n = 20), начиная с 5 дня болезни, вливали в гортань 1 мл специфического бактериофага, соответствующего выделенной микрофлоре и проводили местную вибротерапию.

Пациенты основной группы (n = 58) с обострением хронического ларингита, также начиная с 5 дня болезни, получали специфический бактериофаг и вибротерапию. Бактериофаг применялся в соответствии с выявленным возбудителем, как местно, в виде инстилляций в гортань, так и вовнутрь, по 1 ст. ложке, 3 раза в день, в течение 10 дней.

Низкочастотный вибромассаж проводили путем воздействия на боковые поверхности шеи с частотой 20 Гц и амплитудой 0,3 мм (1 поле), плавно передвигая вибратор аппарата вверх со скоростью 2-3 мм/с, прямолинейными движениями до угла нижней челюсти, а затем вниз к надключичной области в течении 1-2 мин. с каждой стороны. При этом пациент выполнял дыхательную фонопедическую гимнастику с произнесением во время каждого выдоха звука «М».

Далее проводится низкочастотный вибромассаж области проекции пересечения пластинки щитовидного хряща и края грудино-ключично-сосцевидной мышцы (m.sternocleidomastoideus) на уровне вырезки щитовидного хряща (2 –е поле) с частотой 40 Гц и 60 Гц, амплитудой 0,3 мм, по 1-2 минуты с обеих сторон, по стабильной методике. При этом пациент выполняет дыхательную фонопедическую гимнастику на выдохе с произнесением гласных звуков «У», «О», «А». Третий этап низкочастотного вибромассажа - область воротниковой зоны (3-е поле) с частотой 30-40 Гц, амплитуда 0,3 мм. При этом вибратор аппарата передвигается от паравертебральной линии к плечевым суставам, в течении 2-3 минут с каждой стороны, методика лабильная. Курс лечения состоял из 8-10 ежедневных комплексных процедур.

**Результаты лечения.** В группе пациентов с острыми ларингитами, в результате разработки и применения терапевтического комплекса (вибротерапия + бактериофаг) были получены следующие терапевтические эффекты:

По данным непрямой ларингоскопии у 98% (19 пациентов) обследованных основной группы на третий день лечения отмечалось резкое уменьшение воспалительного процесса в гортани, уменьшение отека мягких тканей, расширение просвета гортани, нормализация цвета слизистой гортани ( $P < 0,000$ ), тогда как в группе сравнения клинической ларингоскопической картины произошла у 60% больных и только на 8-9 день лечения ( $P < 0,000$ ).

При исследовании на стробоскопе в группе, где применялся разработанный комплекс индекс вибраторной недостаточности восстановился быстрее в 2,5 раз (на 5 дней раньше), чем в группе сравнения ( $P < 0,017$ ).

При проведении функциональных проб голоса наблюдался рост максимальной фонации звуков «у», «а», «о» в основной группе в 2,7 – 2,8 раза. В группе сравнения в 2,2 раза ( $P < 0,001$ ).

Результаты объективного инструментального анализа голоса (HNR, Jitter, Shimmer) в группе больных с острым ларингитом и в группе сравнения примерно совпадают.

Длительность нетрудоспособности у больных с острым ларингитом в основной группе составила в среднем  $9,42 \pm 0,62$  дней дней ( $P < 0,000$ ). В группе сравнения  $20,14 \pm 2,95$  дней ( $P < 0,000$ ).

В основной группе пациентов с обострением хронического ларингита в результате комплексной терапии по разработанной схеме были получены следующие результаты:

По данным непрямой ларингоскопии у 73% пациентов основной группы на третий день лечения отмечалось уменьшение воспалительного процесса в гортани, снижение отека мягких тканей, расширение просвета гортани, нормализация цвета слизистой оболочки, тогда как в группе сравнения купирование признаков воспаления отмечалось у 50% пациентов на пятый день лечения ( $P < 0,000$ ).

Вибрационная недостаточность в основной группе пациентов с обострением хронического ларингита восстановилась судя по данным стробоскопии быстрее в 1,9 раза, чем в группе сравнения ( $P < 0,011$ ), а колебания истинных голосовых складок нормализовались раньше на 3 дня, чем в группе сравнения;

При проведении функциональных проб голоса, выявлено, что время максимальной фонации на звуке «у» в основной группе увеличилось в 2,2 – 2,8 раз (в среднем с 7 секунд до 18 секунд), а в группе сравнения в 2,1 раз (в среднем с 7 до 15 секунд) ( $P < 0,005$ ).

- результаты инструментального анализа голоса: HNR в группе пациентов с обострением хроническим ларингитом увеличился с 13,3 dB до 20,9 dB (на 57%) ( $P < 0,001$ ). Jitter уменьшился с 1,0 до 0,34 (на 66%), Shimmer уменьшился с 10,8 до 3,4 (на 78%);

- длительность обострений у больных с хроническим ларингитом в основной группе составила 17,11 $\pm$ 1,34 дней ( $P < 0,001$ ), против 29 $\pm$ 1,71 дней в группе сравнения ( $P < 0,001$ ).

Выявлено, что проводимое лечение позволяет достичь одного и того же результата по выраженности клинического эффекта как в основных, так и в группах сравнения. Различия заключаются, прежде всего, в сроках восстановления. Полное восстановление голоса в группе пациентов с обострением хронического ларингита наступает при использовании нового комплекса лечения (в среднем) за 14-16 дней, без неё - за 21-30 дней. В группе пациентов с острым ларингитом полное выздоровление наступало за 7-10 дней, а без применения разработанного комплекса лечения - за 14-16 дней. Полученные результаты представлены на рис. 3.

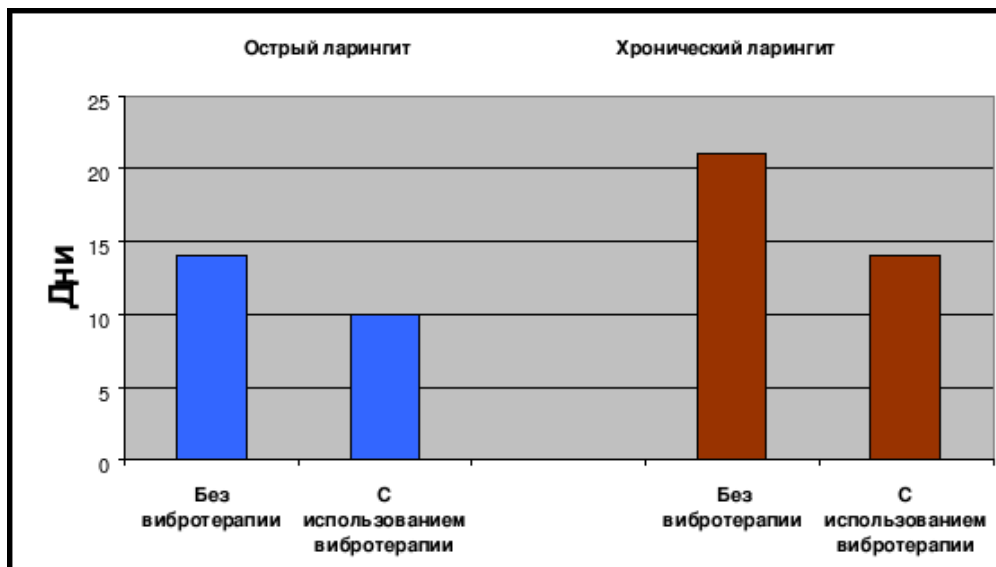


Рис.3. Сроки восстановления голоса пациентов

**Заключение.** Разработанный комплексный метод низкочастотной вибротерапии и бактериофаготерапии, показал достаточную клиническую эффективность при лечении больных голосоречевых профессий с острым и обострением хронического ларингита. По сравнению со стандартным лечением, применение разработанного метода позволяет в более короткие сроки существенно купировать воспалительный процесс и нормализовать голосовую функцию у 80% больных основных групп по объективным и субъективным показателям. У 20% больных основных групп при восстановлении за такое же время объективных показателей оставались жалобы на дискомфорт при фонации и быструю усталость голоса дополнительно на 3-5 дней. Метод значительно сокращает продолжительность лечения, предотвращает развитие осложнений, уменьшает число дней нетрудоспособности, экономичен, легко переносится больными, прост в применении в условиях поликлиники.

Разработанный комплекс восстановительного лечения оптимизирует результаты терапии больных с исследуемой патологией за счет усиления противоотечного, противовоспалительного, стимулирующего обезболивающего эффектов, что способствует более быстрому и качественному восстановлению голоса пациентов.

#### Список используемой литературы:

1. Аникеева З.И. Современные методы диагностики и комплексного лечения заболеваний респираторного тракта у профессионалов голоса в амбулаторных условиях. – М.: «Граница».- 2011.- 416 с.
2. Аникеева З.И., Рудин Л.Б. Перспективы развития фониатрической службы России на современном этапе. //Голос и речь. – 2010. - № 1(1). - С. 32-39.
3. Аникеева З.И. Влияние неблагоприятных условий труда на заболеваемость вокалистов // Голос и речь. - 2011. - № 2 (4). – С. 13-20.

4. Бабияк В.И. Клиническая оториноларингология. Руководство для врачей. /Бабияк В.И., Накатис Я.А./ –СПб.: Гиппократ, - 2005.- 860с.
5. Богомильский М.Р., Радциг Е.Ю. Ларингит у детей: особенности течения и лечения // Вестник оториноларингологии.- 2009. - №1.- С. 45-49.
6. Зеленкин Е.М., Прозоровская К.М., Петровская А.Н.,Завгородняя Е.Г., Кандурова А.Н. Клинико-иммунологические аспекты вибротерапии синусита // Вестник оториноларингологии. - 2000.- №5 – С.66-69.
7. Креймер А.Я. Вибрация как лечебный фактор. Томск.:Изд-во Томского университета, 1972. - 260 с.
8. Осипенко Е.В. Противовоспалительная терапия в лечении больных хроническим ларингитом / Е.В. Осипенко // Вестник оториноларингологии. - 2009.- № 4.- С. 63-65.
9. Панкова В.Б. Профессиональные заболевания голосового аппарата у профессионалов голоса. Первый международный междисциплинарный конгресс «Голос»: Сб. тр. / М., 2007. – С. 90-93.
10. Плешков И.В., Аникеева З.И. Заболевания голосового аппарата у вокалистов и представителей речевых профессий. М.:ГЭОТАР-МЕД. - 2003.- 168с.
11. Пономаренко Г.Н. Физические методы лечения. СПб.: ВМедА, 2002. - 299 с.
12. Debarbieux L. Experimental phage therapy in the beginning of the 21st century. Med Mal Infect.// 2008 Aug;38(8):421-5. Epub 2008 Aug 9. Review. French.
13. Eyer L, Pantůček R, Růžicková V, Doskar J. [New perspectives of the phage therapy].Klin Mikrobiol Infekc Lek.// 2007 - Dec;-13(6):231-5. Review. Czech
14. Klein GO. [Bacteriophage therapy can be the rescue when antibiotics no longer work]. Lakartidningen.// 2009 Sep 30-Oct 6;106 (40):2530-3. Review. Swedish. No abstract available.
15. Miedzybrodzki R, Fortuna W, Weber-Dabrowska B, Górski A.Phage therapy of staphylococcal infections (including MRSA) may be less expensive than antibiotic treatment. Postepy Hig Med Dosw (Online).//2007. - Aug 3;61:461-5.
16. Sliwa-Dominiak J, Witkowska M, Deptuła W. Biological alternatives to antibiotics Przegl Epidemiol.// 2010 - 64(3): - 399-403. Review. Polish.

#### **Вибротерапия острых и обострений хронических ларингитов у пациентов голосоречевых профессий: оценка результатов функциональных проб.**

***Т.Н. Зарипова, В.И. Мухина***

*ФГБУН «Томский НИИ курортологии и физиотерапии ФМБА России», г. Томск, Россия  
Городской фониатрический кабинет МБЛПУ «Поликлиника № 10», г. Томск, Россия*

***E-mail: vim16@sibmail.com***

Хронический ларингит составляет от 8,4 до 50,2 % всей патологии гортани. По данным обращаемости к фониатру - это заболевание занимает первое место в структуре болезней голосового аппарата взрослого населения [6,2,3]. Среди большого круга причин развития хронического ларингита выделяются часто повторяющиеся недолеченные острые ларингиты. Особую важность качество лечения острого и обострения хронического ларингита приобретает у лиц голосоречевых профессий, постоянно испытывающих большую нагрузку на голосовой аппарат [3,7,8].

Традиционно, лечение острого и обострения хронического ларингита сводится к назначению антибиотиков, противовоспалительных средств, антигистаминных препаратов, т.е. акцент в лечении делается на медикаментозную терапию [6,10]. И лишь отдельные публикации отражают целесообразность назначения таким пациентам методов фонопедии и физиотерапевтического лечения [4,5,8,9]. Нарушение голосовой функции снижает качество жизни человека, создает трудности в работе, особенно у лиц голосоречевых профессий, нетрудоспособность которых нередко составляет 1-2 месяца [1,3,8]. Поэтому, своевременная и качественная реабилитация лиц голосоречевых профессий с нарушенным голосообразованием – актуальная социальная задача.

Цель данного исследования: обоснование эффективности нового способа лечения больных острым ларингитом и обострением хронического ларингита, у лиц голосоречевых профессий с позиций функционального восстановления голосового аппарата.

Обследованы 123 больных: 43 с острым ларингитом (I группа), 80 – с обострением хронического (II группа). Каждая из групп в зависимости от метода лечения делилась на основную (1«а» – 22; 2«а» – 58 больных) и группу сравнения (1«б» – 21 и 2«б» – 22 больных).

Больные основных групп, начиная со 2-3 дня болезни (обострения), получали воздействие аппаратной вибрации на область гортани и воротниковой зоны, инстилляцией бактериофага на фоне приема традиционной медикаментозной терапии. Больные групп сравнения получали только стандартную медикаментозную терапию. Продолжительность нетрудоспособности в основных группах была 8,14  $\pm$  3,0 и 16,8  $\pm$  5,1 дня, что было существенно короче, чем в группах сравнения: 19,0  $\pm$  6,0 и 29,0  $\pm$  7 дней;  $P(1) = 0,000$  и  $P(2) = 0,000$ . Обследование осуществлялось до начала и при его завершении.

Помимо клинического наблюдения за больными, анализировалось время максимальной фонации гласных букв: «А», «О», «У», «И», «Э» в секундах, а также данные стробоскопии: нарушение колебаний голосовых складок, нарушение синхронности колебаний, изменение амплитуды колебаний, изменение фазы открытия, изменение фазы закрытия и индекс вибраторной недостаточности, выраженные в баллах.

Выявлено, что включение в лечение вибрационного массажа и инстилляцией бактериофага позволяет за более короткие сроки добиться более качественного восстановления клинической симптоматики. За период лечения время максимальной фонации гласных у больных острым ларингитом существенно возрастало как у больных 1«а», так и 1«б» групп. Однако в 30-40 % случаев в 1«а» и в 30 -52 % случаев во 1«б» группе больные не достигали нормативных значений. Показатели стробоскопии также существенно улучшались без существенного различия в основной группе и в группе сравнения за исключением того факта, что равнозначный эффект достигался за более короткий срок лечения.

У больных с обострениями хронического ларингита наблюдалось после лечения существенное удлинение времени фонации гласных, но у 40 – 58 % больных основной группы и у 50 – 68 % группы сравнения оно не достигло данных здоровых. При этом время фонации звуков «А» и «И» в основной группе превышало таковое в группе сравнения ( $P < 0,05$ ). Частота нарушений всех стробоскопических показателей в основной группе существенно сокращалась. В группе сравнения не наблюдалось случаев нарушения синхронности и амплитуды колебаний голосовых складок. При этом, величина средних значений указанных показателей после лечения существенно различалась (межгрупповой анализ:  $P = 0,03$ ) с данными основной группы.

Таким образом, выполненное исследование позволяет считать целесообразным включение в лечебный комплекс больных ларингитом воздействие аппаратной вибрации и инстилляций бактериофага. При этом, если у больных острым ларингитом это позволяет сократить лишь сроки лечения, то у больных с обострением хронического ларингита - ещё и улучшить качество восстановления функционального состояния голосового аппарата.

#### Список используемой литературы:

1. Аникеева З.И. Влияние неблагоприятных условий труда на заболеваемость вокалистов // Голос и речь. 2011. - № 2 (4), – С. 13-20.
2. Бабияк В.И. Клиническая оториноларингология. Руководство для врачей. /Бабияк В.И., Накатис Я.А./ – СПб.: Гиппократ, 2005. – 860 с.
3. Василенко Ю.С. Голос. Фонологические аспекты.// – М.: Энергоиздат. 2002. - 480с;
4. Махоткина Н.Н. Нейромышечная электрофонопедическая стимуляция у пациентов с патологией голосового аппарата. Автореферат на соиск. уч степени к.м.н. – СПб.: - 2009. – 18 с.
5. Михалевская И.А. Возможности фонопедической реабилитации голоса в условиях Федерального научно-клинического центра оториноларингологии. Материалы XIII съезда оториноларингологов России, – СПб.: 26-28 апреля 2011г., – С. 367-368.
6. Осипенко Е.В. Противовоспалительная терапия в лечении больных хроническим ларингитом / Е.В. Осипенко // Вестник оториноларингологии. - 2009. - № 4.- С. 63-65.
7. Панкова В.Б. Профессиональные заболевания голосового аппарата у профессионалов голоса. Первый международный междисциплинарный конгресс «Голос»: Сб. тр. / М., 2007. – С. 90-93.
8. Плешков И.В., Аникеева З.И. Заболевания голосового аппарата у вокалистов и представителей речевых профессий. М.: ГЭОТАР-МЕД. - 2003. - 168с.
9. Пономаренко Г.Н. Физические методы лечения. СПб.: ВМедА, 2002. - 299 с.
10. Рябова М.А., Немых О.В. Хронический ларингит: принципы патогенетического лечения. // СПб.: - 2010.-139с.



**Здоровьесбережение как условие творческого развития обучающихся на уроках гуманитарного цикла**

*Л.М. Удаляя, Е.Ю. Симакова*

*Муниципальное казенное общеобразовательное учреждение  
вечерняя (сменная) общеобразовательная школа № 8, г. Томск, Россия.*

В.А. Сухомлинский утверждал, что «забота о здоровье ребёнка - это не просто комплекс санитарно-гигиенических норм и правил... и не свод требований к режиму, питанию и труду, отдыху. Это, прежде всего, забота о гармоничной полноте всех физических и духовных сил, и венцом этой гармонии является радость творчества».

«Забота о здоровье – это важнейший труд воспитателя. От жизнерадостности, бодрости детей зависит их духовная жизнь, мировоззрение, умственное развитие, прочность знаний, вера в свои силы».

Здоровье детей – это общая проблема медиков, педагогов и родителей. Решение этой проблемы зависит от внедрения в школе здоровьесберегающих технологий.

Здоровьесберегающие технологии – это система мер по охране и укреплению здоровья учащихся, учитывающая важнейшие характеристики образовательной среды, условия жизни ребенка, воздействующие на здоровье.

Цель здоровьесберегающих образовательных технологий обучения – обеспечить школьнику возможность сохранения здоровья за период обучения в школе, сформировать у него необходимые знания и навыки по здоровому образу жизни, научить использовать полученные знания в повседневной жизни.

Важная составная часть здоровьесберегающей работы – это рациональная организация урока. Показателем рациональной организации учебного процесса является объем учебной нагрузки – количество уроков и их продолжительность, включая затраты времени на выполнение заданий. Индивидуальное дозирование объема учебной нагрузки и рациональное распределение её во времени достигается благодаря применению гибких вариативных форм построения системы учебного процесса.

Русский язык и литература – серьёзные и сложные предметы. На этих уроках учащимся приходится много писать, а потому учитель-словесник должен уделять особое внимание здоровьесберегающим технологиям. На таких уроках учителя выстраивают подачу учебного материала в соответствии с динамикой внимания учащихся, учитывают время для каждого задания, чередуют виды работ: изложение нового материала – 50%, самостоятельная работа (работа с учебником (устно и письменно)) – 30%, творческие задания – 20% (рис. 1.). Новые педагогические технологии предполагают уделять достаточное внимание на уроках русского языка и литературы творческим заданиям, которые способствуют смене интересов, ритму деятельности учеников, развитию мыслительных процессов.

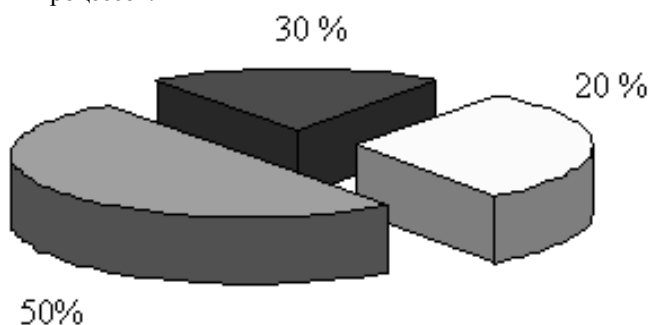


Рис. 1. Гистограмма «Анализ развития мыслительных процессов».

Из рис. 1. видно, что необходимо вводить на каждом уроке элементы творческие задания, которые составляют 20% от урока.

Таковыми элементами может быть игровая форма занятий, которая выступает как средство активизации и интенсификации учебной деятельности. Педагогическая игра обладает существенным признаком – четко поставленной целью обучения и соответствующим ей результатом, которые могут быть обосновано выделены в явном виде и характеризуются учебно-познавательной направленностью. Игровая форма занятий создается при помощи игровых

приемов и ситуаций, которые выступают как средство побуждения, стимулирования учащихся к учебной деятельности. Игра сама организует обучение, способствует развитию мыслительных операций памяти и одновременно отдыху ребят.

Учителю необходимо создать комфортные условия для речетворчества, особую творческую атмосферу, творческую активность, то есть состояние, при котором каждый ребенок, начиная с замысла и включая весь процесс его воплощения в работе, максимально полно реализует свои потенциальные способности. Основными формами организации речетворческой деятельности являются урок. На уроке учитель решает следующие речетворческие задачи: учить видеть, слышать и чувствовать текст; пополнять речевую память учащегося новыми способами создания художественного образа; развивать образное мышление, создавая условия для творчества.

Воспринимая позитивные оценки, учащиеся запоминают свои удачные находки, убеждаются в своих способностях. Развивается интерес к выполнению данных работ.

Индивидуальное дозирование объема учебной нагрузки и рациональное распределение её во времени достигается благодаря применению гибких вариативных форм построения системы учебного процесса. Использование на уроках литературы разноуровневых заданий также способствует сохранению здоровья учащихся. Различные тестовые задания с выбором ответа, с открытым ответом; задания на перегруппировку; на распознавание ошибок, на поиск ошибок позволяет избежать монотонности на уроке.

Чтобы не было перегрузки учащихся, необходимо строго соблюдать объем всех видов диктантов, тестов для изложений, а контрольные и зачетные работы проводить строго по календарно-тематическому планированию.

Любая образовательная технология должна быть психосберегающей, а значит и здоровьесберегающей. Главной задачей учителя должно быть создание на уроках такого психологического климата, такого стиля общения, который был бы адекватен психофизическим способностям обучающихся; использование методик и технологий, соответствующих возрастным и функциональным возможностям. Кроме того, педагог должен учитывать индивидуальные особенности учащихся, их мотивированность на обучение.

Творческий характер образовательного процесса – одно из необходимых условий здоровьесбережения. Поэтому учителю необходимо владеть такими методами обучения, которые создают личность, способную к творческому поиску. Одним из них является эвристический метод, когда учитель учит рассуждать, анализировать произведение, находить проблемы, поставленные автором произведения. Здесь необходимо четко формулировать вопросы, ставить проблемы по тексту художественного произведения таким образом, чтобы они последовательно вели учащихся от наблюдения над конкретным явлением к его анализу, к самостоятельно добытым знаниям – потенциалу мыслительного процесса

Как показывает практика учителей-словесников нашей школы, использование творческих заданий на уроках даёт возможность помочь слабому ученику почувствовать в себе творческие задатки, сделать личностные открытия, снять психологическое напряжение, поверить в себя. Результатом такой деятельности у наших обучающихся появляются устойчивые результаты в школьных конкурсах и олимпиадах по русскому языку и литературе, в областных олимпиадах по предметам гуманитарного цикла, где многие стали победителями и призёрами.

Каждый новый урок – это ступенька в знаниях и развитии ученика, новый вклад в формирование его умственной и моральной культуры, поэтому важно конструирование и осуществление каждого урока.

Здоровьесбережение – это принцип позитивного восприятия и принятия личности, означающий принятие обучающихся такими, каковы они есть, поиск в каждой личности положительных качеств, опираясь на которые можно сформировать другие, более значимые свойства личности, оптимизм и веру в свои возможности и способности. Это и принцип конфиденциальности, предусматривающий установление отношений открытости, уверенности в надёжности получаемой информации, сохранение профессиональной тайны в отношениях между педагогом и учащимися.

#### **Список используемой литературы:**

1. Селевко Г.К. Современные образовательные технологии. - М. : Народное образование, 1998.
2. Шишкова Т.А. Справочник социального педагога. - М. : ВАКО, 2007.
3. Сухомлинский В.А. О воспитании. – М. : АРКТИ, 2003.
4. Бахвалов В.А. Методики и технологии образования. – Рига : 1997.

**Здоровьесберегающие технологии в условиях вечерней школы  
на уроках гуманитарного цикла****Е.Ю. Симакова***Муниципальное казенное общеобразовательное учреждение  
вечерняя (сменная) общеобразовательная школа № 8, г. Томск, Россия*

Основной контингент вечерней школы взрослых закрытого типа составляют обучающиеся в возрасте 18-30 лет. Такая общеобразовательная школа взрослых собирает контингент учащихся разнородный по уровню подготовленности, развитию познавательных способностей, мотивации учебной деятельности. Такая разнородность контингента обучаемых объективно предопределяет специфику школы взрослых: её дидактическая система должна обеспечивать нестандартно социализирующейся личности возможность адаптироваться в социуме. При этом специфические особенности личности и приобретенного ею опыта должны рассматриваться как объект коррекции. Для этого надо предусмотреть учет и коррекцию девиаций прежнего социального и дидактического опыта учащихся. Следует иметь в виду, что девиации могут быть негативными (дидактическая запущенность, опыт антисоциального поведения), позитивными (взрослость, личностная зрелость) и неоднозначными (неадекватная тревожность, болезненная самооценка, повышенная самостоятельность).

Традиционно сложные задачи эффективной организации процесса воспитания переходят в школе взрослых в плоскость еще более трудных проблем перевоспитания, связанного с перестройкой так называемых динамических стереотипов поведения.

Непременным условием развития личности становится предварительная ликвидация (или хотя бы ослабление) следствий прежнего негативного опыта учащихся. Восстановительный период – одна из главных дидактических, организационных и психологических проблем школы взрослых. Здесь дидактика общего образования взрослых непосредственно соприкасается с коррекционной педагогикой, где предоставляются образовательные услуги с варьируемым темпом обучения.

В таких условиях обеспечивается относительно быстрое снятие негативных следствий прежнего образовательного опыта, снижение психологических барьеров, сопутствующее раскрепощение познавательных способностей. Как следствие, на таком благоприятном дидактическом фоне становится успешной образовательная деятельность, устраняется дефицит знаний, повышается самооценка личности, нормализуется общий процесс социализации личности.

Данная организационно-дидактическая модель реально способствует социальной реабилитации специфического контингента учащихся современной школы взрослых средствами образования. Социально реабилитировать учащегося школы взрослых – значит средствами образования обеспечить ему возможность свести к минимуму его отставание в плане главных показателей нормы общей социализации.

Учащийся школы взрослых отстает от своего возрастного потока. Однако главными психологическими условиями снятия дополнительно возникающих барьеров являются оптимистическое программирование обучения со стороны педагогов и обязательное обеспечение успешности возобновляемой учебной деятельности каждого ученика, четкое фиксирование факта успешности в его собственном представлении и в представлении окружающих.

Однако не только важно знать, но и понимать, что должен делать учитель на уроке, чтобы сохранить психическое здоровье учащихся. Из опыта работы я поняла, что обучение направлено на обеспечение психического здоровья учащихся. Это достигается через учет особенностей класса (изучение и понимание человека), создание благоприятного психологического фона на уроке, использование приемов, способствующих появлению и сохранению интереса к учебному материалу, создание условий для самовыражения учащихся, инициацию разнообразных видов деятельности, предупреждение гиподинамии. Соблюдение всех этих компонентов приводит к предотвращению усталости и утомляемости, повышению мотивации к учебной деятельности, росту учебных достижений.

Как это ни парадоксально, но для большинства учащихся зона их ближайшего развития лежит в прошлом опыте – в оперировании полузабытым, плохо усвоенным ранее материалом. Этот опыт необходимо актуализировать, систематизировать, активизировать и тем самым создать предпосылки для выхода на уровень развития, обеспечивающий в дальнейшем понимание и усвоение нового материала в нормальном учебном темпе.

Не всем учащимся легко дается русский язык, поэтому проводится работа по профилактике стрессов. Хорошие результаты дает работа в парах, в группах, где ведомый более

слабый учащийся чувствует поддержку товарища. Чтобы не было перегрузки учащихся, соблюдается объём всех видов диктантов, текстов для изложений, а контрольные и зачётные работы проводить строго по календарно-тематическому планированию. Различные тестовые задания с выбором ответа, с открытым ответом; задания на перегруппировку; на распознавание ошибок, на поиск ошибок позволяет избежать монотонности на уроке. Для лингвистического анализа использую, в качестве контрольных, самостоятельных работ, тексты, пропагандирующие спорт.

Последовательное формирование здоровьесберегающего образовательного пространства залог того, что получение образования учащимися происходит без ущерба для здоровья. Воспитание у учеников культуры здоровья, под которой понимают не только грамотность в вопросах здоровья, достигаемую в результате обучения, но и практическое воплощение потребности вести здоровый образ жизни, заботиться о собственном здоровье.

Основой статьи Скурихиной Н.В. «Концептуальные основы разработки здоровьесберегающих образовательных технологий» является определение компонентов здоровьесберегающих технологий: аксиологический; гносеологический; здоровьесберегающий; эмоционально-волевой; экологический. В условиях обучения в школе взрослых закрытого типа актуальными компонентами являются аксиологический, гносеологический, здоровьесберегающий; эмоционально-волевой;

Аксиологический компонент проявляется в осознании учащимися высшей ценности своего здоровья, убежденности в необходимости вести здоровый образ жизни. Осуществление аксиологического компонента происходит на основе формирования мировоззрения, внутренних убеждений человека, определяющих рефлексию и присвоение определенной системы духовных, медицинских, социальных знаний. Таким образом, воспитание направляется на формирование ценностно-ориентированных установок на здоровье, здоровьесбережение и здравотворчество, построенных как неотъемлемая часть жизненных ценностей и мировоззрения. В школе взрослых воспитательный и образовательный процессы связан с коррекцией представлений о здоровом образе жизни, так как обучающиеся хорошо знакомы с табакокурением, алкоголем, наркотиками и представление о будущей жизни неясны. Для чёткого представления и определения задачи на будущее каждый классный руководитель школы взрослых представляет наглядные пособия, проводит классные часы, объясняющие вопросы здоровьесбережения.

Гносеологический компонент связан с приобретением необходимых для процесса здоровьесбережения знаний и умений, познанием себя, своих потенциальных способностей и возможностей, интересом к вопросам собственного здоровья. Это происходит благодаря процессу формирования знаний о закономерностях становления, сохранения и развития здоровья человека, усвоению знаний о здоровом образе жизни и умений его построения. Этот процесс направлен на формирование системы практических знаний, умений и навыков поведения в повседневной деятельности, обеспечивающих ценностное отношение к личному здоровью и здоровью окружающих людей. Они побуждают человека заботиться о своем здоровье, вести здоровый образ жизни, заранее предусматривать и предотвращать возможные отрицательные последствия для собственного организма и образа жизни. Учителя вечерней школы закрытого типа, реализуя гносеологический компонент, особое внимание уделяют просмотру вместе с обучающимися документальных фильмов о здоровом образе жизни. В школе собрана видеотека таких фильмов («А вы проверялись на СПИД?». Ленфильм.1995г.; «Право на жизнь». Videостудия «Кварт». г. Москва; «Наркомания». Документальный фильм. «Студия Люмьер. 1998 г.; «Эпидемия» Документальный фильм. 2008 г.).

Здоровьесберегающий компонент включает систему ценностей и установок, которые формируют систему гигиенических навыков и умений, необходимых для нормального функционирования организма, а также систему упражнений, направленных на совершенствование навыков и умений по уходу за самим собой, одеждой, местом проживания, окружающей средой. Особая роль в этом компоненте отводится соблюдению режима питания, чередования труда и отдыха, что способствует предупреждению образования вредных привычек, функциональных нарушений заболеваний, включает в себя психогигиену. Обучающиеся вечерней школы закрытого типа по режиму содержания выполняют этот компонент.

Эмоционально-волевой компонент включает в себя проявление психологических механизмов – эмоциональных и волевых. Необходимым условием сохранения здоровья являются положительные эмоции; переживания, благодаря которым у человека закрепляется желание вести здоровый образ жизни. На уроках гуманитарного цикла задачи, стоящие перед учителем-словесником, во многом отличаются от целей и задач других учителей-предметников. По

большому счету, главная цель – это проблемы нравственности, развитие творческой личности, а также проблема подготовки ученика как языковой личности. Задачи эти предполагают, конечно, в первую очередь работу с текстом, с художественным словом, с книгой. Активные методы изучения текста, когда ученик является субъектом обучения, где возможен диалог друг с другом и преподавателем – это, как правило, положительные эмоции, связанные с примерами героев русской классической литературы.

Здоровье обучающихся школы взрослых – это одна из главных дидактических задач современной школы. Задача нашей школы состоит в том, чтобы помочь каждому ученику развить свои способности, помочь правильно выразить свои мысли и чувства, очень чётко координировать себя в современном обществе.

#### Список используемой литературы:

1. Дюков В.М., Скурихина Н.В. «Индивидуальное здоровье человека. Основы»: монография. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012.
2. Дюков В.М., Семенов И.Н. Специализированный учебный курс «Проблемы проектирования и развития «Школы здоровья». Модуль «Школьная политика, стратегия и тактика в области охраны здоровья». – Киев: Здоровье, 2007.
3. Бьюзен Т. Интеллект-карты для здоровья / пер. с англ. Ю. Андреева. – Мн.: Попурри, 2010.
4. Вершинин В.Н., «От вечерней школы к модели открытого образования». – Ульяновск: 2010.
5. Скурихина Н. В., Инновация «Концептуальные основы разработки здоровьесберегающих образовательных технологий». - Красноярский филиал Института рефлексивной психологии, 2012.

УДК 616.24. – 002.5 – 031.86 – 07 : 001.894

#### Направления совершенствования диагностики малых форм туберкулеза легких в общеврачебной практике

*С.П. Мишустин, Н.Г. Кривоногов\*, Т.С. Агеева\*\*, Е.Л. Мишустина\*\*, А.В. Дубоделова\*\**

*ОГБУЗ «Томский областной противотуберкулезный диспансер», г. Томск, Россия;*

*\*ФГБУ РАМН Научно-исследовательский институт кардиологии СО РАМН, г. Томск, Россия;*

*\*\*ТБОУ ВПО «Сибирский государственный медицинский университет» Министерства  
здравоохранения Российской Федерации, г. Томск, Россия*

*E-mail: [sergeymish@inbox.ru](mailto:sergeymish@inbox.ru)*

Показано, что для одной из малых форм туберкулеза легких – инфильтративного туберкулеза легких – характерны определенные изменения интегральных и регионарных значений альвеолярно-капиллярной проницаемости (АКП), регистрируемых при проведении вентилиционно-перфузионной пульмоносцинтиграфии, которые свидетельствуют об изменении состояния альвеолярно-капиллярной мембраны, что может иметь дополнительное значение для раннего выявления заболевания в общеврачебной практике

Российская Федерация (РФ) относится к 16 из 22 самых неблагополучных по туберкулезу стран, на которые приходится 80% случаев заболеваний, поэтому в РФ туберкулез признан социально значимым и социально опасным заболеванием [1,2]. Среди вновь диагностированных случаев туберкулеза отмечается нарастание случаев малых форм туберкулеза легких – очагового и инфильтративного туберкулеза легких (ИТЛ), которые в общеврачебной сети представляют наибольшие диагностические трудности, поскольку начальные признаки заболевания нередко принимаются за внебольничную пневмонию (ВП) [3,4]. Это является существенным аргументом актуальности ранней диагностики ИТЛ, которая неотделима от дифференциации его от ВП [5]. В лучевой диагностике туберкулеза легких хорошо известна роль компьютерной томографии в выявлении малых форм туберкулеза легких, в ряде случаев позволяющей исключить другие заболевания органов дыхания. Однако, несмотря на общепризнанные преимущества компьютерной томографии, диагностическая ценность данного метода здесь трактуется неоднозначно [5]. Выполненные ранее исследования дают основание полагать, что вентилиционно-перфузионная пульмоносцинтиграфия может занять определенное место в ряду дополнительных методов диагностики малых форм туберкулеза легких, поскольку метод позволяет оценить и выявить ранние нарушения легочной микроциркуляции и вентиляции, а также состояние альвеолярно-капиллярной проницаемости (АКП), и тем самым получить дополнительные скинтиграфические критерии для дифференциальной диагностики ИТЛ и ВП [6,7,8].

Цель: изучить структуру малых форм туберкулеза легких в Томской области и определить изменения альвеолярно-капиллярной проницаемости (АКП) при инфильтративном туберкулезе легких и внебольничной пневмонии для оптимизации дифференциальной диагностики заболеваний.

#### **Материалы и методы**

Выполнен ретроспективный анализ электронного регистра контингентов больных туберкулезом легких в Томской области за период 2000-2010 годов. Кроме того, у 20 пациентов ВП и 20 пациентов ИТЛ с верхнедолевой локализацией процесса был произведен анализ первоначальной клинической симптоматики, для чего были проанализированы и сопоставлены преморбидный фон и клинико-лабораторные симптомы/синдромы заболеваний, и из них у 16 пациентов ВП и 20 пациентов ИТЛ была проведена вентиляционная пульмоноскintiграфия с оценкой интегральной АКП в пораженном легком (ПЛ) и регионарной АКП в пораженной зоне (ПЗ) по динамике выведения радиофармпрепарата ( $^{99m}\text{Tc}$  ДТРА). Скintiграфические исследования были выполнены на гамма-камере «Омега-500» («Technicare» США-Германия). Регистрацию изображений проводили в матрицу 128×128 специализированного компьютера. Обработку полученных скintiграмм осуществляли при помощи пакета прикладных программ «SCINTI» (НПО «ГЕЛМОС», Россия). Вентиляционную пульмоноскintiграфию проводили непосредственно после ингаляции аэрозоля, используя диэтиленetriаминпентаацетат (ДТПА), меченный  $^{99m}\text{Tc}$ -Технецием –  $^{99m}\text{Tc}$ -Пентатех («Диамед», Россия). Для приготовления радиоактивного аэрозоля в специальную емкость ингалятора помещали указанный радиофармпрепарат (РФП) в объеме 3 мл с удельной активностью 74-111 МБк/мл (555-740 МБк в 3 мл). Продолжительность ингаляции составляла не более 5-7 мин при обычном для пациента ритме и глубине дыхания и подаче ингалируемой смеси под давлением 0,5-0,7 МПа. Регистрацию скintiграфических изображений проводили в задне-прямой (POST) – 1-я мин после ингаляции, затем – передне-прямой (ANT) и боковых проекциях (LL 900, RL 900), после чего через 10 и 30 мин от момента окончания ингаляции РФП пациенту повторно проводили статическую скintiграфию легких лишь в задне-прямой проекции. Время экспозиции на каждую позицию составляло 2 мин. Определение альвеолярно-капиллярной проницаемости (АКП) проводили по разработанной нами методике [9].

Радионуклидные исследования были согласованы с этическим комитетом ФГБУ РАМН Научно-исследовательский институт кардиологии СО РАМН, а у больных получено информированное согласие.

Полученные данные подвергали статистической обработке при помощи программы STATISTICA 6,0 for Windows. Количественные показатели представляли в виде  $X \pm m$ . Поскольку закон распределения большинства исследуемых числовых показателей отличался от нормального, достоверность различия признаков в независимых совокупностях данных определяли при помощи U-критерия Манн-Уитни (или W-критерия Вилкоксона в случае зависимых совокупностей). Критический уровень значимости при проверке статистических гипотез в исследовании задавали величиной 0,05.

#### **Результаты и обсуждение**

Ретроспективный анализ электронного регистра контингентов больных туберкулезом в Томской области за период 2000-2010 годов позволил охарактеризовать распространенность и структуру малых форм туберкулеза легких за указанный период времени. В результате было обнаружено, что распространенность малых форм туберкулеза легких среди новых случаев туберкулеза легких в Томской области за 11-летний период постоянно увеличивалась – с 24,55% в 2000 г. до 37,39% в 2010 г. При этом в структуре малых форм туберкулеза легких в течение последних 11 лет были обнаружены значительные изменения в виде возрастания удельного веса инфильтративного туберкулеза легких – с 19,32% в 2000 г. до 42,20% в 2010 г. Причем, малые формы туберкулеза легких стали чаще отмечаться у лиц трудоспособного возраста (20-60 лет), а среди работающего населения их доля возросла до 40,89%.

У пациентов ВП и ИТЛ были проанализированы и сопоставлены показатели преморбидного фона, клинико-лабораторные симптомы/синдромы в дебюте заболеваний и было показано отсутствие достоверных различий частоты регистрации анализируемых признаков, причем даже синдром уплотнения легочной ткани одинаково часто регистрировался при ВП и ИТЛ ( $p > 0,999$ ). При сравнительном анализе интегральных АКП в ПЛ при ВП и ИТЛ были обнаружены отличия значений АКП как на 10-й мин, так и на 30-й мин исследования. На 10-й мин в ПЛ интегральная АКП была повышена при ВП – 19,54 (16,94-22,14)% по сравнению с интегральными значениями АКП при ИТЛ – 11,34 (10,64-12,04)% ( $p = 0,003$ ). На 30-й мин исследования интегральная АКП в

ПЛ при ВП составляла 31,93 (29,50-34,36)% и была повышена по сравнению с АКП при ИТЛ – 29,35 (27,91-30,79)% ( $p=0,030$ ). Регионарные значения АКП в ПЗ при ВП и ИТЛ отличались на 10-й исследования ( $p=0,049$ ): при ВП регионарная АКП на 10-й мин исследования в ПЗ составила 22,93 (20,87-23,61)% и была повышена по сравнению с регионарными АКП при ИТЛ – 13,61 (12,71-14,31)% ( $p=0,004$ ).

#### **Выводы**

За последнее десятилетие среди новых случаев туберкулеза легких в Томской области увеличивается распространенность малых форм туберкулеза легких, при этом в их структуре возрастает доля инфильтративного туберкулеза легких (42,20%). Для раннего распознавания нозологической принадлежности ограниченного инфильтративного поражения легких (внебольничная пневмония или инфильтративный туберкулез легких) в качестве дополнительного диагностического критерия рекомендуется использовать оценку значений альвеолярно-капиллярной проницаемости в пораженном легком и пораженной зоне легкого, которые имеют значительные различия при этих заболеваниях.

#### **Список используемой литературы:**

1. Доклад Генерального директора Всемирной организации здравоохранения, 1998-2003 гг., Женева, 2003.
2. Ерохин В.В., Пунга В.В. Нарастание угрозы туберкулеза // Доклад о развитии человеческого потенциала в Российской Федерации за 2001 год / под ред. С.Н. Бобылева. – М., 2002. – С. 54–56.
3. Дейкина О.Н., Мишин В.Ю., Демихова О.В. Дифференциальная диагностика туберкулеза легких и внебольничной пневмонии // Проблемы туберкулеза. – 2007. – № 1. – С. 39–42.
4. Мишин Ю.В., Собкин А.Л., С.П. Завражных. Пульмоноскинтиграфия легких больных туберкулезом с сопутствующей неспецифической инфекцией // Проблемы туберкулеза. – 2006. – № 12. – С. 29–31.
5. Респираторная медицина в 2 т. / под ред. А.Г. Чучалина. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2007. – Т.1. – С. 632-635.
6. Радионуклидная диагностика для практических врачей / под ред. Ю.Б. Лишманова, В.И. Чернова. – Томск : СТТ, 2004. – С. 138-157.
7. Рубин М.П., Кулешова О.Д., Чечурин Р.Е. Радионуклидная перфузионная скинтиграфия легких: методика исследования и интерпретации результатов // Радиология – Практика. 2002. – № 4. – С. 16-21.
8. Лишманов Ю.Б. Радионуклидная оценка альвеолярно-капиллярной проницаемости для раннего распознавания нозологической принадлежности инфильтрата в легком / Лишманов Ю.Б., Кривоногов Н.Г., Агеева Т.С. и др. // Пульмонология. 2011. – №4. – С. 60-64.

#### **Медико-демографические показатели здоровья и воспроизводства населения Иркутской области**

*М. О. Кондакова*

*Восточно-Сибирская государственная академия образования, г. Иркутск, Россия*

*E-mail: kondakova\_marina@mail.ru*

Определение понятия «здоровье» находится в центре внимания врачей с момента появления научной медицины и до сегодняшнего дня остается предметом дискуссий. Можно сказать, что здоровье – это отсутствие болезни. Всемирная организация здравоохранения рассматривает здоровье как позитивное состояние, характеризующее личность в целом, и определяет его как состояние полного физического, духовного (психологического) и социального благополучия, а не только как отсутствие болезней и инвалидности.

Общественное здоровье – основной признак, основное свойство человеческой популяции (населения определенной территории), ее естественное состояние. Общественное здоровье отражает как индивидуальные приспособительные реакции каждого отдельного человека, так и способность всей общности наиболее эффективно работать, защищать страну, помогать старикам и детям, охранять природу и т.д., то есть осуществлять свои социальные задачи, а также воспроизводить и воспитывать новые здоровые поколения – выполнять свои биологические функции.

Качество общественного здоровья достаточно убедительно отражает условия жизни, т.е. является индикатором этих условий и служит показателем приспособленности (адаптированности) конкретной популяции людей к среде своего обитания [1].

При оценке здоровья населения учитывается и такой немаловажный фактор, как фактор региональной особенности, который складывается из целого ряда элементов: климата, рельефа, степени антропогенных нагрузок, развития социально-экономических условий, плотности населения, промышленных аварий, катастроф и стихийных бедствий и т.п. Вызывает большую озабоченность тот факт, что в настоящее время Российская Федерация по уровню смертности и средней продолжительности жизни устойчиво занимает одно из последних мест среди индустриально развитых стран [2]. О качестве общественного здоровья в нашей стране можно получить определенное представление при сравнении данных медицинской статистики России и Иркутской области в частности.

В Иркутской области по данным переписи населения России в 2010 (ВПН-2010) году численности населения составляет 2502691 человек, мужчин и женщин от 0 до 15 лет – 472897 человек, мужчины от 16 до 59 и женщины от 16 до 54 лет – 1564182 человек, мужчины 60 лет и более, женщины от 55 и более – 465612 человек (таблица 1). Таким образом, в Сибирском федеральном округе проживает 13,8 % от всего населения России. А в Иркутской области 1,8 % населения нашей страны. Причем детей (мужчины и женщины от 0 до 15 лет) в Иркутской области больше, чем в среднем по России [3].

По итогам ВПН-2010 Иркутская область, по числу постоянного населения переместилась по Сибирскому федеральному округу на 4 место после Красноярского края, Кемеровской и Новосибирской областей. По итогам переписи населения 2002г. область занимала 5-ое место после Алтайского края. Численность населения снижается с 1990 года [3,4].

Таблица 1

Численность и состав населения Российской Федерации и Сибирского Федерального округа в различных возрастных группах по данным на 2010 год

	Численность населения – всего человек (доля в % от показателей РФ)	Доля возрастных групп в общей численности населения, %		
		Пререпродуктивный	Репродуктивный	Пострепродуктивный
РФ	141914509	16,1	62,3	21,6
СФО	19561087 (13,8 %)	17,5	63,0	19,5
ИО	2502691 (1,8 %)	18,9	62,5	18,6

Благоприятно, что доля населения пререпродуктивного и пострепродуктивного возраста в Иркутской области одинакова, в отличие от показателей РФ. В первом случае, если не положительная динамика, то стабильно, а в РФ доля лиц старшего возраста превышает долю населения пререпродуктивного возраста. Это и дает положительную динамику последнего года в Иркутской области.

Наибольшее сокращения численности населения наблюдается в следующих городах области: Тулун (на 14%), Усть-Илимск (13,9%), Черемхово (12,4%), Усть-Кут (9,8%). В северных районах, таких как: Мамско-Чуйский (31,1%), Бодайбинский (27,1%), Усть-Кутский (21,7%) , Катангский (17,5%) [4].

Эти показатели возросли лишь в пяти районах: Иркутском (на 41,2%) , Шелеховском (22,2%) , Ольхонском (5,4%) , Ангарском (4,2%) и Эхирит-Булагатском (2,7%). Специалисты связывают рост населения указанных районов с тем, что жители северной части Иркутской области в поисках работы и жилья перебираются поближе к областному центру в котором экономическая обстановка более стабильна.

Анализ результатов переписи 2002 года и 2010 года показал, что за этот период статус города 100 тысячника потерял г. Усть-Илимск, а в г. Братске население стало менее 250 тыс. человек [4]. Все это говорит о том, что население в экологически неблагоприятных местах растет на территориях, где сосредоточены крупные производства (Иркутский и Шелеховский районы), которые отличаются неблагоприятной экологической обстановкой. Это не может не сказываться на состоянии здоровья населения, среднюю продолжительность жизни и на смертность.

Тем не менее, результаты последней переписи свидетельствуют об общей положительной тенденции изменения демографических показателей Иркутской области. Так, средний возраст населения Иркутской области по данным переписи 2010 года 36,5 лет (по РФ 38,9), мужчины среднего возраста 33,9 лет (по РФ 36,2), а женщины 38,7 лет (41,2) [3]. То есть в Иркутской области население моложе, чем в среднем по России.



Ожидаемая продолжительность жизни при рождении по Иркутской области (число лет) в 2008 году составила 65 лет, в 2009 - 65,5 лет; мужчины в 2008 году - 58,7 лет, в 2009 году - 59 лет; женщины в 2008 году - 71,6 лет, в 2009 году - 72,1 лет. То есть, продолжительность жизни стала увеличиваться по сравнению с 2000 годами. Однако ожидаемая продолжительность жизни в Иркутской области ниже средних показателей по стране.

Рождаемость в Иркутской области в 2007 году, которую оценивают по количеству рожденных живыми на 1000 женщин в возрасте от 15 до 49 лет, составила 48,9 детей; в 2008 году - 53,7; в 2009 году - 55,3 (табл. 2). Таким образом, в Иркутской области динамика рождаемости выше, чем в среднем как по России, так и по Сибирскому федеральному округу [3].

Таблица 2

Динамика рождаемости по количеству родившихся живыми на 1000 женщин репродуктивного возраста

	2007 год	2008 год	2009 год
РФ	41,4	44,6	46,6
СФО	45,3	49,4	51,3
ИО	48,9	53,7	55,3

Что касается смертности населения, то отмечена тенденция снижения этого показателя (табл. 3). Смертность населения от всех причин на 100 000 лиц трудоспособного возраста в 1995 году в РФ составила 808,3 человек; в 2005 году - 826,5 человек; в 2007 году - 695,4 человек; в 2008 - 685,7, а в 2009 году - 641,7 человек [3]. В Иркутской области показатели смертности, зарегистрированные в 2008 и 2009 г.г. превышали средние показатели России и Сибирского федерального округа [3].

Таблица 3

Смертность населения от всех причин (на 100 000 лиц трудоспособного возраста) в 2008 (2009) г.г.

	Мужчины 2008год (2009)	Женщины 2008 год (2009)
РФ	1860,0 (1778,7)	907,2 (870,7)
СФО	2030,0 (1943,8)	989,8 (949,2)
ИО	2125,7 (2088,7)	1039,5 (998,9)

Установлено, что основные причины смертности в РФ обусловлены болезнями системы кровообращения, в том числе ишемической болезнью сердца, цереброваскулярными болезнями и другими. Коэффициент смертности на 100 000 человек в трудоспособном возрасте от таких заболеваний уменьшается и составляет по данным на 2009 год 201,6 на 100 000 населения [3]. В 2009 году число умерших от разных болезней составило 641,7 на 100 000 населения, то есть 1/3 населения Российской Федерации умирает от болезней системы кровообращения. Отмечен высокий уровень смертности детей в возрасте от 0 до 5 лет в Иркутской области, который составил 12,6 в 2009 году и 12,4 в 2008 году, тогда как по России этот показатель 10,8 умерших детей на 1000 человек [3]. В 2009г. показатель младенческой смертности в Иркутской области (10,1 на 1000 новорожденных) был выше общероссийских (8,5 на 1000 новорожденных).

Результаты проведенного анализа данных показывают, что в настоящее время население Иркутской области по сравнению с данными Всероссийской переписи 2002г. сократилось на 5,9%. Хотя в последние годы показатели рождаемости стали превышать смертность, тем не менее, численность населения Иркутская область по все равно уменьшилось на 147659 человек. Вероятно, это объясняется большим количеством миграционных перемещений и естественной убылью населения. Естественный прирост населения Иркутской области по последним данным составляет 1,3 на 1000 человек. Соответственно, если не брать во внимание миграционные потоки, то чтобы восстановить численность населения Иркутской области до той, которая была в 2002 году - 2650350 человек, понадобится примерно 40 лет, т.е. к 2050 году.

Демографические показатели: рождаемость, смертность, миграционные процессы, заболеваемость, продолжительность жизни являются главными индикаторами уровня и качества жизни населения, благодаря чему в настоящее время они приобретают важнейшее политическое и экономическое значение. Приведенные данные дают основание сделать вывод об уменьшении численности населения, вероятно связанного с социально-экономической, экономической, экологической ситуацией в целом по стране и в частности по Иркутской области и требуют проведения дополнительных социально-гигиенических и экологических исследований.

#### Список используемой литературы:

1. Антонов А.И. Опыт исследования установок на здоровье и продолжительность жизни //Социальные проблемы здоровья и продолжительности жизни — М., 1989. С. 44—45.

2. Курс демографии: Учеб. пособие / А.Я.Боярский, Д.И.Залентей, А.Г.Вишневский и др.; Под ред. проф. А.Я.Боярского. – 3-е изд., доп. и перераб. – М.: Финансы и статистика, 1985. 161с.
3. Демографический ежегодник России. 2010: Стат.сб./Росстат.-М.,2010.-525 с.
4. Предварительные итоги Всероссийской переписи населения 2010 года. Данные по Иркутской области. - <http://irkutskstat.gks.ru>

УДК 612.21. : [616.248 : 616.23/.24 – 002.2]

### **Характеристика интегральной механики дыхания при бронхиальной астме и ХОБЛ**

**Ф.Ф. Тетнев, А.Ю. Диш, В.В. Ларченко, А.В. Левченко, Т.С. Агеева**

*ГБОУ ВПО «Сибирский государственный медицинский университет» Министерства  
здравоохранения Российской Федерации, г. Томск, Россия*

***E-mail:ts.ageeva@mail.ru***

Исследование интегральных показателей механики дыхания в ортостатическом и клиностатическом положении тела у пациентов бронхиальной астмой и хронической обструктивной болезнью легких позволило получить дополнительные факты пользу теории механической активности легких.

Над поверхностью легких давление, их окружающее, распределено неравномерно: оно изменяется сверху вниз, принимая все менее отрицательные значения [1,2,3,4]. Известно, что градиент внутриплеврального давления зависит от ориентации тела в пространстве и обусловлен весом органов средостения, легких и гидростатическим давлением жидкости в плевральной полости [5]. В клиностатическом положении, по сравнению с ортостатическим, возникают иные условия гравитации. При этом действие вертикального градиента внутриплеврального давления ослабевает и, кроме того, возникает дополнительный вентро-дорзальный градиент, а также изменяются условия взаимодействия векторов силы тяжести легких и его эластической тяги, направленной к корню легкого, увеличивается и более равномерно распределяется перфузия легких. Поэтому для расширения и уточнения представления о механических свойствах легких необходимо исследовать показатели механики дыхания в ортостатическом и клиностатическом положении тела.

Цель: изучить интегральные показатели механики дыхания в ортостатическом и клиностатическом положении тела у пациентов бронхиальной астмой (БА) и хронической обструктивной болезнью легких (ХОБЛ).

#### **Материалы и методы**

Нами было исследовано 74 человека в возрасте от 17 до 67 лет (средний возраст –  $44,3 \pm 1,4$  года). Первую группу (контрольная) составили 30 практически здоровых лиц, у которых отсутствие заболеваний и функциональных изменений органов дыхания и сердечнососудистой системы подтверждалось данными анамнеза, объективного, спирографического и электрокардиографического исследований. Вторая группа – 33 пациента ХОБЛ с длительностью заболевания от 10 до 30 лет. При спирографическом исследовании у них были выявлены нарушения вентиляции легких 2-3 степени по смешанному типу. Третья группа – 11 пациентов БА смешанного генеза с длительностью заболевания от 5 до 17 лет. По данным спирографии у них было выявлено нарушение вентиляции легких по обструктивному типу 2 степени.

Исследование проводили путем одновременной регистрации спирограммы и транспульмонального давления. Для измерения транспульмонального давления в нижнюю треть пищевода через нижний носовой ход вводили специальный зонд. В ортостатическом, а затем в клиностатическом положении тела определяли вентиляционные показатели и показатели механики дыхания. По спирограмме и кривой транспульмонального давления производили построение дыхательной петли. По величине ее площади рассчитывали общую работу дыхания ( $A_0$ ) и ее фракции – эластическую работу дыхания ( $A_{эл}$ ), неэластическую работу вдоха и выдоха ( $A_{неэл.вдох}$ ,  $A_{неэл.выдох}$ ), а так же отношение эластической фракции работы дыхания к общей, выраженное в процентах ( $A_{эл}/A_0$ ). Для оценки эластических свойств легких рассчитывали динамическую растяжимость ( $C_{дин}$ ). Общее неэластическое сопротивление (ОНС) на вдохе и выдохе определяли отношением наибольшего значения неэластического компонента транспульмонального давления к средней скорости воздушного потока. Исследования были согласованы с этическим комитетом ГБОУ ВПО «Сибирский государственный медицинский университет» Минздрава России, а у больных получено информированное согласие.

Полученные данные подвергали статистической обработке: результаты исследований анализировали вычислением средней арифметической ( $M$ ), ее стандартной ошибки ( $m$ ) и среднего квадратического отклонения ( $\sigma$ ). Для определения статистической значимости различий между группами наблюдений использовали параметрический  $t$  – критерий Стьюдента. По числу степеней свободы  $n_x+n_y-2$  определяли значимость различий. Критический уровень значимости при проверке статистических гипотез в исследовании задавали величиной 0,05.

#### Результаты и обсуждение

У здоровых лиц в клиностатическом положении по сравнению с ортостатическим минутный объем дыхания (МОД) был меньше на  $16,1\pm 5,4$  % ( $p<0,001$ ) за счет уменьшения дыхательного объема (ДО) на  $20,5\pm 6,9$  % ( $p<0,05$ ). Структура жизненной емкости легких (ЖЕЛ) изменялась: увеличивался резервный объем вдоха ( $PO_{вд}$ ) на  $34,5\pm 5,2$  % ( $p<0,01$ ) и уменьшался резервный объем выдоха ( $PO_{выд}$ ) на  $41,4\pm 6,6$  % ( $p<0,001$ ). В клиностатическом положении максимальная объемная скорость при 50% выдоха ( $МОС_{50}$ ) была снижена на  $17,7\pm 5,6$  % ( $p<0,05$ ) и максимальная объемная скорость при 75% выдоха ( $МОС_{75}$ ) – на  $23,3\pm 8,4$  % ( $p<0,05$ ), что расценивалось как снижение проходимости мелких и средних бронхов. В клиностатическом положении  $S_{дин}$  была меньше на  $20,0\pm 5,6$  % ( $p<0,01$ ), чем в ортостатическом.  $A_0$  возросла на  $35,8\pm 6,7$  % ( $p<0,05$ ) за счет увеличения  $A_{эл}$  на  $74,4\pm 8,4$  % ( $p<0,001$ ) и  $A_{неэл.вд}$  на  $54,5\pm 8,2$  % ( $p<0,05$ ). ОНС на выдохе в клиностатическом положении уменьшилось на  $52,4\pm 12,9$  % ( $p<0,001$ ). Таким образом, у здоровых лиц при переходе в клиностатическое положение тела отмечалось повышение эластического сопротивления легких, что может быть связано с увеличением объема крови в легочной ткани в горизонтальном положении. Повышение  $A_{неэл.вд}$  нами объяснялось увеличением тканевого трения за счет повышения кровенаполнения легких на вдохе. Учитывая, что ОНС на выдохе значительно снижалось, уменьшение  $МОС_{50}$  и  $МОС_{75}$  нельзя расценивать как результат снижения проходимости бронхов.

У пациентов ХОБЛ при переходе из ортостатического в клиностатическое положение тела МОД снижался на  $18,3\pm 5,8$  % ( $p<0,02$ ) за счет уменьшения ДО на  $17,6\pm 5,6$  % ( $p<0,05$ ), при этом  $PO_{выд}$  уменьшался на  $37,1\pm 10,2$  % ( $p<0,05$ ). Величина  $A_0$  и ее фракций не изменялась. Повышалось отношение  $A_{эл}/A_0$  с  $22,34\pm 3,81$  % до  $35,48\pm 2,3$  % ( $p<0,05$ ). Как и у здоровых лиц уменьшалась  $S_{дин}$  на  $65,6\pm 10,3$  % ( $p<0,001$ ). В отличие от контрольной группы ОНС на выдохе значительно повышалось – на  $49,5\pm 8,9$  % ( $p<0,002$ ), в то время как показатели пиковой объемной скорости (ПОС) и  $МОС_{25,50,75}$  не изменялись, что дает основание усомниться в том, что объемно-скоростные показатели отражают состояние бронхиальной проходимости. По-видимому, они связаны с сопротивлением грудной клетки.

У пациентов БА при изменении положения тела вентиляционные и объемно-скоростные показатели не изменились. Тем не менее  $PO_{выд}$  уменьшился на  $45,3\pm 9,8$  % ( $p<0,05$ ),  $A_0$  и ее фракции оставались на прежнем уровне. Однако, увеличилось отношение  $A_{эл}/A_0$  с  $28,29\pm 2,84$  % до  $45,34\pm 3,59$  % ( $p<0,002$ ).  $S_{дин}$  снижалась на  $42,9\pm 12,4$  % ( $p<0,02$ ), а ОНС не изменилось. Таким образом, у пациентов БА, как и у пациентов других групп, в клиностатическом положении уменьшались показатели  $PO_{вд}$ ,  $S_{дин}$ , а доля  $A_{эл}$  в общей работе дыхания увеличивалась, что свидетельствовало о возникновении у здоровых лиц и усилении у пациентов БА и ХОБЛ рестриктивных изменений в легких, что может быть связано с увеличением в них кровенаполнения в горизонтальном положении. Также было отмечено отсутствие связи между величиной ОНС на вдохе и показателями объемных скоростей  $МОС_{50,75}$ , которые снижались у здоровых лиц и не изменялись у пациентов БА и ХОБЛ, что позволяло сомневаться в диагностической ценности объемно-скоростных показателей в выявлении нарушений бронхиальной проходимости. Возможно, определенную роль в данном случае играет тканевое трение, как один из компонентов ОНС. Несмотря на снижение  $S_{дин}$  в клиностатическом положении во всех группах исследуемых,  $A_0$  не увеличилась, что связано с относительным снижением ОНС и воспринимается как парадокс, так как, казалось бы, неэластическое сопротивление должно повышаться из-за сдавления бронхов увеличенным объемом крови, смещением ДО в сторону  $PO_{выд}$ . Кроме того, в горизонтальном положении воздействие сил гравитации изменяется таким образом, что над верхними зонами легких величина внутриплеврального давления становится менее отрицательной, что должно способствовать большему проявлению клапанной обструкции бронхов. Однако именно у здоровых лиц было выявлено, не повышение, а, напротив, существенное снижение ОНС. Можно предположить, что это связано с наличием системы, способствующей поддержанию механического гомеостаза легких.

**Выводы**

Таким образом, в выполненном исследовании были обнаружены факты, которые невозможно объяснить с позиций классической механики дыхания. Так, при переходе из ортостатического положения в клиностатическое, не регистрируется повышение общей работы дыхания, несмотря на повышение значений ОНС на вдохе или на выдохе. Обнаруженные парадоксальные факты являются дополнительным свидетельством в пользу теории механической активности легких.

**Список используемой литературы:**

1. Вентиляционная функция легких (физиология, патофизиология, методы исследования) / Ю.П. Зябров, Г.А. Алтынбеков, Г.А. Абрашитова и др. – Алма-Ата: 1980. – 136 с.
2. Кольцун С.С. Функциональные методы исследования внешнего дыхания / Болезни органов дыхания : рук-во для врачей : в 4 т. / под общ. ред. Н.Р. Палева. – М. : Медицина, 1990. – Т. 3. – С. 153-161.
3. Хронический бронхит и обструктивная болезнь легких / под ред. А. Н. Кокосова. – СПб. : Лань, 2002. – 288 с.
4. Яушев М.Ф. Информативность метода пищеводного зондирования для оценки параметров механики дыхания больных туберкулезом легких // Пульмонология. – 2002. – № 4. – С. 12-17.
5. Тетенев Ф.Ф., Бодрова Т.Н. Определяет ли система плевральных листков парадоксальные явления в механике дыхания // Бюл. эксперим. биол. и мед. – 1997. – Т. 124. – № 10. – С. 384-387.

# Секция 7

## Общие вопросы энергетики

### Основные направления повышения эффективности энергоблоков АЭС

*А.Е. Болтунов*

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

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

Проанализированы и выявлены основные направления увеличения мощности энергоблоков АЭС.

Атомная электростанция (АЭС) – огромный высокоэффективный комплекс, предназначенный для выработки электрической энергии и служащий альтернативой станциям, работающим на органическом топливе.

Большинство энергоблоков АЭС спроектированы с большим запасом по основным критическим параметрам, безопасности и надежности эксплуатации. Накопленный опыт эксплуатации можно эффективно использовать для улучшения технико-экономических показателей энергоблоков, в том числе благодаря повышению номинальной мощности реакторной установки (РУ), не нарушая при этом нормы безопасности. Хотелось бы отметить, что удельные капиталовложения в мероприятия, направленные на дополнительную выработку мощности, всегда существенно ниже капиталовложений в новое строительство [1].

Существует три основных варианта увеличения мощности АЭС:

1. Повышение точности измерения параметров (можно получить до 2 % прироста мощности), которое достигается внедрением усовершенствованных методов расчета мощности реактора и использованием современных и точных приборов измерения расходов питательной воды и пара;
2. Расширение пределов повышения мощности при соблюдении проектных пределов безопасной эксплуатации (обычно позволяет увеличить ее на 2...7 %); при этом изменяются установки контрольно-измерительных приборов и не предусматривается больших объемов работ по модификации АЭС;
3. Повышение мощности на 7...20 % требует значительной модификации основного неядерного оборудования: турбин высокого давления, насосов и электродвигателей на линии конденсатно-питательного тракта, главных электрогенераторов и/или трансформаторов.

Модификация основного неядерного оборудования решается по следующим основным направлениям:

1. Снижение эрозии лопаток. Одним из факторов, ухудшающих надежность и экономичность энергоблоков АЭС, является капельная эрозия лопаточного аппарата, приводящая не только к снижению КПД, но и к необходимости через две-три межремонтные компании менять или ремонтировать рабочие лопатки последних ступеней ЦНД. Так на Кольской АЭС для снижения негативного действия эрозии используется технология нанесения защитного покрытия на последние лопатки ступени ЦНД методом электроискрового легирования.
2. Модернизация и контроль работы уплотнений. Эффективный путь повышения экономичности и надежности турбин – снижение протечек пара мимо лопаточного аппарата ступеней, благодаря совершенствованию межвенцовых и надбандажных уплотнений, а также уменьшение присосов воздуха в конденсатор в результате улучшения схем и конструкций концевых уплотнений и герметизации сварных швов патрубков в конденсатор.
3. Модернизация проточной части турбин. Экономическая эффективность АЭС может быть увеличена путем совершенствования турбоустановки. Применение лопатки последней ступени длиной 1030 мм вместо проектной 852 мм для турбины К-500-65/3000 дает прирост мощности на турбину 16 МВт, или 32 МВт на энергоблок, при той же мощности реакторной установки. Для турбины К-200-130 предложили устанавливать вместо существующих рабочих лопаток длиной 755 мм новые лопатки длиной 960 мм. Подобный вариант замены лопаток наряду с обеспечением надежности дает лопаточного аппарата дает прирост мощности 4,5 МВт на турбину [2].
4. Конденсационная установка. По условиям работы на низкопотенциальном паре на единицу мощности турбоустановки АЭС требуется большое количество пара, что приводит к более развитой поверхности конденсаторов. Применение системы шарикоочистки (СШО) позволяет увеличить экономичность энергоблоков АЭС и снизить осаждение загрязняющих частиц на

стенках трубок. Замена материала конденсаторов (замена медных трубок на нержавеющие сталь или титан) позволяет исключить образование отложений меди на оборудовании второго контура (в трубных системах конденсаторов, подогревателей низкого давления). Замена материала приводит не только к росту экономичности, но как следствие к оптимизации конфигурации трубных систем и снижению их парового сопротивления [2].

5. Система сепарации и перегрева. Особенностью влажно-паровых турбин АЭС является наличие 12...15 % влаги на выходе из цилиндра высокого давления. Для сохранения надежности и экономичности проточной части турбоустановок вода должна удаляться сепарационных устройствах, а пар перегреваться в пароперегревателях. Так для увеличения производительности энергоблока на Кольской АЭС были разработаны и внедрены внутрикотельная сепарация пара в ресиверах ЦВД перед СПП, что позволяет улавливать от 80...90 % влаги после цилиндра высокого давления.

На электрическую мощность турбины влияние оказывают следующие показатели работы СПП:

- Влажность пара после сепаратора;
- Температура нагреваемого пара после первой ступени промежуточного перегрева;
- Температура нагреваемого пара после второй ступени промежуточного перегрева.

При увеличении недогрева пара в первой и второй ступенях СПП примерно на 5 °С дает снижение электрической мощности порядка 1 МВт.

Суммарный потенциал увеличения электрической мощности АЭС России при модернизации систем ПСПП оценивается около 130 МВт [3].

6. Система регенерации пара. Характеристикой качества работы системы регенерации турбоустановок является недогрев основного конденсата (питательной воды) в подогревателях. При увеличении недогрева основного конденсата (питательной воды) мощность турбоустановки снижается. Так при недогреве питательной воды только в одном ПВД на 5 °С электрическая мощность турбины К-1000-65/1500 уменьшается на 1580 кВт. Для турбоустановки К-500-65/3000 понижение давления в деаэраторе с 6,9 МПа до 5,9 МПа приводит к снижению электрической мощности на 2000 кВт. В процессе эксплуатации значения недогрева питательной воды в подогревателях могут существенно превысить нормативные значения. В то же время уменьшение недогрева основного конденсата во всех ПВД по отношению к расчетному всего на пять градусов приводит к увеличению электрической мощности К-500-65/3000 на 2 МВт.

Любое изменение параметров рабочего тела от номинального значения влечёт за собой изменение вырабатываемой электрической энергии. По данным ОАО «Концерн Росэнергоатом» недовыработка электрической мощности для турбоустановки К-1000-60/1500 выглядит следующим образом [4]:

Таблица 1. Влияние параметров турбоагрегата К-1000-60/1500 на недовыработку электроэнергии

№	Наименование параметра	Номинальное расчетное значение	Отклонение	Потеря мощности, МВт
1	Степень сухости свежего пара, %	99,5	-0,5	-3,5
2	Давление отработавшего пара, кПа	5,0	+1,0	-11,5
3	Потери давления в паровпускных органах (СРК), %	3 ÷ 4	+1,0	-1,5 ÷ -2,0
4	Потери давления в тракте промперегрева (СПП), %	7,0	+1,0	-2,0
5	Недогрев пара в I-ой и II-ой ступенях СПП, °С	25,0	+5,0	-0,5 ÷ -1,0
6	Конечная температура питательной воды, °С	220,0	-5,0	-3,0
			Итого	23 МВт

Модернизация существующих схем АЭС и увеличение их производительности при доработке отдельных узлов работы энергоблока – это довольно сложная, но в то же время весьма эффективная мера увеличения полезной мощности, как самого блока, так и станции в целом.

Информация, полученная из научных источников, позволяет сделать вывод о возможности реализации такого решения. Такое повышение мощности позволит максимально эффективно использовать существующие схемы АЭС и обойтись без существенных вложений денежных средств в строительство новых АЭС.

Работа выполнена в рамках Госзадания «Наука» (2.7.2012).

**Список используемой литературы:**

1. Аминов Р. З., Хрусталева В. А., Духовенский А. С., Осадчий А. И. АЭС с ВВЭР: режимы, характеристики, эффективность. – М.: Энергомасиздат, 1990.
2. Давиденко Н. Н., Соломеев В. А. Модернизация турбинного оборудования АЭС // Теплоэнергетика. – 2009. - № 5. – С. 45 – 47.
3. Давиденко Н. Н., Соломеев В. А., Кругликов П. А. Совершенствование технико-экономических показателей технологического оборудования действующих АЭС // Теплоэнергетика. – 2008. - № 1. – 15-16.
4. [www.atomic-energy.ru](http://www.atomic-energy.ru).

УДК 621.311

**Влияние компенсации реактивной мощности до нуля на уровень напряжения и выбор вольтодобавочных трансформаторов**

*А.Р. Ахметшин*

*Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия*

*E-mail: [ahmetshin.ar@rambler.ru](mailto:ahmetshin.ar@rambler.ru)*

Исследовано влияние компенсации реактивной мощности до нуля на срок окупаемости, на потери активной мощности и уровень напряжения. Установлено, что компенсация реактивной мощности до нуля позволяет уменьшить потери активной мощности, уменьшить отклонения напряжения. Сделан вывод о том, что срок окупаемости батарей конденсаторов при переходе от нормативного значения  $\text{tg}\varphi$  до нуля в сети 0,4кВ находится примерно в пределах 20%, из чего следует, что компенсировать реактивную мощность до нуля экономически целесообразно. Построены графики, которыми удобно пользоваться для определения процента повышения напряжения.

Важнейшей задачей в электрических сетях является уменьшение потерь электроэнергии. Одним из способов уменьшения потерь электроэнергии является компенсация реактивной мощности (КРМ). В сельских распределительных сетях 0,4кВ в большинстве случаев не установлены компенсирующие устройства (КУ), вследствие чего возникают значительные потери электроэнергии. По [1] для напряжения 0,4 кВ определен предельный коэффициент реактивной мощности  $\text{PM } \text{tg}\varphi = 0,35$ , однако для того, чтобы получить больший эффект от уменьшения потери электроэнергии, можно КРМ довести до нуля. Поскольку КУ являются дорогостоящим оборудованием, необходимо исследовать экономически выгодную степень компенсации. Для этого рассмотрим схему, состоящую из центра питания (ЦП), линий электропередач (ЛЭП) и потребителя реактивной и активной мощности, рис. 1.

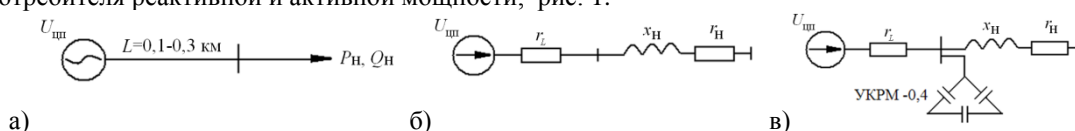


Рис. 1. Схема распределительной сети: а - принципиальная схема; б - схема замещения без установки УКРМ; в - схема замещения с установкой УКРМ.

Рассмотрим варианты компенсации реактивной мощности в пределах значений  $\text{tg}\varphi=0-0,35$ . Для определения влияния отдаленности ЦП от потребителя длина ЛЭП варьировалась от 0,1 до 0,3 км. Потребляемая мощность рассматривается в диапазоне от 50 до 190кВт, так как в сельской местности в основном применяются трансформаторы от 63 до 250кВА [2]. Значения  $\text{tg}\varphi$  до КРМ примем равным 0,6, что также характерно для сельских РЭС. С учетом цены на КУ [3] рассчитаны сроки окупаемости  $T_{\text{ок}}$ , приведенные на рис. 2.

Из рис. 2 видно, что сроки окупаемости КУ при различных степенях компенсации остаются примерно в пределах 20%, из чего следует вывод, что КРМ до нуля экономически целесообразно. При полной КРМ получается долгосрочный экономический эффект. Установка УКРМ окупается быстрее в случае большей отдаленности потребителя, так как потери возрастают с увеличением протяженности ЛЭП.

В результате уменьшения реактивной мощности (РМ), полная мощность передаваемая по сети уменьшается, а, следовательно, уровень напряжения повышается. Для определения величины повышения напряжения за счёт установки УКРМ необходимо определить значение напряжения до

и после КРМ. Рассмотрим схему (рис.2): значение  $tg\varphi_H$  приняли равным 0,4, так как это максимальное значение по [1] для сетей 10 кВ, активная мощность варьировалась от 100 кВт до 1000 кВт с целью охвата наиболее типичных ТП для районных электрических сетей.

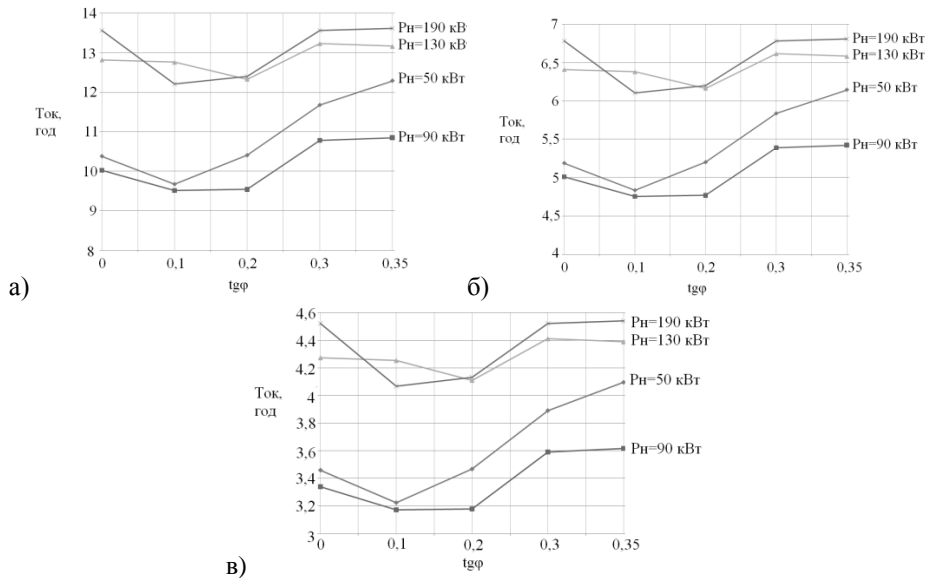


Рис. 2. Зависимости срока окупаемости от  $tg\varphi$ : а - при отдаленности потребителя на 100м; б - при отдаленности потребителя на 200м; в - при отдаленности потребителя на 300м.

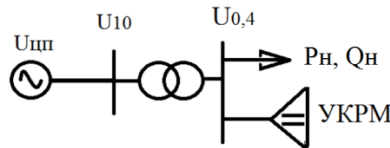


Рис. 3. Принципиальная схема

Напряжение на шинах ТП с низкой стороны до КРМ рассчитывается по формуле:

$$U'_{0,4} = U_{щп} - \frac{P_H * r_{\Sigma} + Q_H * x_{\Sigma}}{U'_{0,4}} = U_{щп} - \frac{P_H * (r_{\Sigma} + tg\varphi_H * x_{\Sigma})}{U'_{0,4}} \quad (1),$$

где  $U_{щп}$  - напряжение в ЦП;  $P_H$  - активная мощность нагрузки;  $Q_H$  - РМ нагрузки;  $r_{\Sigma}$  - суммарное активное сопротивление до шины 0,4 кВ;  $x_{\Sigma}$  - суммарное реактивное сопротивление до шины 0,4 кВ;  $U'_{0,4}$  - приведенное напряжение на шинах с низкой стороны ТП;  $tg\varphi_H$  - коэффициент РМ нагрузки.

Напряжение стороны 0,4 кВ до КРМ приведено к стороне 10 кВ и определяется по формуле:

$$U'_{0,4} = k_{тр} * U'_{н0,4},$$

где  $k_{тр}$  - коэффициент трансформации силового трансформатора,  $U'_{н0,4}$  - напряжение на шинах с низкой стороны до компенсации реактивной мощности.

В формуле (1) считаем заданными:  $U_{щп}$ ,  $P_H$ ,  $tg\varphi_H$ ,  $U_{н0,4}$ . Т. е. нам известны параметры, которые в реальности измеряются на подстанции и служат исходными данными для выбора вольтодобавочного трансформатора (ВДТ).

Если РМ на подстанции скомпенсирована до нуля, то реактивную составляющую из формулы (1) исключаем и тогда напряжение на шинах ТП с низкой стороны после КРМ рассчитывается по формуле:

$$U''_{0,4} = U_{щп} - \frac{P_H * r_{\Sigma}}{U''_{0,4}} \quad (2)$$

Напряжение стороны 0,4кВ после КРМ приведено к стороне 10кВ и определяется по формуле:



$$U''_{0,4} = k_{\text{ГР}} * U''_{\text{НО},4},$$

где  $U''_{\text{НО},4}$  - напряжение на шинах с низкой стороны после КРМ.

Для того чтобы обобщить результаты исследования для любой внешней питающей сети, представим суммарное активное сопротивление на основании формулы (1) в следующем виде:

$$r_{\Sigma} = \frac{U_{\text{ЦП}} * U'_{0,4} - (U'_{0,4})^2 - P_{\text{Н}} * \text{tg} \varphi_{\text{Н}} * x_{\Sigma}}{P_{\text{Н}}} \quad (3)$$

Используя формулу (2) и (3), свяжем между собой напряжения на подстанции до и после увеличения мощности батарей конденсатора:

$$U''_{0,4} = U_{\text{ЦП}} - \frac{P_{\text{Н}}}{U''_{0,4}} * \frac{U_{\text{ЦП}} * U'_{0,4} - (U'_{0,4})^2 - P_{\text{Н}} * \text{tg} \varphi_{\text{Н}} * x_{\Sigma}}{P_{\text{Н}}} \quad (4)$$

Далее зададим пробуемый уровень напряжения  $U''_{0,4}$ , а именно бóльший на 1-5%, чем напряжение  $U'_{0,4}$ , т. е.  $U''_{0,4} = k_U * U'_{0,4}$ , где  $k_U$  - коэффициент характеризующий требуемый процент повышения напряжения после КРМ до нуля. После чего определим условия, при которых он может быть достигнут в зависимости от таких факторов, как  $U'_{0,4}$ ;  $P_{\text{Н}}$ ;  $\text{tg} \varphi_{\text{Н}}$  и  $x_{\Sigma}$ .

Формулу (4) преобразуем к следующему виду:

$$k_U * U'_{0,4} = U_{\text{ЦП}} - \frac{U_{\text{ЦП}} - U'_{0,4}}{k_U} + \frac{P_{\text{Н}} * \text{tg} \varphi_{\text{Н}} * x_{\Sigma}}{k_U * U'_{0,4}}$$

Представим:

$$U_{\beta}^2 = P_{\text{Н}} * \text{tg} \varphi_{\text{Н}} * x_{\Sigma} \quad (5),$$

где  $U_{\beta}^2$ , единица измерения которой равна  $\text{kB}^2$ , поскольку правая часть формулы (5) имеет размерность  $(\text{kB})^2$ .

То получим:

$$k_U * U'_{0,4} = U_{\text{ЦП}} - \frac{U_{\text{ЦП}} - U'_{0,4}}{k_U} + \frac{U_{\beta}^2}{k_U * U'_{0,4}} \quad (6)$$

Используя формулу (7) значение  $U_{\beta}^2$  было получено для  $U_{\text{ЦП}} = 10,5 \text{кВ}$ ,  $k_U = 1,01; 1,02; 1,03; 1,04; 1,05$ ,  $U'_{0,4} = (1,0 - 0,7) * U'_{\text{Н}}$ .

Результаты расчетов представлены на рис. 4.

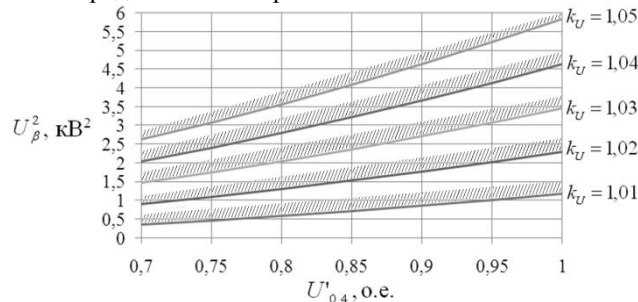


Рис. 4. Зависимость напряжения  $U'_{0,4}$  от значения  $U_{\beta}^2$  при условии  $U_{\text{ЦП}} = 10,5 \text{кВ}$

Из рис. 4. видно, что при увеличении  $k_U$ , увеличиваются значения  $U_{\beta}^2$ . Так как КРМ до нуля приводит к различному проценту повышения напряжения, необходимо исследовать совместное применение УКРМ и ВДТ, с целью возможного уменьшения количества ВДТ, а следовательно и денежным затратам необходимым для повышения напряжения до нормативных пределов. Однако существуют варианты, в которых КРМ до нуля не влияет на количество ВДТ, а только увеличивает общую стоимость мероприятия по повышению уровня напряжения. Это говорит о необходимости обоснования применения УКРМ. Будем считать, что если применение УКРМ позволит повысить напряжение на шинах 0,4 кВ минимум на 1%, то следует сопоставлять в экономическом отношении два варианта применения ВДТ: с сохранением существующего  $\text{tg} \varphi_{\text{Н}}$  и с его понижением до нуля. Если же изменение напряжения менее 1%, то второй вариант становится экономически (по критерию качества электроэнергии) не целесообразным. Это

объясняется тем, что установка новых УКРМ не повлияет на количественный состав ВДТ, где регулируется напряжение ступенями в 1 %.

**Список используемой литературы:**

1. Приказ утвержденный Минпромэнерго России от 22 февраля 2007 г. № 49
2. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л.Файбисовича. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: ЭНАС, 2009. - 392 с.
3. Сайт компании ООО НПП Электропривод.

**Анализ проблем компенсации провалов напряжения в сети электрических сетях 6-10 кВ**

**Я.Э. Шклярский, Е.А. Бычков**

*Санкт-Петербургский Национальный Минерально-Сырьевой университет «Горный»,*

*г. Санкт-Петербург, Россия*

**E-mail:** [Brodyaga89@list.ru](mailto:Brodyaga89@list.ru)

Сложившиеся современные условия технической эксплуатации электрических сетей 6-10 КВ промышленных предприятий, включая газо- и нефтедобывающие отрасли, показали, что существующая с давних времен проблема компенсации провалов напряжения, вызывает все больший интерес в научных кругах. Это объясняется двумя основными причинами. Первая – обострение ситуации в этой области по мере усложнения технологических процессов и автоматизации производств. Вторая – появилась возможность технического решения задачи компенсации провалов напряжения.

Причины возникновения провалов напряжения:

- работа устройства повторного включения;
- КЗ в распредсети;
- изменения нагрузки;
- выключение конденсаторов в распредсети;
- молнии.

Провалы напряжения являются случайными, но вероятными событиями и характеризуют аномальные режимы работы системы электроснабжения. Длительность провала определяется совокупностью времени срабатывания средств защиты и автоматики, после действий которых напряжение может быть восстановлено.

Чрезвычайно опасны групповые провалы напряжения. Такие провалы вызываются многочисленными срабатываниями устройства повторного включения, когда отдельные провалы напряжения могут длиться несколько циклов, но это могут быть 2 и более последовательных провала. Накопительный эффект последовательных провалов может вызвать более серьезные проблемы, чем отдельный провал.

Провалы напряжения могут привести к:

- остановке чувствительного электронного оборудования, (например привода с регулированием скорости.);
- выходу из строя контакторов и обмоток реле;
- необходимости перехода на резервное питание линии.

Затраты на защиту от провалов напряжения несоизмеримо меньше, чем затраты на устранение последствий провалов напряжения в питающей сети.

Из применяемых в настоящее время устройств компенсации провалов напряжения следует выделить следующие основные их типы:

- многофункциональные устройства, компенсирующие отклонения, колебания и провалы напряжения;
- устройства, компенсирующие колебания и провалы напряжения при набросе нагрузки;
- устройства предназначенные для компенсации только провалов напряжения.

Так же следует разделить устройства с применением коммутирующих электронных аппаратов для управления изменением параметров этих устройств и без таковых.

В статье предлагается устройство на основе вольтодобавочного трансформатора с расширенным диапазоном регулирования напряжения. Данное устройство позволяет в режиме удаленного короткого замыкания и в режиме пуска мощных двигателей обеспечить допустимое напряжение электрической сети.

**Список используемой литературы:**

1. Б.Н. Абрамович, Д.А. Устинов, В.Е. Поляков, «Динамическая устойчивость работы установок электроцентробежных насосов», Нефтяное хозяйство №9, 2010, С. 104-106.
2. ГОСТ 13109-97 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.

**Выбор когенерационных газотурбинных установок для схем теплоснабжения в системах ЖКХ**

*А.Б Дубинин, Ю.Е Николаев, Р.А. Дубинин.*

*Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А., г. Саратов, Россия*

*ООО «Сименс», г. Москва, Россия*

*E-mail: [dubininsar@mail.ru](mailto:dubininsar@mail.ru)*

Рассмотрены особенности выбора когенерационных газотурбинных установок для теплоэнергоснабжения ситсем ЖКХ. Установлено, что объективным критерием энергоэффективности может служить относительная системная экономия топлива.

Энергоэффективность и энергосбережение входят в пять стратегических направлений приоритетного технологического развития России, названных Президентом РФ. В сфере энергосбережения и энергоэффективности в России существуют четыре основополагающих документа: « Энергетическая стратегия на период до 2030 года», Государственная программа «энергосбережения и повышения энергетической эффективности на период до 2020 года», Федеральный закон «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» №261-ФЗ от 23.11.2009, Федеральный закон «О теплоснабжении» №190-ФЗ от 27.07.2010. В этих документах регламентированы индикаторы энергосбережения и показатели энергоэффективности, а также рекомендованы целые комплексы мероприятий, направленных «на уменьшение объема используемых энергетических ресурсов при сохранении соответствующего полезного эффекта от их использования». Жилищно-коммунальное хозяйство (ЖКХ) является крупнейшим потребителем энергии, одной из самых затратных и энергонезэффективных отраслей экономики. На долю ЖКХ, которое потребляет более 20% энергоресурсов, приходится около 26% общего объема основных фондов РФ. В настоящее время в ЖКХ сложилась негативная ситуация: значительный износ основного и вспомогательного оборудования, кредиторская и дебиторская задолженности организаций ЖКХ, низкое качество жилищно-коммунальных услуг, низкая эффективность расходования ресурсов, недостаточное использование энергосберегающих технологий. Вместе с тем ЖКХ обладает очень высоким потенциалом энергосбережения. По оценкам Минэнерго РФ, потенциал энеросбережения в ЖКХ составляет 25-30% от общего потенциала энергосбережения (360 – 430 млн. тонн условного топлива). В настоящее время сформулированы 96 принципов и 12 правил энергосбережения /4/. Для систем ЖКХ в качестве основной меры по энергосбережению рассматривается модернизация схем теплоснабжения. В соответствии с законом о теплоснабжении каждое городское поселение с 31.12.2011 должно иметь утвержденную перспективную схему теплоснабжения, которая является важнейшей составляющей Программ комплексного развития систем коммунальных инфраструктур (ПКР).

Схема теплоснабжения разрабатывается на краткосрочную и долгосрочную перспективы и должна обеспечивать качественное теплоэнергоснабжение города с учетом потенциала энергосбережения. При этом предполагается не только замена или модернизация теплосетевого оборудования, но и выбор новых тепловых источников. Результатом всего комплекса работ является оценка энергоэффективности принятых решений, уровня требуемых капитальных вложений, прогнозирование тарифов, сроков окупаемости и т. д. Необходимо отметить, что в Федеральном законе «О теплоснабжении» однозначно указывается на «обеспечение приоритетного использования комбинированной выработки электрической и тепловой энергии для организации теплоснабжения», а также «развитие систем централизованного теплоснабжения». Это может рассматриваться как рекомендация органам местного самоуправления отказываться от строительства новых котельных, а планировать сооружение новых ТЭЦ, или использование существующих.

Оценить потенциал энергосбережения при комбинированной выработке в конкретных цифрах возможно только на основе системного подхода. При этом выбор источника должен быть научно обоснован. Вместе с тем фирмы-изготовители часто доказывают преимущества комбинированной выработки на основе сравнения только коэффициентов использования располагаемой теплоты топлива  $K_{ит}$  альтернативных вариантов. Рекомендуются когенерационные технологии производства тепловой и электрической энергии на базе газотурбинных, газопоршневых и парогазовых установок, обеспечивающих экономию органического топлива и денежных затрат. Традиционные показатели термодинамической эффективности, учитывающие и первый и второй законы термодинамики, при этом часто не принимаются во внимание. В современных условиях оптимизация параметров энергетических установок для работы в системах ЖКХ практически исключается. Заводы-изготовители предлагают серийные установки различных уровней мощностей, отличающихся параметрами рабочего тела и схемными решениями. Предварительное сопоставление целесообразно проводить на основе системной относительной экономии топлива  $\bar{b}$ , равного отношению действительной абсолютной экономии топлива  $\Delta B$  в системе, где сооружается коммунальная ТЭЦ, к расходу топлива  $B$  самой когенерационной установкой /1/. Для когенерационных газотурбинных установок основными факторами, влияющими на величину  $\bar{b}$ , являются электрический КПД  $\eta_e$ , степень утилизации отработавших в турбине газов, коэффициент использования теплоты топлива  $K_{ит}$  теплофикационной частью цикла, а также показатели замещаемых установок, вырабатывающих электроэнергию и теплоту раздельным способом. Перечисленные величины зависят как от параметров термодинамического цикла, так и технологической (тепловой) схемы когенерационной установки. Увеличение каждой из них приводит к росту относительной системной экономии. Вместе с тем ряде случаев увеличение электрического КПД может сопровождаться уменьшением степени утилизации и наоборот. Такое взаимное влияние может сказаться на выборе предпочтительного варианта. Характер и степень взаимосвязи должен определяться в зависимости от конкретных условий. В /2/ показано, что оптимальные параметры и схемные решения, соответствующие максимуму системной экономии топлива, могут существенно отличаться от решений, определенных из максимумов известных критериев (эффективного, эксергетического КПД как цикла, так и установки). В частности, из условия максимума  $\epsilon$  может быть найдена оптимальная степень регенеративного подогрева воздуха в когенерационных ГТУ, а также оправданным предварительный подогрев воздуха перед компрессором.

На основе этого показателя построена шкала сравнительной эффективности когенерационных ГТУ различных фирм-изготовителей. В табл.1 приведены некоторые результаты сопоставления. Анализ приведенных результатов показывает, что величины  $K_{ит}$  сравниваемых установок отличаются незначительно, в то время как термодинамические параметры (температуры рабочего тела перед турбиной, степени повышения давления воздуха в компрессоре) и электрические КПД отличаются существенно. Также видно, что электрический КПД не всегда оказывает определяющее влияние на величину системной экономии топлива. Важное значение имеет степень утилизации отбросной теплоты, которая уменьшается с ростом степени повышения давления воздуха в компрессоре. Установлено, что определенные преимущества имеют газотурбинные установки с регенеративным подогревом воздуха, в частности, ГТУ-009М. Это объясняется не только более высокими значениями электрического КПД, но и более низкими по сравнению с безрегенеративными ГТУ степенями повышения давления. Это дает возможность использования топливного газа без дополнительных дожимающих компрессоров.

Важным вопросом при сооружении коммунальных ТЭЦ является выбор оптимального количества и уровня единичной мощности устанавливаемых когенерационных установок, а также определение приоритетного графика нагрузки (теплого или электрического) при работе по которому будет достигнут наибольший экономический эффект.

Различный характер суточных и годовых графиков электро- и теплоснабжения не позволяют удовлетворить потребности в энергоносителях только когенерационными установками. Поэтому для покрытия пиковой части тепловой нагрузки должны использоваться котельные, а электрической – маневренные установки энергосистемы. Таким образом, рациональная схема энергоснабжения города должна включать когенерационные установки ТЭЦ, пиковые котельные и связи с энергосистемой для обеспечения переменной части электрического графика /3/.

Строительство новых ТЭЦ должно осуществляться с учетом возможности их присоединения к существующим тепловым и электрическим сетям, ограничений на масштабы вредных выбросов, наличия санитарно-защитных зон в жилых районах. Наиболее целесообразно их сооружать на площадках существующих котельных.

Таблица 1. Сравнение показателей когенерационных газотурбинных установок

ГТУ	Фирма-изготовитель	№ МВт	$\pi_k$	$t_3, ^\circ\text{C}$	$\eta_э$	$K_{ит}$	$\varphi_{yx}$	$\bar{b}$
ГТЭ-10/95	«Мотор» Россия	10,0	9,25	920	0,280	0,843	0,800	0,170
ГТТ-15	«Машпроект» Украина	16,3	12,8	863	0,280	0,826	0,763	0,150
ГТУ-55-СТ20	«Энергоавиа» Россия	20,0	10,4	980	0,320	0,868	0,808	0,300
ТНМ 1304-11	MAN	10,76	11,3	975	0,300	0,861	0,800	0,280
Меркурий-50	Solar США	4,35	9,1	1165	0,42	0,865	0,758	0,372
LM-600	GE США	43,07	30,0	1430	0,40	0,901	0,829	0,371
ГТЭ-009М	«Энергомаш» Россия	9,0	6,8	950	0,356	0,800	0,62	0,370

Достижимый эффект от сооружения когенерационных установок для энергоснабжения города или отдельных районов может быть рассчитан в денежном выражении по разности затрат двух вариантов: исходного, в котором осуществляется покупка электроэнергии от энергоснабжающей компании и топлива для производства теплоты котельными, и альтернативного, в котором закупается только топливо для сжигания в когенерационных установках. Расходы топлива пиковыми источниками теплоты и количество покупаемой электроэнергии для покрытия переменной части электрического графика в сравниваемых вариантах сохраняются постоянными и поэтому в затратах не учитываются. Исходя из отмеченного, экономия затрат на приобретение энергоносителей в рассматриваемых вариантах примет вид, руб/год:

$$\Delta Z = C_э \mathcal{E}^Г + C_T B_{КОТ}^Г - C_T B_{КУ}^Г \quad (1)$$

где  $C_э$ ,  $C_T$  - тарифы на электрическую энергию и топливо;  $\mathcal{E}^Г$  - годовой отпуск электроэнергии от когенерационных установок;  $B_{КОТ}^Г$ ,  $B_{КУ}^Г$  - годовые расходы топлива котельными и когенерационными установками.

Выражая составляющие уравнения (1) через удельные показатели и поделив экономию затрат на годовой отпуск тепловой энергии, получим

$$\Delta z = [y(C_э - C_T b_{КОТ}) + C_T b_{КОТ}], \quad (2)$$

где  $y$  - удельная выработка энергии на тепловом потреблении когенерационной установки;  $b_{КОТ}$  - удельный расход топлива на отпуск теплоты в котельной;  $b_{КУ}$  - удельный расход топлива на производство электрической энергии когенерационной установкой.

Разработанные методики позволяют на основе системного анализа достаточно объективно выбирать источники комбинированной выработки электроэнергии и теплоты, а также разрабатывать оптимальную схему теплоснабжения и, по мере необходимости, вносить в нее конструктивные и технологические изменения. Окончательное решение принимается на основе технико-экономических расчетов. Информационной базой для выполнения работ являются анализ

фактического состояния систем теплоснабжения, результаты энергоаудита и прогнозы перспективного развития города

**Список используемой литературы:**

1. Андриющенко А.И. Системная эффективность бинарных ПГУ-ТЭЦ//Теплоэнергетика.2000.№12.С.11-15.
2. Дубинин А.Б. Способы повышения энергетической эффективности газотурбинных ТЭЦ// В сб. Повышение эффективности и надежности теплоэнергетического оборудования систем и комплексов. 1996. Саратов. СГТУ.С.61—71.
3. Николаев Ю.Е., Вдовенко И.А. Сравнительный анализ вариантов реконструкции городских систем теплоснабжения// Промышленная энергетика.2009.№11.С.5 – 9.
4. Бродянский В.М. 12 правил энергосбережения, или что нужно делать для снижения потерь, связанных с несовершенством энергетических процессов// «Новости теплоснабжения», № 9(25), сентябрь 2002.С.52.

УДК 621.37

**Сравнение энергоёмкости ВРП субъектов СФО**

*Н.М. Чекмарева, М.В. Волков\**

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

*E-mail: natally@mail2000.ru*

Валовый 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.

Энергоемкость 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.).

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

Рассмотрим динамику изменения ВРП Красноярского края, Кемеровской, Новосибирской и Томской областей (табл. 1).

Самый высокий показатель ВРП на 2010г. имеет Красноярский край – 370 952,4 руб./чел., в Томской области ВРП составляет 272 208,1 руб./чел.

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 видно из рисунка 1, в период экономического кризиса (2008 – 2009 г.), который сопровождался падением промышленного производства и ростом безработицы, происходило 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.

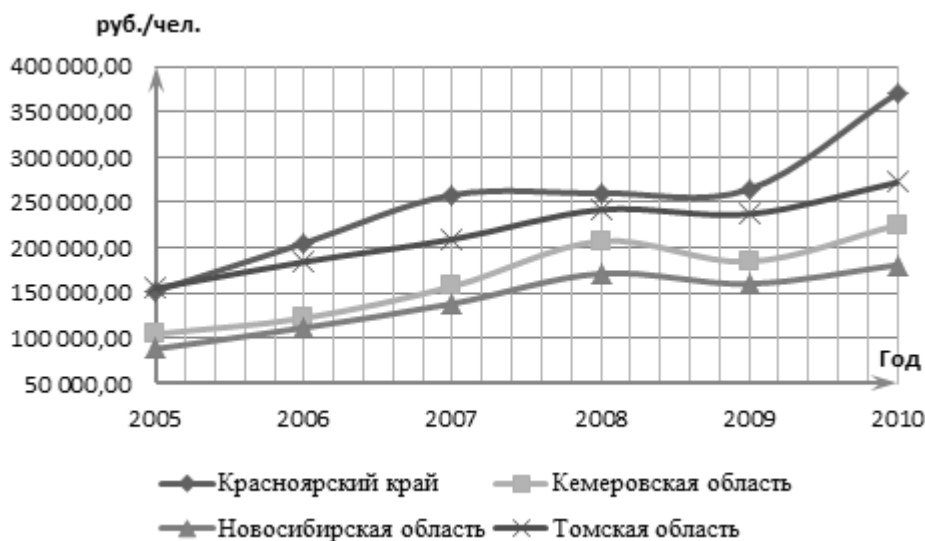


Рис. 1. Динамика изменения ВРП на душу населения

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 находится 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 составляет 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 структуре ВРП в 2010 г. имели Новосибирская область – 14%, Томская область – 13%; 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.

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.

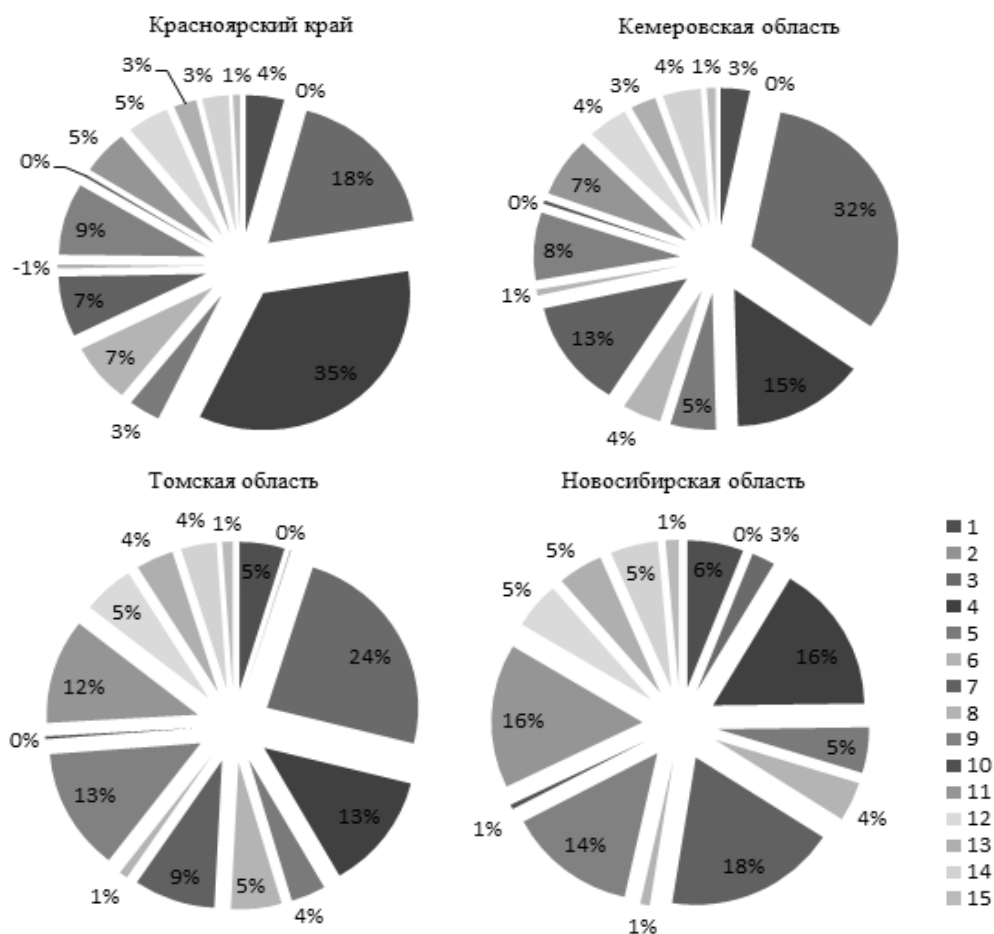


Рис. 2. Структура ВРП по видам экономической деятельности за 2010г. 1 – сельское хозяйство; 2 – рыболовство, рыбоводство; 3 – добыча полезных ископаемых; 4 – обрабатывающие производства; 5 – производство и потребление электроэнергии; 6 – строительство; 7 – торговля; 8 – гостиницы и рестораны; 9 – транспорт и связь; 10 – финансовая деятельность; 11 – предоставление услуг; 12 – государственное управление и обеспечение военной безопасности; 13 – образование; 14 – здравоохранение; 15 – предоставление прочих коммунальных услуг.

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. Электроёмкость по субъектам Сибирского федерального округа 2005 – 2010гг.

Субъект СФО	Электроёмкость, 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

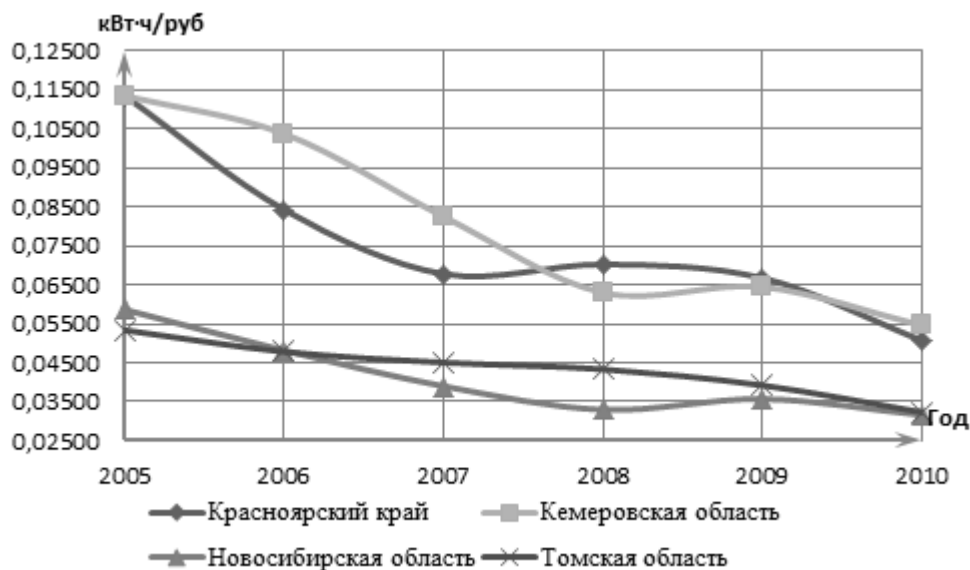


Рис. 3. Динамика изменения электроёмкости ВРП

**Список используемой литературы:**

1. Козловская О.В. Индикаторы устойчивого развития Томской области – Томск: STT, 2003. – 24с.
2. Башмаков И.А. Динамика энергоёмкости валового регионального продукта Москвы// Журнал Энергосбережение – 2011 - №3

**Mathematical models of economic estimation of measures on modernization of transformers**

*N.Z. Breners, S.A. Guseva, N.N. Skobeleva\**

*Riga Technical University, Riga, Latvia*

*\*AS «Olimps», Riga, Latvia*

[nikolajs.breners@latvenergo.lv](mailto:nikolajs.breners@latvenergo.lv)

In paper the generalized mathematical models of economic estimation of measures on modernization of transformer equipment are given. This task is solved under the conditions of deficit of the investments in the Latvian Power Company. The total annual discounted costs for transformer whole life cycle are offered as the objective function for estimation of measures on modernization.

**Introduction**

The majority of energy companies stand in the front of such a fact as mass transformers' ageing. Similar situation is observed in Latvian Energy Company «Latvenergo». Today on 129 substations of the Latvian power supply system with a voltage 110-330 кV 254 power transformers as the total power 6905 MVA work. Approximately half of transformers have developed a normative resource. Service life 8 % on total power transformers exceeds 40 years, 43 % have service life 25-40 years and only at 49 % of transformers term operation of less than 25 years. Mass ageing of the maintained equipment becomes hard problem for a power supply system which demands the cardinal decision. To maintain normal and reliable work of power transformers in power supply system it is necessary to lead a number of actions among which the most effective are:

- replacement of morally and physically out-of-date transformers on new, meeting modern requirements;
- real service life's prolongation of maintained power transformers after diagnostics, elimination of defects, modernization or major overhaul.

In conditions of market economy all technical measures directed to renovation and modernization of electrical equipment may be established on technical and economic accounts for rational use of money resources. Radical solution for renewal of the transformer fleet could be replacing the outdate equipment, but simultaneous replacement of a large number of transformers would require a huge capital investment. As the energy companies experience currently funding shortage in adverse economic situation it is necessary find the right balance between the transformer fleet renewal and extending the transformers' physical resources beyond the regulatory life-span for a part of the transformers. However, the pace of equipment renovation shall not be slower than the rate of aging. In addition, the transformer fleet upgrade measures should ensure maintained or risen capacity of the transformers at substations, in order to guarantee reliability of the power supply to consumers.

#### Generalised technical and economic model of estimation of measures

To ensure normal and safe operation of power transformers the following measures might be taken:

- replacement of out-of-date transformers with new, meeting modern requirements, ones;
- prolongation of actual physical resources of the transformers based upon diagnostic tests, defect prevention, upgrade and repair.

In market economy, all the technical measures taken within an energy system including improvement of a transformer's operational reliability should be based on a thoroughly made feasibility calculations to ensure rational use of funding. Such calculations can be most effectively carried out with the help of mathematical and technical and economic models, using appropriate software. Technical and economic models (TEM) aimed at ensuring qualitative assessment of feasibility of the measures and quantitative assessment of an appropriate objective function have been developed within this paper based on the Net Present Value (NPV) of the transformer operator's total discounted annual costs through the calculation period (the equipment life cycle)[1,2]. When choosing the appropriate technical measures all the equipment lifecycle costs should be taken into account, because operating expenses are often close to equal to the measure implementation costs, or even exceed them. For all the technical and economic models single approach is used, which makes it possible to create a generalized technical and economic model. For quantitative evaluation of the technical measures intended to achieve the following objective function has been developed on the basis of  $NPV_n$ :

$$NPV_n = \sum_{t=0}^T C_{nT,t} \cdot \frac{1}{(1+i_d)^t} = C_{n0} + \sum_{t=1}^T C_{nT,t} \cdot d_t \quad (1)$$

where  $C_{nT,t}$  is real total annual costs of the transformer's user of  $t$ -th year (incomes and costs) for implementation of measure  $n$ ;  $C_{n0}$  is costs of measure  $n$  during the initial moment of calculation period  $T$ ;  $T$  is calculation period;  $d_t$  is discount factor (factor for reduction of costs of different years at the initial moment);  $i_d$  is discount rate.

Total annual costs of the operator of the transformer  $C_{nT,t}$  of the  $t$ -th year for implementation of measure  $n$  in expression (1) include several components:

$$C_{nT,t} = C_{nK,t} + C_{nOp.c,t} + C_{nOp.v,t} + C_{nR} \quad ,$$

in addition:

$$C_{nK,t} = \frac{i}{100} \cdot K_{nT\Sigma,t};$$

$$C_{nOp.c,t} = \frac{P_{na} + k_{r,t} P_{nr}}{100} \cdot K_{nT\Sigma,t};$$

$$C_{nOp.v,t} = k_{e,t} (\Delta P_{nml} \cdot T_d + \beta_T^2 \cdot \Delta P_{nsc} \cdot \tau) \cdot \beta' + (\Delta P_{nml} + \beta_T^2 \cdot \Delta P_{nsc}) \cdot \beta^n;$$

$$C_{nR} = c_{nR} \cdot A_n = c_{nR} \cdot \chi_n \cdot A_{n,max} \quad ,$$

where  $C_{nK,t}$  are capital costs deductions on capital investments of measure  $K_{nT\Sigma,t}$ , including the market interest rate  $i$  (weighted average rate of return on capital);  $C_{nOp.c,t}$  are constant operating

depreciation, maintenance and repair expenses including corresponding percentage deductions for depreciation  $p_{na}$  and repair  $p_{nr}$ ;  $C_{nOp,v,t}$  are variable working costs for compensation of losses of the electric power in the transformer;  $\Delta P_{n nb}$   $\Delta P_{n sc}$  are no-load and short-circuit losses of the transformer;  $T_d$  - operating time of the transformer per year;  $\tau$  - time of the maximal losses;  $\beta_T$  - planned factor of the transformer workload;  $\beta'$  is the price of 1 kWh losses of the electric power;  $\beta''$  is the price of 1 kW capacities during the maximal loading a power supply system;  $C_{nR}$  are loss related to the electricity undelivered to the consumers;  $c_{nR}$  are specific costs related to the electricity non-delivery to the consumers;  $A_n$  is quantity of undelivered electricity per year;  $\chi_n$  - probability of the transformer emergency downtime (relative units);  $A_{n,max}$  is maximum transferable power through the transformer per year.

Weighted average rate of return on capital  $i$ :

$$i = i_p \frac{K_p}{K_p + K_{kr}} + i_{kr} \frac{K_{kr}}{K_p + K_{kr}},$$

where  $i_p$  is power company own capital rate of return;  $i_{kr}$  is rate of return on borrowed capital;  $K_p$  is own capital, and  $K_{kr}$  is borrowed capital[3,4].

Regarding the above mentioned and the total annual cost of components, the generalized TEM objective function shall be as follows:

$$NPV_n = C_{n0} + \sum_{j=1}^m \left\{ \left[ \left( \frac{i}{100} \cdot K_{nT\Sigma,tj} \right) + \left( \frac{1}{100} \cdot (p_{na} + k_{r,t} p_{nr}) \cdot K_{nT\Sigma,tj} \right) + k_{E,t} \cdot \left[ (\Delta P_{n nl} \cdot T_d + \beta_T^2 \cdot \Delta P_{n sc} \cdot \tau) \cdot \beta' + (\Delta P_{n nl} + \beta_T^2 \cdot \Delta P_{n sc}) \cdot \beta'' \right] + k_{r,t} \cdot C_{nR} \right] \cdot \frac{1}{(1+i_d)^t} \right\}, \quad (2)$$

where  $j$  – current investment in implementation of a measure, moreover  $j = 1, \dots, m$ ;  $k_{r,t}$  - factor describing a transformer's operating expenses increase during operation;  $k_{E,t}$  - factor, which describes the energy loss value increase under the period of operation. Factor  $k_{E,t}$  is a time function  $k_{E,t}(t) = k_{E,0}(1+bt)$ , where factor  $b$  factor is got by approximation of statistical data and taking into account the energy loss value increase during recent years and  $b=0,03$ ;  $k_{E,0}$  is initial costs of the energy loss of the calculation period. Factor  $k_{r,t}$  is a time function too. It is got by approximation of statistical data and taking into account the transformer operating expenses increase due to aging and the growing risk of failure during operation. Factor  $k_{r,t}$  is determined for two time intervals: for the first interval, 0...25 years of operation is  $k_{r,t}(t) = 1+bt$ , where  $b = 0,02$ ; for the second interval, 25...40 years of operation is  $k_{r,t}(t) = at^2 + bt + c$ , where  $a=0.01, b=0,02, c=1,3$ .

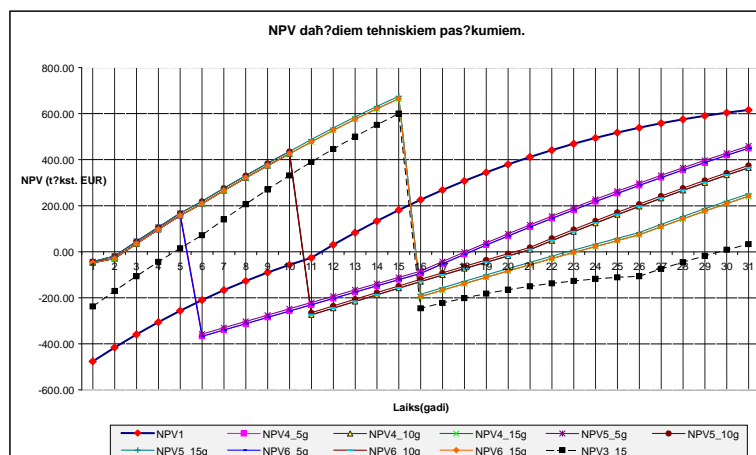


Fig. 1 Comparison of different technical measures available for a 110 kV 32 MVA transformer

Maximum total discounted costs (max  $NPV_n$ ) under the calculation period (2) are the optimum measure selection criterion, regarding of the income from sales of production (electricity), in case that these are identical in all measures.

Comparison of the calculation results for different technical measures involving a 110 kV 32 MVA transformer is shown in Figure 1. For the comparison calculations of the following objective functions were used:  $NPV_1$  – purchase of a new transformer,  $NPV_3$  – transformer overhaul,  $NPV_4$  – upgrade of the voltage regulation equipment,  $NPV_5$  – replacement of high-voltage bushings,  $NPV_6$  – recovery or replacement of insulation oil.

#### Conclusions

1. A comprehensive methodology for selection of the measures aimed at improvement of the transformer fleet operational reliability was developed. The methodology includes technical and economic analysis of each measure.
2. The developed generalized technical and mathematical model and specific models for particular technical measures provide a means for qualitative assessment of measures and the corresponding objective function makes it possible to quantitatively evaluate  $NPV$  and efficiency of the respective measure.
3. For evaluation of the technical measures total discounted annual costs through the whole life cycle of the equipment criterion should be used for implementation of the method with the optimum  $NPV$  value.
4. The developed methodology is applicable for evaluation of replacement and upgrade of various electrical equipment.
5. The offered methodology provides a means for a more rational and effective use of the investments in the energy companies.

#### References

1. N. Breners N., S. Guseva S. Analysis of measures to upgrade the transformer equipment // Elektroenergetika Journal, Technical University of Košice, Slovak Republic, Vol 1, No. 2, December 2008, pp. 9-12 (in Russian).
2. N. Breners, S. Guseva, N. Skobeļeva, O. Borscevskis. Choice and efficiency of measures for increase reliability functioning of power transformers // Proceedings of The International Energy Forum 2010, 23-26 June, 2010, Varna, Bulgaria. – pp. 269-279.
3. S. Guseva, N. Breners, N. Skobeļeva, H. Vindbergs. Economic criteria in competitions for deliveries of power transformers // Latvian Journal of Physics and Technical Sciences, N.5 (Vol. 46), Riga: FEI, 2009, Latvia. – 35.-42. p.
4. Breners N., Guseva S., Skobeļeva N. The analysis of measures on modernization of the transformer equipment // Enerģētika un elektrotehnika, Power and Electrical Engineering, 4. vol, Nr. 23, – Riga: RTU, 2008, Latvia. -74.-81. pp.

#### Свойства оптоволоконна, позволяющие использовать его в дуговой защите электроустановок

*О.В. Матюшева*

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

*E-mail: olen\_ka\_1988@mail.ru*

Произведен анализ существующих дуговых защит с оптоволоконным датчиком. Рассмотрены свойства светопроводящих материалов. Предложен вариант построения быстродействующей защиты кабелей и обмоток электрических машин, выполненных изолированными проводами.

Как известно из [1], в настоящее время дуговая защита используется в качестве дополнительной релейной защиты комплектных распределительных устройств от дуговых замыканий на шинах и в кабельном отсеке.

Петля чувствительного оптоволоконного датчика обнаружения дуги, представляющего собой гибкую световоспринимающую и светопроводящую жилу, охватывает шину и выключатели отходящих от нее присоединений, заполняя пространство ячеек.

При возникновении дугового замыкания оптоволоконный датчик фиксирует излучение, распространяющееся в пространстве отсеков шкафа от источника излучения (дуги). Световой поток, улавливаемый датчиком, усиливается и сравнивается с установленным заранее номинальным световым уровнем.

Сигнал на отключение выключателя активизируется, если одновременно появляются сигнал о срабатывании реле максимального тока и модуля, контролирующего световой сигнал.

Однако такой способ построения дуговой защиты подвержен оптическим помехам при раскрытии отсеков шкафов для проведения профилактических и ремонтных мероприятий.

Поэтому данная дуговая защита дополняется токовой защитой максимального действия, реагирующей на увеличение тока, т.е. защита на дуговом принципе является вспомогательной.

Описанные конструкции дуговой защиты не могут выполнить в полной мере свою функцию как релейной защиты. В связи с этим целесообразно некоторое усовершенствование конструкции дуговой защиты с целью устранения недостатков, присущих существующим вариантам конструкций дуговых защит.

Данное усовершенствование основано на использовании светопроводящей оптической среды (стекла, полимера) и оптоволоконной техники (приемников лучистой энергии дуговых замыканий). Конкретно предлагается провода и жилы кабелей покрывать светопроводящим слоем (например, многокомпонентным стеклом или прозрачным полимером), который наряду со светопроводностью обладает изоляционным свойством. Изоляцию светопроводящего слоя необходимо дополнить обычной изоляцией, свойственной данным проводам и кабелям.

Световой сигнал при возникновении дуги передается по светопроводящему слою на светочувствительные элементы, например, вставленные в отверстия в данном слое торцы оптоволоконных жил. На другом конце оптоволоконной жилы располагается оптоэлектронный преобразователь, превращающий принятый оптический сигнал в электрический, который подается на дуговое реле.

Далее рассматриваются свойства оптоволокна, позволяющие использовать его для вышеизложенной цели.

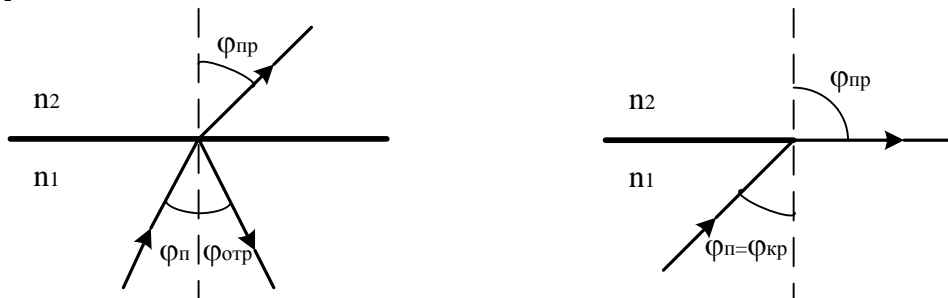
В соответствии с [2], в геометрической оптике световые волны изображаются лучами, которые претерпевают изменения на границах раздела сред с разными оптическими свойствами, характеризующимися показателем преломления ( $n=c/v$ ), который в общем случае показывает, во сколько раз скорость распространения света в вакууме  $c$  больше скорости распространения света в рассматриваемой среде  $v$ .

Согласно [3], поскольку в веществе свет всегда распространяется медленнее, чем в вакууме, показатель преломления для вещества всегда больше 1. Значение его меняется в зависимости от длины волны. В общем случае, с уменьшением длины волны скорость распространения света в веществе уменьшается, значение показателя преломления увеличивается, и отклонения направления распространения волны от первоначального увеличивается.

Как известно из [2], среда, у которой показатель преломления больше, называется оптически более плотной, в противном случае – менее плотной. При падении луча света (световой волны) на границу раздела таких сред в общем случае появляются отраженная и преломленная волны (Рис. 1а). В соответствии с законом Снеллиуса, углы падения  $\varphi_{\text{п}}$ , отражения  $\varphi_{\text{отр}}$ , преломления  $\varphi_{\text{пр}}$  связаны следующими соотношениями:

$$\varphi_{\text{п}} = \varphi_{\text{отр}}, \quad n_1 \sin \varphi_1 = n_2 \sin \varphi_2.$$

Таким образом, если луч переходит из оптически более плотной среды в менее плотную, то показатель преломления уменьшается, а угол отклонения от нормали увеличивается, т.е.  $n_1 > n_2$  и  $\varphi_1 < \varphi_2$ .



а) Отражение и преломление луча на границе двух сред

б) Полное внутреннее отражение светового луча на границе двух сред

Рис. 1

Путем увеличения угла падения  $\varphi_n$  можно достичь состояния, при котором преломленный луч будет скользить по границе раздела сред, не переходя ее (Рис. 1б). Угол падения, при котором имеет место данный эффект, называется критическим углом полного внутреннего отражения  $\varphi_{\text{кр}}$ .

Очевидно, что для всех углов падения, больших критического ( $\varphi_n > \varphi_{\text{кр}}$ ), будет иметь место только отражение, преломления луча не будет. Это явление называется полным внутренним отражением. И поскольку вся мощность светового луча практически полностью возвращается в

область более плотной среды, на этом эффекте основан принцип передачи оптического излучения по оптоволокну.

Как известно из [4], оптическое волокно представляет собой нить из особо чистого кварцевого стекла, обеспечивающего распространение светового сигнала с очень низкими потерями. С точки зрения передачи сигналов оптическое волокно представляет собой диэлектрический волновод, работающий в оптическом диапазоне волн.

Канализация распространения света создается путем скачкообразного или плавного изменения показателя преломления кварцевого стекла в поперечном сечении волновода. Численное значение показателя преломления кварцевого стекла зависит от длины волны.

Сердцевина – область в центре волокна, показатель преломления которой больше, чем у оболочки, и в которой распространяется большая часть энергии светового сигнала. Оболочка – область волокна вокруг сердцевины, которая чаще всего изготавливается с постоянным и всегда более низким, чем у сердцевины, показателем преломления. Граница двух областей с более высоким и низким показателями преломления создает световодную структуру, удерживающую большую часть света в зоне сердцевины.

Наличие кварцевой оболочки, имеющей показатель преломления чуть меньше (не более нескольких процентов), чем у сердцевины, приводит к трем последствиям, два из которых положительны и одно отрицательно:

- уменьшение потерь световой энергии;
- уменьшение дисперсии (уширение передаваемых импульсов);
- уменьшение доли энергии, захватываемой сердцевиной от источника излучения.

Номенклатура и свойства оптических волокон определяются законом изменения показателя преломления в поперечном сечении сердцевины, величиной разности показателей преломления в центре сердцевины и оболочки, а также диаметром сердцевины и толщиной оболочки.

Для сохранения параметров передачи оптических волокон при их упаковке в кабель, а также в процессе прокладки и эксплуатации кабеля волокно необходимо защитить от механических воздействий. Для этого используются оптические оболочки.

Кварцевое стекло хотя и незначительно, но загрязнено, а также имеет добавки для изменения показателя преломления сердцевины или оболочки оптоволокну, что вызывает потери мощности сигнала на поглощение и рассеяние. При поглощении происходит преобразование световой энергии в тепловую. Процесс рассеяния сводится к генерации вторичных волн молекулами или частицами под действием падающего на них излучения.

Особенность оптического волокна, как направляющей системы, состоит в том, что в ней возникают дополнительные потери энергии передаваемого сигнала из-за нарушения геометрии волокна и микроизгибов, связанных с нанесением защитного покрытия и скруткой (Рис. 2.а), а также макроизгибами кабеля (Рис. 2.б).

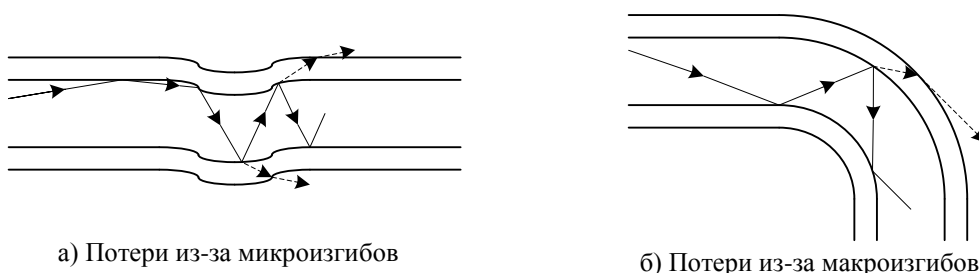


Рис. 2

Микроизгибом (изломом) волокна называется изгиб оптического волокна, который влечет за собой смещение волокна порядка нескольких микрон относительно его оси, обусловленное различием боковых давлений на волокно по его длине. Он может быть вызван механическими деформациями при изготовлении кабеля и его прокладке, а также изменениями геометрических размеров материала кабеля вследствие изменений температуры окружающей среды в процессе эксплуатации.

Снижение потерь на микроизгибах связано с совершенствованием технологии производства оптического волокна. Для их уменьшения необходимо не допускать усилий, случайно прикладываемых к волокну вдоль его оси при изготовлении кабеля, а также во время и после его прокладки.

Макроизгиб волокна является результирующим искривлением оптического волокна после изготовления и прокладки кабеля. Макроизгиб может вызвать увеличение оптических потерь. Оптические потери увеличиваются с уменьшением радиуса изгиба. При правильной прокладке кабеля его затухание будет несколько меньше по сравнению со значением, измеренным на барабане, за счет меньших макроизгибов.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что описанный способ построения дуговой защиты можно применить для реализации защиты кабелей и обмоток электрических машин, выполненных изолированными проводами.

**Список используемой литературы:**

1. Реле дуговой защиты REA 101. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.eknis.net/href/rza/rea\\_rus.pdf](http://www.eknis.net/href/rza/rea_rus.pdf), свободный. – Загл. с экрана.
2. Иванов А.Б. Волоконная оптика: компоненты, системы передачи, измерения. – М.: Компания «Сайрус Системс», 1999. – 671 с.
3. Дэвид Гринфилд. Оптические сети – К.: ООО «ТИД «ДС», 2002. – 256 с.
4. Виноградов В.В., Котов В.К., Нуприк В.Н. Волоконно-оптические линии связи: Учебное пособие для техникумов и колледжей ж.-д. трансп. – М.: ИПК «Желдориздат», 2002. – 278 с.

**Автоматизированная информационно-измерительная система контроля и учета электроэнергии для сетевых компаний**

*П.А. Стрижак, М.Н. Морозов*

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

*E-mail: benmb@yandex.ru*

Установлено, что повысить эффективность борьбы с потерями электроэнергии можно путем дополнения автоматизированной информационно-измерительной системы контроля и учета электроэнергии системой воздушного мониторинга беспилотными летательными аппаратами.

Процессы производства, передачи, распределения и потребления электроэнергии носят непрерывный (однако изменяющийся во времени) характер и происходят одновременно. При этом стоит отметить невозможность аккумулирования электроэнергии. Потери электроэнергии в электрических сетях - важнейший показатель экономичности их работы, наглядный индикатор состояния системы учета электроэнергии, эффективности деятельности энергокомпаний.

Коммерческие потери электроэнергии связаны с неоплатой потребителем электрической энергии, а также ее хищением [1]. В условиях рыночной экономики электроэнергия представляет собой товар, который можно продать, купить, украсть, растратить или присвоить. Указанные особенности процесса производства, передачи и сбыта электроэнергии, а также наличие протяженных разветвленных распределительных электросетей создают предпосылки для хищения электроэнергии. Стоит отметить, что в отличие от хищения электроэнергии, носящего стихийный характер, кражи энергооборудования, по свидетельству, энергетиков, в последнее время стали организованными и тщательно спланированными. Такие хорошо организованные преступные группы, оснащены необходимым оборудованием, техникой и имеют отлаженные каналы сбыта. Поэтому проблема остается актуальной даже для Федеральной сетевой компании (ФСК ЕЭС), эксплуатирующей магистральные сети [2].

АИИС КУЭ – автоматизированная информационно-измерительная система контроля и учёта электроэнергии представляет собой комплекс, в состав которого входят аппаратные и специально обработанные программные средства.

Данная система применяется для дистанционного сбора информации о потоках энергии в электросетях, ее хранения и обработки.

ОАО «ФСК ЕЭС» осуществляет управление единой национальной электрической сетью (ЕНЭС), в состав которой входят линии передачи электроэнергии (ЛЭП) и подстанции.

Целью создания АИИС КУЭ ЕНЭС является обеспечение ОАО «ФСК ЕЭС» и смежных субъектов оптового рынка электроэнергии своевременной, полной и достоверной информацией об объемах поступившей и отпущенной электроэнергии. Кроме того, контроль потребления и оценка текущих балансов, интеграция данных АИИС КУЭ с системами технологического управления ОАО «ФСК ЕЭС» позволит уменьшить коммерческие потери и в конечном итоге управлять этим процессом.

Анализ АИИС КУЭ ОАО «ФСК ЕЭС» указывает на высокую надежность системы. В рамках данной работы выделим важные преимущества использования АИИС КУЭ:

- возможность проведения точного учета потерь энергии в линиях электропередач и в трансформаторах;
- определение перегруженных участков электросети и следовательно принятие превентивных решений по предотвращению зарождения аварийных ситуаций;
- своевременное выявление случаев хищения электроэнергии.

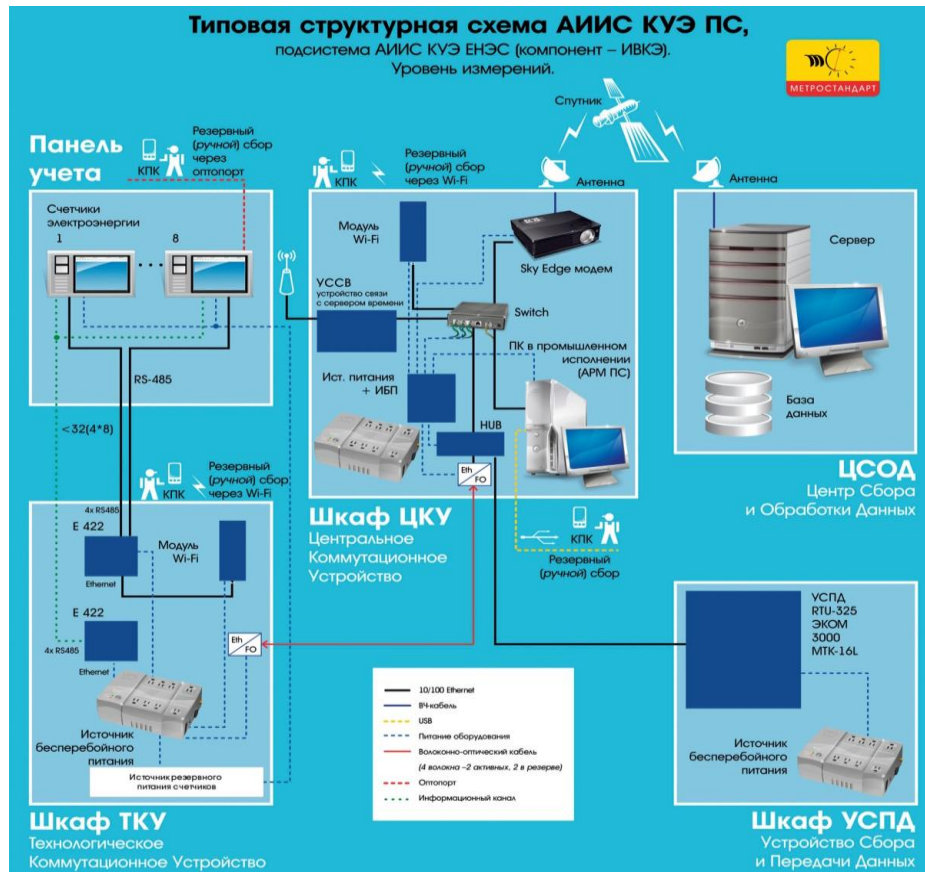


Рис. 2. Структурная схема АИИС КУЭ

Стоит отметить, что рассмотренная система уже на сегодняшний день демонстрирует эффективность и решает поставленные перед ней задачи. Однако стоит заметить, что применительно к учету потерь и выявлению хищений с помощью системы может быть получена лишь информация, детализирующая объемы хищений на заданном участке ЛЭП. Протяженность таких участков в зависимости от шкалы напряжений может составлять десятки километров. Таким образом, при выявлении хищений с определенного участка ЛЭП необходимо его детальное обследование при помощи оперативной выездной бригады (ОВБ). Эти же выводы справедливы и для других удаленных энергообъектов.

На основании сделанных в предыдущей главе выводов можно определить основные требования к модернизации АИИС КУЭ, которые позволят перевести борьбу с хищениями на энергообъектах (хищение электроэнергии, элементов ЛЭП, подстанций и т.д.) на качественно новый уровень:

- придание системе функций предотвращения хищений (т.е. выполнение определенных превентивных мер), а не простого выявления факта ранее совершенного правонарушения;
- обеспечение точного указания места хищения.

Реализовать требования наиболее эффективно предлагаем посредством внедрения видеонаблюдения (как вспомогательной системы), когда обеспечивается качественная детализация контролируемого объекта. Для снижения числа требуемого оборудования нужно отказаться от стационарно расположенных элементов системы видеонаблюдения в пользу



внедрения мобильных платформ, в качестве которых могут использоваться дистанционно управляемые беспилотные летательные аппараты (БЛА). При таком подходе количество элементов системы видеонаблюдения снижается на порядок. Но снижается и зона наблюдения, которая теперь ограничивается возможностями средств наблюдения, установленных на БЛА.

В качестве примера рассмотрим БЛА «Дозор-4».

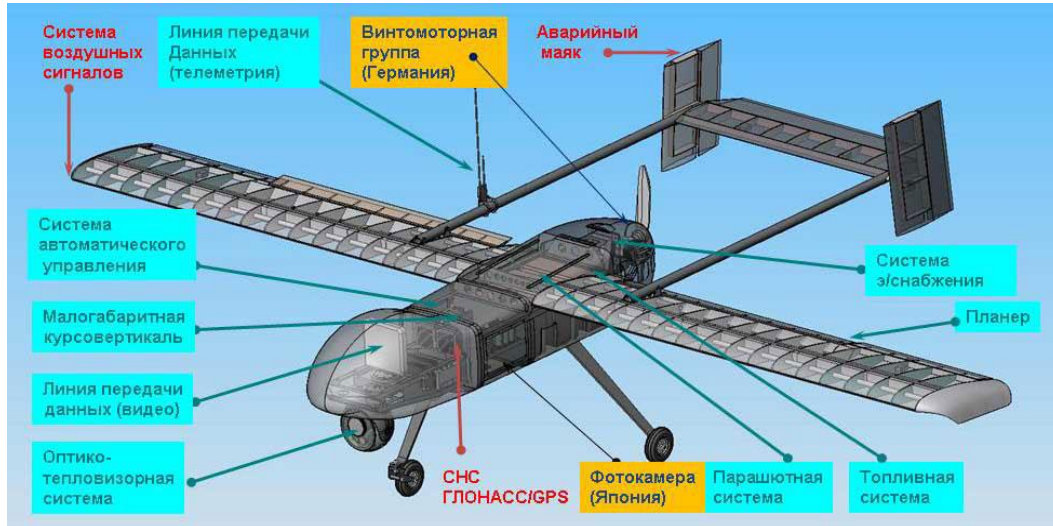


Рис. 2. БЛА «Дозор-4»

Данный БЛА компании «Транзас» выполняет функции наблюдения за наземной обстановкой, поиска, обнаружения, а также идентификации объектов. Возможности БЛА «Дозор-4» открывают широкий спектр для использования. БЛА «Дозор-4» оснащен оптико-тепловизионной системой.

Видео поток записывается на накопитель, расположенный непосредственно на БЛА, а также, передается на наземный пункт управления в реальном времени. В отличие от предыдущего образца характеризуется большой дальностью полета (до 900 км), значительно возросшей массой (85 кг) [3].

В конечном счете, выбор БЛА, как мобильной платформы для системы видеонаблюдения, прежде всего, зависит от максимальной дальности воздушного мониторинга. Еще один ответственный элемент – сменная целевая нагрузка предлагается на выбор: цветная видеокамера; тепловизор; цифровой фотоаппарат планового обзора. Практика использования БЛА показывает, что наиболее оптимальный вариант – использование двухканального устройства, содержащего и видеокамеру, и тепловизор (для темного времени суток).

Возможности применения видеонаблюдения можно качественно перевести на новый уровень используя современные технологии обработки видеоданных. Система сама сможет оценить возникшее отклонение от нормы и, классифицировав его, сможет даже подсказать оператору список дальнейших действий, а если оператор определенное время не принимает никаких действий, то система должна автоматически выполнить список превентивных действий по конкретному типу тревог (например, вызов ОВБ или сотрудников правоохранительных органов, либо подача предупреждающих световых, звуковых сигналов от БЛА в сторону нарушителей с целью предотвращения порчи имущества).

С учетом внедрения видеоаналитики расширим область применения системы мониторинга. Каждый БЛА сможет автономно выполнять следующие важные задачи определения:

- террористических угроз;
- дефектов ЛЭП;
- отклонений геометрии опоры от нормы;
- повреждений изоляторов;
- локальных перегревов проводов и шлейфов в местах контактных соединений;
- контроль соблюдения правил охраны и эксплуатации энергообъектов;
- несанкционированной деятельности в охранных зонах;
- обнаружение построек и сооружений в охранных зонах.

Также расширить область применения можно путем использования системы мониторинга для определения обмерзания проводов, где важно измерить толщину ледообразования для расчета программы плавки. Еще одна задача – мониторинг затопления ЛЭП при весеннем половодье.

Экономический эффект от внедрения системы воздушного мониторинга определяется по нескольким составляющим. Перечислим наиболее важные:

- основная составляющая – снижение прямого ущерба от хищений на энергообъектах, который в масштабах всей страны исчисляется миллиардами рублей;
- благодаря значительному снижению времени обнаружения возникающих неполадок на энергообъектах, сокращается и время принятия решений и, следовательно, уменьшается время простоя энергосистемы, что напрямую влияет на экономические показатели энергокомпаний;
- экономия от решения смежных проблем энергообъектов при помощи системы воздушного мониторинга (например – относительно дешевый метод выявления ледообразований на проводах ЛЭП).

#### Список используемой литературы:

1. Конушкин И., Сметанин В. Коммерческие потери электроэнергии [Электронный ресурс] // Энергорынок. 2007. № 5. С. 86-88. URL: <http://www.e-m.ru/er/2007-05/23213/> (дата обращения 05.11.2012).
2. Хищение электроэнергии в России: масштабы, причины, способы и наказание [Электронный ресурс]. // Портал ЭнергоВОПРОС.ru. URL: <http://www.energovopros.ru/issledovania/2322/2330/20827/> (дата обращения 08.11.2012).
3. Трубников Г. Пограничный «ДОЗОР» [Электронный ресурс]. // Беспилотная авиация. URL: <http://uav.ru/articles/Border-Dozor.pdf> (дата обращения 18.11.2012).

УДК 621.31

#### Анализ электромагнитных полей на примере жилого массива «Зеленая роща» г. Красноярск

*Г.А. Пилюгин, Р.А. Петухов*

*Политехнический институт СФУ, г. Красноярск, Россия*  
[sfu\\_pi\\_pilyugin@mail.ru](mailto:sfu_pi_pilyugin@mail.ru)

Показана методика расчета напряженности электрического и магнитного полей для ЛЭП высокого напряжения, расположенной в жилом массиве «Зеленая роща» г. Красноярск.

Напряжённость электрического поля оказывает прямое влияние на здоровье человека, поэтому при проектировании воздушных линий сверхвысокого напряжения необходимо учитывать расположение жилого массива в непосредственной близости от неё. Рассматриваемая нами линия 220 кВ находится в районе «Зелёной рощи» города Красноярск. Необходимо произвести расчет напряженности электрического и магнитного полей по параметрам исследуемой воздушной линии электропередач. Проведение измерительных работ для получения действительных значений напряженности, сравнение расчетных и действительных значений с предельно допустимыми значениями, установленными санитарными нормами и правилами, тем самым определить уровень превышения воздействия электрического и магнитного полей на жилой район вблизи ЛЭП.

Для теоретического расчета напряженностей были взяты стандартные параметры линии 220 кВ.

Таблица. Исходные параметры расчета

$U_{ном}$ , кВ	Расстояние между фазами $D$ , м	Длина пролета $l$ , м	Высота опоры $H$ , м	Габарит $h$ , м	Марка провода	Радиус провода $r$ , м
220	7	250–350	25–30	7–8	АС 185	0,019

Для упрощения приняли, что грозозащитный трос изолирован от опоры. В результате этого тросы не оказывают существенного влияния на электрическое поле проводов. При этом условия вычисленные значения напряжённостей поля будут несколько завышенными по сравнению с фактическими значениями, что в итоге ужесточает требование безопасности и поэтому допустимо.

В расчете используется метод зеркальных проекций, при котором поле ВЛ будет создаваться не только зарядами проводов, но и зарядами их зеркальных изображений. При этом вектор напряжённости суммарного поля будет равен геометрической сумме векторов напряжённостей полей всех зарядов «Рис.1.». Напряжённость поля рассчитываем на приблизительной высоте человеческого тела на уровне двух метров.

Напряжённость электрического поля трёхфазной воздушной линии электропередач:

$$E = \frac{C \cdot U_0}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0} \cdot \sqrt{(2 \cdot k_1 - k_3 - k_5)^2 + 3 \cdot (k_3 - k_5)^2 + (2 \cdot k_2 - k_4 - k_6)^2 + 3 \cdot (k_4 - k_6)^2}$$

Коэффициенты  $k$  имеют следующие значения:

$$k_1 = \frac{x+d}{m_A^2} - \frac{x+d}{n_A^2}; \quad k_2 = \frac{H-h}{m_A^2} + \frac{H+h}{n_A^2}; \quad k_3 = \frac{x}{m_B^2} - \frac{x}{n_B^2};$$

$$k_4 = \frac{H-h}{m_B^2} + \frac{H+h}{n_B^2}; \quad k_5 = \frac{x-d}{m_C^2} - \frac{x-d}{n_C^2}; \quad k_6 = \frac{H-h}{m_C^2} + \frac{H+h}{n_C^2}.$$

$A, B, C$  – фазы «провода» линии;  $A', B', C'$  – зеркальное изображение фаз;  $m_A, m_B, m_C$  – кратчайшее расстояние от  $P$  до фаз линии;  $n_A, n_B, n_C$  – кратчайшее расстояние от  $P$  до зеркальных отображений фаз.

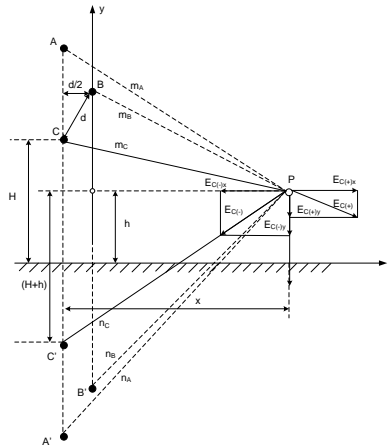


Рис. 1. К вычислению напряжённости поля вблизи воздушной линии электропередач в точке  $P$

Отрезки  $m$  и  $n$  являются гипотенузами соответствующих треугольников «Рис. 1.» и определяются следующими уравнениями:

$$m_A = \sqrt{(H-h+x)^2 + x^2}; \quad n_A = \sqrt{(H+h+x)^2 + x^2}.$$

Значения  $m_B, n_B, m_C, n_C$  вычисляются аналогичным образом из Рис.1.

Расчёт напряжённости магнитного поля многопроводной линии следует начать с выбора условных положительных направлений токов в проводах. Так как токи в проводах и в их зеркальных изображениях в каждый момент времени направлены в противоположные стороны, то условные положительные направления токов удобно выбрать противоположенными, а расчет напряжённости магнитного поля в этом случае ничем не отличается от соответствующего расчета при постоянном токе.

На практике удобно представлять поле, созданное сложной системой проводов, суперпозицией полей прямых отрезков проводов конечной длины. Следует отметить, что задача по нахождению напряжённости магнитного поля провода конечной длины не имеет чёткого физического смысла, так как в квазистационарном случае магнитные поля создаются токами проводимости, протекающими по замкнутым цепям. Поэтому искомый результат можно рассматривать как вклад, вносимый данным отрезком замкнутой цепи в общее магнитное поле. Геометрия задачи представлена на Рис. 2.

Напряжённость магнитного поля, создаваемого прямолинейным проводником длиной  $l$ , находится из известного интеграла закона Био-Савара-Лапласа и определяется выражением:

$$H = \frac{I}{4 \cdot \pi \cdot R} \cdot (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2), \quad \alpha_1 = \arctg \frac{R}{Z}, \quad \alpha_2 = \arctg \frac{R}{l-Z}$$

где углы  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  выражаются через прямоугольные координаты R и Z.

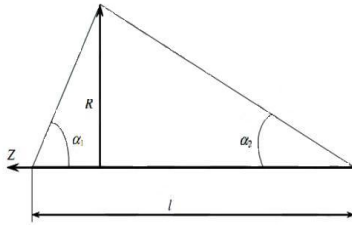


Рис. 2. К вычислению магнитного поля прямого провода конечной длины

Задачи по нахождению магнитного поля системы проводов сложной конфигурации в общем случае не имеют осевой симметрии, и их решение удобнее проводить в декартовой системе координат.

Результирующее магнитное поле находится геометрическим суммированием частных полей:

$$\vec{H} = \sum_{i=1}^N (\vec{H}_i + \vec{H}'_i), \quad I_i = I \cdot e^{j(i-1)\Delta}$$

где  $I_i$  – ток в  $i$ -ом проводе.

Выражение записано в предположении о том, что ЛЭП нагружена сбалансировано, и ток в нулевом проводе равен нулю; амплитуда тока  $I$  может быть определена, например, по сезонному графику загрузки ЛЭП.

Напряженность магнитного поля, создаваемого проводом и его зеркальным изображением соответственно равны:

$$H_i = \frac{I \cdot e^{j(i-1)\Delta}}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{(x-d_i)^2 + (h_i-z_0)^2}} \cdot \gamma, \quad H'_i = \frac{I \cdot e^{j(i-1)\Delta}}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{(x-d_i)^2 + (h_i+z_0)^2}}$$

где  $\gamma = \frac{1}{2} \cdot (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2)$  – коэффициент, учитывающий конечность длины проводника.

Модуль вектора напряженности магнитного поля, стоящего под знаком суммы, определяется выражением следующего вида:

$$|\vec{H}_i + \vec{H}'_i| = \frac{I \cdot e^{j(i-1)\Delta}}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{1}{R_i^2} + \frac{1}{(R'_i)^2} + \frac{2}{R_i \cdot (R'_i)} \cdot \cos \psi}$$

Геометрическое суммирование осуществляется, исходя из особенностей конфигурации и взаимного расположения проводов, соответствующих типу конкретной опоры ЛЭП.

По результатам расчетов по вышеуказанным формулам были построены графики напряженностей электрического и магнитного полей в зависимости от расстояния «Рис. 3., 4.».

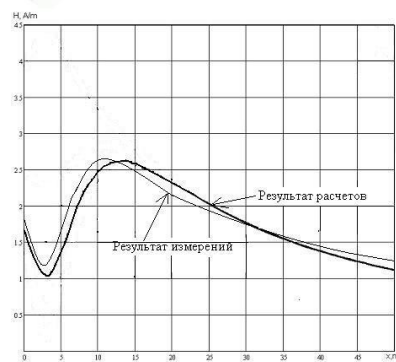
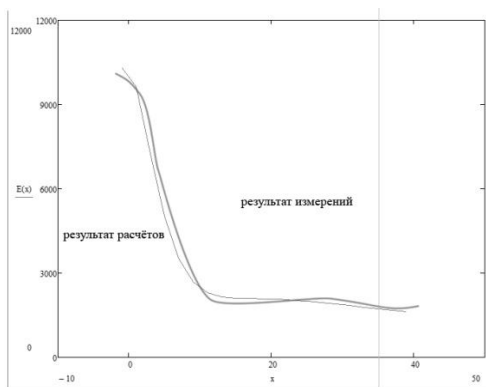


Рис. 3., 4. Графики расчетов и результатов измерений напряженностей электрического и магнитного составляющих полей

Практической стороной произведены замеры напряженности электрического и магнитного полей комплектом приборов для измерения электромагнитных излучений «Циклон 05» «Рис. 5.».



Рис. 5. Комплект приборов «Циклон 05»

Комплект приборов предназначен для измерения среднеквадратических значений магнитной индукции и напряженности низкочастотных электромагнитных полей вблизи различных технических средств, в том числе компьютеров, при контроле норм в области охраны природы, безопасности труда и населения в соответствии с государственными стандартами и санитарными нормами (СанПин 2.2.4.1191-03). Результаты расчетов и экспериментальных измерений представленных на Рис. 3. и Рис. 4. соизмеримы между собой.

Отклонение экспериментальных значений от расчетных не превышает  $\pm 5\%$ .

Значения напряженности электрических и магнитных полей должны учитываться при проектировании жилых массивов и общественных зданий.

**Список используемой литературы:**

1. Долин П. А. Основы техники безопасности в электроустановках: Учеб. Пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 488 с., ил.
2. Довбыш В. Н., Маслов М. Ю., Сподобаев Ю. М. Электромагнитная безопасность элементов энергетических систем: Монография. – Самара: ООО «ИПК «Содружество», 2009. – 198 с.
3. СанПин 2.2.4.1191-03 Электромагнитные поля в производственных условиях. Дата введения 01.05.2003. М.: Кодекс, 2004. – 24 с.

УДК 621.577

**Организация энергосберегающей системы с включением трансформатора теплоты в  
промышленных процессах разделения**

*Л.В. Плотникова, Г.И. Ефремов\**

*Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия*

*\* Московский государственный открытый университет, г. Москва, Россия*

*E-mail: mikhailovalv@mail.ru*

Рассмотрены возможности применения трансформаторов тепловой энергии в системах ректификации на промышленных предприятиях России. Выявлены энергоэффективные варианты решений по организации систем рекуперации энергии с включением тепловых насосов.

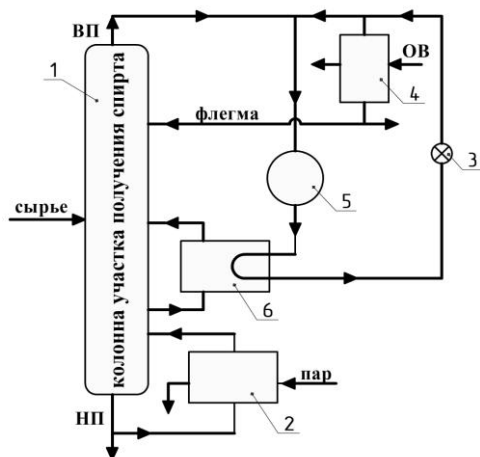
Трансформаторы теплоты в настоящее время нашли широкое применение за рубежом, притом не только как источники теплоснабжения зданий и промышленных объектов, но и как средство экономии энергии в промышленности. Однако в России вопрос организации систем рекуперации тепловой энергии на базе применения трансформаторов теплоты на промышленных объектах занимает одно из последних мест в решении вопросов энергосбережения. Значимыми причинами небольшого объема внедрения трансформаторов теплоты является слабая машиностроительная база компрессорного оборудования в отечественной промышленности, а также отсутствие широкого опыта применения таких установок, что было связано с заниженными тарифами на тепловую и электрическую энергию в Советское время. На современном этапе

развития экономики РФ решение вопросов энергосбережения с применением трансформаторов тепловой энергии актуально [1].

Процессы разделения, реализуемые в технологических схемах химической, нефтехимической, нефтеперерабатывающей, целлюлозно-бумажной, пищевой и других отраслей промышленности, характеризуются значительным потреблением энергии. Так, одной из технологий, включающей установки разделения, является участок разделения смесей этилен-этан, пропилен-пропан при получении низших олефинов – основного сырья для крупнотоннажных производств органического синтеза. На этой стадии олефины выделяют по абсорбционно-ректификационным или конденсационно-ректификационным схемам, включающим значительное количество ректификационных колонн, являющихся крупными потребителями тепловой энергии в виде водяного пара для обогрева кубовых частей колонн. Энергоемкие процессы разделения также имеют место и на участках целлюлозно-бумажных производств, в частности на участке выделения спирта. Так, производство спирта сопровождается выходом большого количества теплой воды после конденсации водно-спиртовых паров в дефлегматорах, которая полезно в данной схеме не используется. В связи с этим актуален вопрос снижения затрат энергии в промышленных процессах разделения.

Указанные потоки теряемой тепловой энергии в промышленных процессах разделения являются низкотемпературными, что исключает возможность их полезного использования с применением стандартного теплообменного оборудования. Возможное решение вопроса заключается в организации систем, использующих данные собственные резервы энергосбережения, в частности, в организации систем рекуперации потоков энергии выходных продуктов ректификационных колонн с применением обозначенных выше трансформаторов теплоты, работающих по принципу теплового насоса. Тепловой насос позволяет передать тепловую энергию от низкотемпературного потока к потоку с той же или более высокой температурой за счет повышения потенциала компримированием либо данного потока, либо промежуточного теплоносителя, что в данном случае дает возможность осуществить рекуперацию неиспользуемых потоков тепловой энергии.

Рассмотрим варианты включения теплового насоса в промышленные процессы разделения. Вариантом включения теплового насоса в процессы разделения является использование энергии верхнего продукта колонн для подогрева нижней части (рис. 1). Верхний продукт сжимается в компрессоре 5 и используется в качестве греющего агента в кипятыльниках колонны для подогрева и испарения нижнего продукта. Затем верхний продукт дросселируется в 3 и возвращается в качестве флегмы в колонну 1. Однако при разделении смеси этиловый спирт – вода имеется температурная депрессия, которая покрывается дополнительным сжатием паров, что приводит к их перегреву и дополнительным потерям в кипятыльнике колонны за счет высокого температурного напора. Поэтому схема (рис. 1) включает дополнительный кипятыльник 6, в который поступают утилизируемые таким образом сжатые пары верхнего продукта колонны [2].



Недостающее количество тепловой энергии для полного испарения нижнего продукта колонны поступает в кипятыльник 2 с паром от внешнего источника, в частности, от котла.

Рис. 1. Схема включения трансформатора теплоты в процессы разделения на примере разделения смеси этиловый спирт – вода: 1 – колонна, 2 – кипятыльник, 3 – дроссельный клапан, 4 – конденсатор, 5 – компрессор, 6 – дополнительный кипятыльник, ВП – верхний продукт, НП – нижний продукт, ОВ – охлаждающая вода.

Схема установки, позволяющей использовать теплоту воды после конденсации в дефлегматорах системы разделения, показана на рис. 2. Дефлегматорная вода после конденсации паров верхнего продукта направляется в теплообменники 3 для дополнительного подогрева и затем поступает в бак-расширитель 6. Пары самоиспарения сжимаются в двухступенчатом струйном аппарате 4, 5 и направляются в колонну 1 как греющий агент [2].

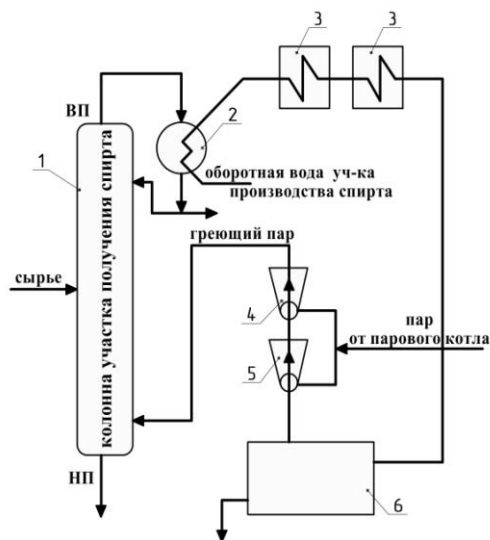


Рис. 2. Схема теплоснабжения колонны разделения с 2-х ступенчатым струйным аппаратом: 1 – колонна, 2 – дефлегматор, 3 – подогреватель, 4, 5 – струйные аппараты, 6 – бак-расширитель, ВП – верхний продукт, НП – нижний продукт

Включение трансформатора теплоты в процессах разделения позволяет за счет рекуперации теряемой ранее теплоты верхнего продукта колонн экономить значительное количество греющего пара за счет некоторого увеличения затрат электроэнергии. Так, включение трансформаторов теплоты на вышеупомянутом участке разделения смесей этилен-этан, пропилен-пропан при получении низших олефинов привело к исключению потребности в паре в кипятыльниках колонн.

С целью повышения эффективности работы системы «колонна-тепловой насос» дополнительно предложено, чтобы сама колонна была выполнена в виде теплообменного аппарата типа «труба в трубе», пространство внутри труб ректификационной колонны заполнено насадкой, а стенки труб имели гофрированную форму [3]. Такая модернизация помимо указанного выше эффекта позволяет уменьшить высоту колонны, что в итоге приводит к снижению себестоимости конечного продукта.

Таким образом, применение трансформаторов теплоты в процессах разделения на предприятиях химической, нефтеперерабатывающей, целлюлозно-бумажной и пр. отраслях промышленности даст возможность достичь экономии энергии, затрачиваемой на собственные нужды, не менее 20 – 25 %, что приведет к существенному снижению себестоимости отпускаемой продукции и уменьшению удельного расхода топлива на 5 – 10 %.

#### Список используемой литературы:

1. Александров И.И., Ефремов Г.И., Брюзгинов Е.В. Применение теплового насоса в процессах ректификации // Энергосбережение и водоподготовка. – 2007. – № 1. – С. 33-36.
2. Янговский Е.И., Левин Л.А. Промышленные тепловые насосы. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 128 с.
3. Ефремов Г.И., Александров И.А., Плотникова Л.В., Галибина Г.В. Ректификационная установка: пат. 2393904 Россия. № 2009107903/15; заявл. 05.03.2009; опубл. 10.07.2010, – Бюл. №19. – 6 с.

УДК 621.313:006.065.2

#### Приводные односкоростные трехфазные асинхронные электродвигатели в системе привода: обобщения по применению нормативных положений по показателю и классам энергоэффективности

*Г.В. Птицын*

*г. Москва, Россия*

*G.Ptitsyn@list.ru*

В развитие актуальных научно-изыскательских работ по установлению показателей и классов энергоэффективности для систем приводов, как для одних из широко распространенных технических устройств передающих и преобразующих энергию, в настоящей статье приведено обзорно-аналитическое исследование с обобщениями по применению нормативных положений по показателю и классам энергоэффективности, гармонизированного национального стандарта ГОСТ Р 54413-2011, в приложении к односкоростным трехфазным асинхронным электродвигателям, применяемых в системе привода в качестве приводного двигателя.

Актуальность представленных в статье обзорно-аналитических исследований удостоверяют объем энергопотребления электродвигателями в промышленности, составляющее, по данным ряда экспертных обследований, от 30 % до 40 % от всей вырабатываемой в мире электроэнергии, и прогнозируемое специалистами на уровне 60 % энергосбережение от оптимизации электроприводов [1].

В развитие научно-исследовательских работ по установлению показателей и классов энергоэффективности для систем приводов [2, 3], как для одних из широко распространенных технических устройств передающих и преобразующих энергию, проведены обзорно-аналитические исследования нормативных положений, послуживших предметом исследований, к односкоростным трехфазным асинхронным электродвигателям, применяемых в системе привода в качестве приводного двигателя, гармонизированного национального стандарта ГОСТ Р 54413-2011 «Машины электрические вращающиеся. Часть 30. Классы энергоэффективности односкоростных трехфазных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором (код IE)», принятым в качестве объекта исследования.

Планировались и проводились обзорно-аналитические исследования с применением методов, базирующихся на следующих стандартизованных и нормированных требованиях:

- 1) по организации исследований информационных источников в соответствии с требованиями ГОСТ 15.101-98 «Система разработки и постановки продукции на производство. Порядок выполнения научно-исследовательских работ»;
- 2) по использованию научно-технического вида экспертной оценки в соответствии с требованиями ГОСТ Р 1.6-2005 «Стандартизация в Российской Федерации. Проекты стандартов. Организация проведения экспертизы»;
- 3) по основным принципам стандартизации в области энергосбережения в соответствии с требованиями ГОСТ Р 51387-99 «Энергосбережение. Нормативно-методическое обеспечение. Основные положения»;
- 4) по применению методических указаний по проверке соответствия нормативно-технического документа требованиям основного потребителя в соответствии с требованиями РД 50-696-90 «Методические указания. Порядок проведения экспертизы государственных стандартов».

В результате анализа объекта исследования в части области применения было выявлено отсутствие значительных отраслевых ограничений в распространении стандартизованных требований, и обосновано оно тем, что в нормативном документе определены показатели и классы энергоэффективности для односкоростных трехфазных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором, с питанием от сети переменного тока напряжением до 1000 В, мощностью от 0,75 до 200 кВт, т.е. для электрических вращающихся машин, в том числе для приводных, широко применяемых в сельском и в жилищно-коммунальном хозяйствах, в металлургической и в машиностроительной отраслях, в энергоемких горно-, нефте-, газодобывающих комплексах. Отсутствие значительных отраслевых ограничений в распространении стандартизованных требований дополнительно подтверждает применение исследуемых нормативных положений к электродвигателям, включая приводные, предназначенные для работы в условиях осложненных высокими или низкими температурами окружающей среды, большой высотой над уровнем моря, ограниченным пространством.

В ходе обзорно-аналитических исследований был проведен сравнительный и обобщающий анализ значений показателя энергоэффективности – КПД, определяющий один из следующих стандартизованных классов энергоэффективности: IE 1 – «нормальный» класс энергоэффективности; IE 2 – «повышенный» класс энергоэффективности; IE 3 – «премиум» класс энергоэффективности; IE 4 – «супер-премиум» класс энергоэффективности. Анализ был проведен для работающих в номинальном режиме односкоростных трехфазных асинхронных электродвигателей, широко распространенных в системе привода в качестве приводного двигателя, с питающим напряжением частотой 50 Гц, номинальных мощностей от 0,75 до 200 кВт на выходе двигателя. Подвергнутые анализу стандартизованные численные значения представлены в таблице.

По результатам сравнительного анализа приведенных в таблице стандартизованных значений КПД сформулированы следующие обобщения:

- 1) применение нормативных положений по показателю и классам энергоэффективности к односкоростным трехфазным асинхронным электродвигателям, применяемых в системе привода в качестве приводного двигателя, не имеет существенных отраслевых ограничений;
- 2) применение нормативных положений по показателю энергоэффективности к односкоростным трехфазным асинхронным электродвигателям, применяемых в системе привода в качестве приводного двигателя, принципиально возможно, но при выполнении следующего, необходимого для обеспечения достоверности и информативности, условия: продолжительность установившегося номинального режима работы приводного электродвигателя должна составлять не менее 80 % от всего времени работы;



Таблица. «Стандартизированные значения КПД (%) односкоростных трехфазных асинхронных электродвигателей, при частоте питающего напряжения 50 Гц».

Номинальная мощность на выходе, $P_N$ , кВт	Класс энергетической эффективности IE 1 (Нормальный)			Класс энергетической эффективности IE 2 (Повышенный)			Класс энергетической эффективности IE 3 (Премиум)			Класс энергетической эффективности IE 4 (Супер-премиум)		
	2 полюса	4 полюса	6 полюсов	2 полюса	4 полюса	6 полюсов	2 полюса	4 полюса	6 полюсов	2 полюса	4 полюса	6 полюсов
0,75	72,1	72,1	70,0	77,4	79,6	75,9	80,7	82,5	78,9	84,9	85,6	83,1
1,1	75,0	75,0	72,9	79,6	81,4	78,1	82,7	84,1	81,0	86,7	87,4	84,1
1,5	77,2	77,2	75,2	81,3	82,8	79,8	84,2	85,3	82,5	87,5	88,1	86,2
2,2	79,7	79,7	77,7	83,2	84,3	81,8	85,9	86,7	84,3	89,1	89,7	87,1
3,0	81,5	81,5	79,7	84,6	85,5	83,3	87,1	87,7	85,6	89,7	90,3	88,7
4,0	83,1	83,1	81,4	85,8	86,6	84,6	88,1	88,6	86,8	90,3	90,9	89,5
5,5	84,7	84,7	83,1	87,0	87,7	86,0	89,2	89,6	88,0	91,5	92,1	90,2
7,5	86,0	86,0	84,7	88,1	88,7	87,2	90,1	90,4	89,1	92,1	92,6	91,5
11,0	87,6	87,6	86,4	89,4	89,8	88,7	91,2	91,4	90,3	93,0	93,6	92,5
15,0	88,7	88,7	87,7	90,3	90,6	89,7	91,9	92,1	91,2	93,4	94,0	93,1
18,5	89,3	89,3	88,6	90,9	91,2	90,4	92,4	92,6	91,7	93,8	94,3	93,5
22,0	89,9	89,9	89,2	91,3	91,6	90,9	92,7	93,0	92,2	94,2	94,7	93,9
30,0	90,7	90,7	90,2	92,0	92,3	91,7	93,3	93,6	92,9	94,5	95,0	94,3
37,0	91,2	91,2	90,8	92,5	92,7	92,2	93,7	93,9	93,3	94,8	95,3	94,6
45,0	91,7	91,7	91,4	92,9	93,1	92,7	94,0	94,2	93,7	95,1	95,6	94,9
55,0	92,1	92,1	91,9	93,2	93,5	93,1	94,3	94,6	94,1	95,4	95,8	95,2
75,0	92,7	92,7	92,6	93,8	94,0	93,7	94,7	95,0	94,6	95,6	96,0	95,4
90,0	93,0	93,0	92,9	94,1	94,2	94,0	95,0	95,2	94,9	95,8	96,2	95,6
110	93,3	93,3	93,3	94,3	94,5	94,3	95,2	95,4	95,1	96,0	96,4	95,6
132	93,5	93,5	93,5	94,6	94,7	94,6	95,4	95,6	95,4	96,0	96,5	95,8
160	93,8	93,8	93,8	94,8	94,9	94,8	95,6	95,8	95,6	96,2	96,5	96,0
200	94,0	94,0	94,0	95,0	95,1	95,0	95,8	96,0	95,8	96,3	96,6	96,1

- 3) при выполнении определенного выше условия, нормативные положения по показателю и классам энергоэффективности возможно распространить на односкоростные трехфазные асинхронные электродвигатели, применяемые в системе привода в качестве приводного двигателя, для эксплуатационных условий осложненных высокими и низкими температурами окружающей среды, большой высотой над уровнем моря, частыми пусками-торможениями и/или пусками под нагрузкой, переменной нагрузкой, нестабильным энергоснабжением из-за колебаний напряжения, частоты или ограничением пускового тока.

Автор с благодарностью примет все замечания и отзывы по представленной статье, которые просит направлять по адресу электронной почты: [G.Ptitsyn@list.ru](mailto:G.Ptitsyn@list.ru).

#### Список используемой литературы:

1. ГОСТ Р 54413-2011. Машины электрические вращающиеся. Часть 30. Классы энергоэффективности односкоростных трехфазных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором (код IE) [Текст]. М.: ФГУП СТАНДАРТИНФОРМ, 2012. – 20 с.
2. Птицын, Г.В. Показатель энергетической эффективности гидравлического привода с управлением, используемого в качестве поверхностного привода нефтяного скважинного штангового винтового насоса [Текст] / Сборник научных трудов, посвященный 35-летию со дня образования кафедры гидропневмоавтоматики и гидропривода ГОУ ВПО «КГТА имени В. А. Дегтярева». – Ковров: Изд-во КГТА, 2010. – С. 181-185.
3. Птицын, Г.В. Результаты оценки стандартизированного показателя энергетической эффективности гидравлических приводных систем [Текст] // Энергобезопасность и энергосбережение. Научно-технический, информационно-аналитический и учебно-методический журнал. – 2012. – №4. – С. 20-22.

УДК 621.311

**Вейвлет-преобразование при определении параметров электрической энергии***С.С. Сиромаха, П.О. Ивкина**Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия**E-mail: siromaha83@mail.ru*

Показана возможность применения методов обработки сигналов для анализа параметров качества электрической энергии.

Сигнал — материальный носитель информации, используемый для передачи сообщений в системе связи. Сигнал может генерироваться, но его приём не обязателен, в отличие от сообщения, которое должно быть принято принимающей стороной, иначе оно не является сообщением. Сигналом может быть любой физический процесс, параметры которого изменяются в соответствии с передаваемым сообщением. По физической природе носителя информации сигналы могут быть электрическими, электромагнитными, оптическими, акустическими и др.

Есть два способа представления сигнала в зависимости от области определения: временной и частотный. В первом случае сигнал представляется функцией времени  $s(t)$  характеризующей изменение его параметра.

Кроме привычного временного представления сигналов и функций при анализе и обработке данных широко используется описание сигналов функциями частоты. Действительно, любой сколь угодно сложный по своей форме сигнал можно представить в виде суммы более простых сигналов, и, в частности, в виде суммы простейших гармонических колебаний, совокупность которых называется частотным спектром сигнала.

Для перехода к частотному способу представления используется преобразование Фурье:

$$S(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} s(t) e^{-j\omega t} dt$$

Функция  $S(\omega)$  называется спектральной функцией или спектральной плотностью. В системах контроля и регулирования различных технологических процессов основное значение придается получению достоверной информации, ее преобразованию, передаче, обработке и воздействию на управляемый объект. Обычно информация представляется в виде электрического сигнала.

В общем случае электрическим сигналом называется сигнал, функционально связанный с какой-либо физической величиной и несущий информацию о ее значении. Цель обработки сигналов — извлечение определенных информационных сведений, которые отображены в этих сигналах и преобразование этих сведений в форму, удобную для восприятия и дальнейшего использования.

Для анализа несинусоидальных режимов достаточно применения классического дискретного преобразования Фурье (для заданного количества отсчетов за один период) с дальнейшим обобщением результатов на определенный промежуток времени.

Общий недостаток всех видов преобразования Фурье — неразличимость интергармоник.

Альтернативным математическим аппаратом преобразования сложных сигналов является вейвлет-преобразование (wavelet transform) — относительно новое и мощное средство анализа и обработки сигналов. Это частотно-временное преобразование, позволяющее осуществить локализацию сигнала, как по частоте, так и по времени. Полученные вейвлет-спектрограммы принципиально отличаются от обычных спектров Фурье тем, что дают четкую привязку спектра различных особенностей сигналов ко времени. Интегральное всплесковое преобразование дает одновременно локальную информацию о функции и о ее преобразовании Фурье, причем для анализа высокочастотных составляющих функции — локализация более сильная (для повышения точности), а для низкочастотных — локализация более слабая (для получения полной информации). Но самое главное, вейвлет-преобразование позволяет обработать сигнал любой сложности. Скользящий спектр Фурье, наоборот, не различает локальных и глобальных свойств сигнала, не дает возможности выделить или исключить характерные свойства нестационарных сигналов.

В качестве примера на рис.1 представлен вейвлет Морле. Вейвлет Морле описывается уравнением:

$$\psi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-b)^2}{2 \cdot a^2}} \cdot e^{j2\pi \frac{(t-b)}{a}}$$

где  $a$  — масштаб (сжатие, растяжение),  $b$  — временное смещение по сигналу.

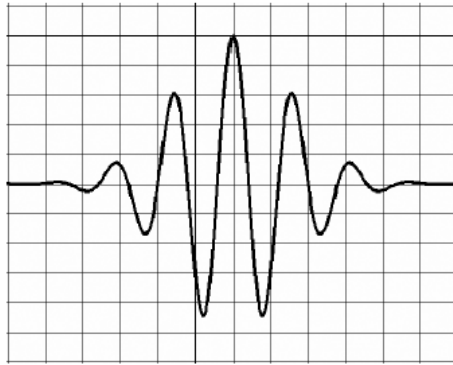


Рис. 1 Вейвлет Морле

Этот вейвлет представляет собой плоскую волну, модулированную гауссианой и дает результаты, наиболее согласованные с терминами Фурье-анализа. В частности понятие масштаба  $a$  полностью соответствует низким частотам, а малые-высоким. Метод вейвлет-анализа заключается в разложении исходного сигнала по базисным функциям, полученным из исходного прототипа («материнский вейвлет») путем сжатий, растяжений и сдвигов по времени.

Как следует из рисунка 1, вейвлеты быстро спадают до нуля за пределами некоторого конечного интервала времени в отличие, например, от бесконечно осциллирующих синусоид, по которым сигнал раскладывается в рамках традиционного анализа Фурье. Компактность вейвлетов позволяет осуществить локальный анализ сигналов и проследить изменчивость их частотно масштабных характеристик.

Сигналы питающего напряжения содержат разномасштабные локальные особенности. Относительная величина и временная протяженность таких особенностей зависит от природы возмущения.

Временной ряд сложной структуры может быть представлен в виде суммы разномасштабных ортогональных компонент  $f_j$ :

$$f(t) = x_1 f_1(t) + x_2 f_2(t) + \dots + x_n f_n(t), \quad (1)$$

$$\sum_i g_i f_j(t_i) f_k(t_i) = \delta_{jk}, g_i = 1/\sigma_i^2, \quad (2)$$

Процедуру идентификации компонент  $f_j$  построим на применении методов аппроксимации, основанных на разложении функции по базису в пространстве Лебега  $L^2(\mathbb{R})$ . Учитывая локальный характер анализируемых особенностей, их разномасштабность и разнообразие по форме, наиболее подходящим базисом для представления данных является вейвлет-базис:

$$f_j(t) = \sum_k c_{j,k} \psi_{j,k}(t),$$

где,  $\psi_{j,k}$  - базисные вейвлет-функции пространства  $L^2(\mathbb{R})$ .

Вейвлет-коэффициенты  $c_{j,k} = \langle f, \psi_{j,k} \rangle$  рассматриваются здесь как результат отображения  $f$  в пространство с разрешением  $j$ . Будем использовать нелинейные аппроксимирующие вейвлет-схемы. В этом случае приближение  $f$  выполняется  $M$  векторами, зависящими от структуры сигнала:

$$f_M = \sum_{m \in I_M} \langle f, \psi_m \rangle \psi_m,$$

где  $I_M$  - множество индексов, определяемое структурой сигнала  $f$ .

Рассмотрим в качестве пространства исходных дискретных последовательностей данных пространство с разрешением  $j=0$

$$V_0 = \text{clos}_{L^2(\mathbb{R})}((2^0 t - k)), \quad k \in \mathbb{Z}$$

В этом случае нулевой уровень детальности  $f_0$  соответствует интервалу снятия показаний.

Применяя к данным конструкцию разложения в вейвлет-пакеты, получим схему разложения пространства  $V_0$ :

$$W_0 = \bigoplus_{i=1}^{m-1} W_{-j_i} \oplus V_{-n},$$

где  $W_0 = V_0$ ;  $W_{-j_i}$  - пространства вейвлет-пакета.

Данные с шумом будут иметь представление

$$y_0(t) = \sum_{-j_i} [(g[2^{-j_i}] + \varepsilon[2^{-j_i}]) + f[2^{-n}]] = f_1(t) + f_2(t) + \varepsilon(t),$$

$$f_1(t) = \sum_{(-j_i, k) \in I_M} d_n^{-j_i} \psi_{-j_i, k}(t), \quad f_2(t) = \sum_k c_k^{-n} \psi_{-n, k}(t)$$

где компоненты

единственным образом определяются последовательностями коэффициентов

$$\bar{d}^{-j_i} = \{d_k^{-j_i}\}_{k \in \mathbb{Z}}, \quad \bar{c}^{-n} = \{c_k^{-n}\}_{k \in \mathbb{Z}};$$

$d_k^{-j_i} = \langle f, \psi_{-j_i, k} \rangle$ ,  $c_k^{-n} = \langle f, \psi_{-n, k} \rangle$ , компонента  $\varepsilon(t)$ , определяемая коэффициентами

$\varepsilon_k^{-j_i} = \langle \varepsilon, \psi_{-j_i, k} \rangle$ , является шумовой компонентой.

Выделенная составляющая  $f_1(t) = \sum g_{-j_i}$  является детализирующей компонентой и определяет локальные особенности структуры данных, сглаженная составляющая  $f_2(t) = f_{-n}$  содержит устойчивые характеристики структуры.

Компоненты  $g_{-j_i}$  и  $f_{-n}$  имеют более простую структуру, чем исходный временной ряд  $f$ , и, в силу условия (2), не коррелируют между собой. Эти свойства позволяют выполнить идентификацию моделей для каждой из полученных компонент и объединить полученные представления на основе соотношения (1) в общую модель временного ряда.

Численный метод идентификации компонент  $g_{-j_i}$  и  $f_{-n}$  включает операции выбора аппроксимирующего вейвлет-базиса  $\psi_m$ , выделения компонент ряда, а затем диагностические проверки позволяют выявить возможные погрешности полученной модели, если погрешности удовлетворяют требованиям, модель готова к использованию.

Выделенные компоненты  $g_{-j_i}$  и  $f_{-n}$  аппроксимируются моделью, которая используется при моделировании нестационарных временных рядов, называется моделью авторегрессии (модель):

Данные этапы образуют промежуточный этап общей последовательности действий по идентификации многокомпонентной модели временного ряда. При подгонке модели эти этапы должны быть выполнены для различных компонент и на основе результатов диагностических проверок полученных моделей компонента должна быть идентифицирована окончательная модель, общий вид которой:

$$f(t) = \sum_{j, k} s_k^j(t) \psi_{j, k}(t),$$

$$s_k^j(t) = \sum_{l=1}^{p_j} \gamma_l^j \omega_{k-l}^j(t) \quad (3)$$

где  $\gamma_l^j$  - коэффициенты авторегрессии компоненты модели масштаба  $j$ ,  $\omega_k^j(t) = \nabla^d \eta_k^j(t)$ ,  $\eta_k^j(t) = \{d_k^{-j_i}, c_k^{-n}\}_{(-j_i, -n) \in I_M}$ ,  $p_j$  - порядок модели компоненты масштаба  $j$ ,  $\nabla^d$  - оператор взятия разности назад порядка  $d$ .

Прогнозирование значения  $s_{k+q}^j$ ,  $q \geq 1$  определяет прогноз  $s_k^j$  в момент  $t=k$  с упреждением  $q$ . Значение  $s_{k+q}^j$  на основе полученной модели (3) можно выразить следующим образом:

$$s_{k+q}^j(t) = \sum_{l=1}^{p_j} \gamma_l^j \omega_{k+q-l}^j(t).$$

**Значение и применение вейвлет-преобразования.** Между процедурой вычисления комплексных гармоник Фурье и процедурой дилатации (сжатие или растяжение) материнской вейвлет-функции существует взаимосвязь, позволяющая установить количественное соотношение между комплексной частотой Фурье и масштабирующей переменной вейвлет-функции. Таким образом, при программировании современных приборов (анализаторы и регистраторы), предназначенные для измерения ПКЭ в электрических сетях предпочтительнее использовать вейвлет-

преобразования, а не метод быстрого преобразования Фурье. Так как только это преобразование позволяет оценить достоверно и с высокой точностью амплитудно-частотные и временные характеристики нестационарных сигналов. При применении вейвлет-преобразования ширина вейвлета в десятки раз меньше ширины одного периода основной частоты и сознательно изменяется с целью выявления мельчайших нестационарностей (сингулярностей), и в этом собственно заключается огромное преимущество этого математического метода.

**Список используемой литературы:**

1. Горева Т.С., Кузнецов С.Е., Портнягин Н.Н. Построение модели сигналов электрической сети на основе вейвлет – конструкции и модели авторегрессии проинтегрированного скользящего среднего // Современные проблемы науки и образования. – 2011. – № 6;
2. Суднова В.В., Пригода В.П. Применение математического аппарата вейвлет-преобразования в средствах измерения качества электрической энергии — новые возможности анализа состояния электрической сети// Современная измерительная техника.- КИПиС 2009 № 3, КИПиС 2009 № 4
3. Jacques Lewalle, Syracuse University/ Автор перевода: Грибунин В.Г. Введение в анализ данных с применением непрерывного вейвлет-преобразования. АВТЭК Санкт-Петербург
4. Новиков И.Я., Стечкин С.Б. Основы теории всплесков. Воронежский государственный университет/Математический институт им. В. А. Стеклова РАН.-1998.-324 с.
5. Томпсон Марк, Куско Александр/пер. Рабодзей А. Н. Сети электроснабжения. Методы и средства обеспечения качества энергии. Изд. Додека XXI век.-2010.- 336 с.
6. И.М. Дремин, О.В. Иванов, В.А. Нечитайло. Вейвлеты и их использование/ Обзоры актуальных проблем// Успехи физических наук.-май 2001.-Том 171, № 5.

УДК 681.5

**Исследование робастного регулятора системы горячего водоснабжения**

*Т.А. Езангина*

*Томский Политехнический Университет, г. Томск, Россия*

*eza-tanya@yandex.ru*

В статье предлагается структура системы горячего водоснабжения и программное обеспечение исследования ПИД-регулятора. Полученные параметры ПИД-регулятора обеспечивают гарантированные показатели качества.

**Введение**

Суть теории управления состоит в том, что на основе системного анализа создается математическая модель объекта управления и затем синтезируется алгоритм управления для получения желаемых характеристик протекания процесса или достижения поставленных целей управления. В статье решается задача синтеза робастного регулятора для класса линейных систем с параметрической неопределенностью. Робастное управление имеет важное направление развития современной теории управления.

Задача робастного управления системами с параметрической неопределенностью на практике возникает всякий раз, когда нельзя наперед гарантировать поведение (значения параметров состояния) управляемого объекта. В этом случае требуется, чтобы регулятор имел некий запас надежности и стабилизировал систему в случаях неожиданных флуктуаций параметров состояния. И хотя энергозатратность робастных регуляторов несравнимо выше, чем у регуляторов другого типа, очень часто цель обеспечения надежности управления объектом стоит выше цели минимизировать текущие затраты на работу регулятора, потому что в случае выхода системы из строя компенсационные затраты значительны.

Подобные системы с параметрической неопределенностью встречаются в авиационной и ракетной промышленности, в отрасли автоматизации нефтегазовой добычи и передачи, и даже автомобильной промышленности. Конечно, практические задачи не линейны и имеют множество параметров, но цель данной статьи продемонстрировать общий подход к решению подобных задач. Поэтому тема статьи, касающаяся синтеза линейных систем с параметрической неопределенностью, актуальна.

**Постановка задачи**

Поскольку наиболее остро требования качественной настройки регуляторов проявляются на теплоэнергетических предприятиях, что вызвано необходимостью экономии топливно-

энергетических ресурс, была поставлена задача параметрического синтеза пропорционально-интегрально-дифференциального (ПИД) регулятора по разработанной авторами методике.

#### Получение математической модели системы

Кинематическая модель автоматической системы горячего водоснабжения можно представить в виде, указанном на рис 1.

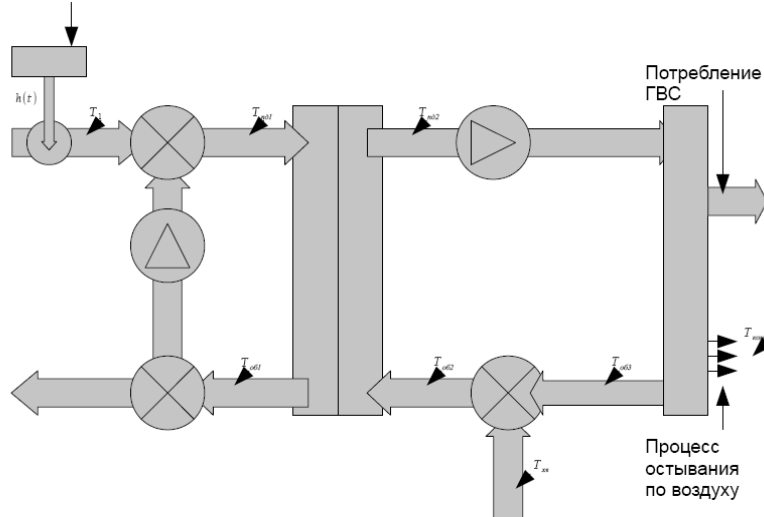


Рис.1. Кинематическая модель автоматической системы горячего водоснабжения

Запишем дифференциальные уравнения представленной схемы. Положение штока задается электроприводом, параметры которого известны и прописаны в характеристиках привода.

Работа привода описывается дифференциальным уравнением:  $\frac{dh}{dt} = \frac{u}{T_{np}}$ , где  $T_{np}$  - постоянная

времени перемещения штока,  $h$  — положения привода в нормированном виде,  $u$  - вектор управления приводом. Процесс смешивания мгновенно не происходит и имеет инерционный

характер, и обычно описывается дифференциальным уравнением:  $\frac{dT_{nd1}}{dt} = \frac{T_{nd1c} - T_{nd1}}{t_{cm}} \frac{T_{nd1}}{T_{nd1c}}$ , где

$t_{cm}$  - постоянная времени смешения с холодной водой,  $T_{nd1}$  — температура поступающая на теплообменник со стороны нагрева. Процесс обмена теплом, также имеет инерционный характер, и теплоноситель перемещается в теплообменнике в течение определенного времени и описывается

дифференциальным уравнением и, соответственно:  $\frac{dT_{об1}}{dt} = \frac{T_{об1c}(t - t_{z1}) - T_{об1}}{t_{cm}}$ , где  $t_{z1}$  - время

транспортного запаздывания - перемещения теплоносителя по теплообменнику. Изменение температуры на другой стороне теплообменника может быть определена дифференциальным

уравнением:  $\frac{dT_{nd2}}{dt} = \frac{T_{nd2c}(t - t_{z1}) - T_{nd2}}{t_{cm}}$ , где  $T_{nd2}$  - температура поступающая из

теплообменника со стороны потребления. Процесс остывания описывается дифференциальным

уравнения  $\frac{dT_{nd2}}{dt} = \frac{T_{ком} - T_{nd2}}{t_{cm}}$ , где  $T_{ком}$  - комнатная температура. Значение температуры

носителя с учетом транспортного запаздывания на обратном теплоносителе:

$\frac{dT_{об3}}{dt} = \frac{T_{об3c}(t - t_{z1}) - T_{об3}}{t_{cm}}$ , где  $T_{об3}$  - температура обратного теплоносителя, поступающая на

место смешения с холодной водой. Смешивание объемов теплоносителей определяется

дифференциальным и операторным уравнениями:  $\frac{dT_{об2}}{dt} = \frac{T_{об2c} - T_{об2}}{t_{cm}}$ , где  $T_{об2}$  - температура поступающая на теплообменник со стороны потребления.

В результате математического описания системы горячего водоснабжения и подстановки численных значений получена ее модель в виде структурной схемы, приведенной на рис. 2.

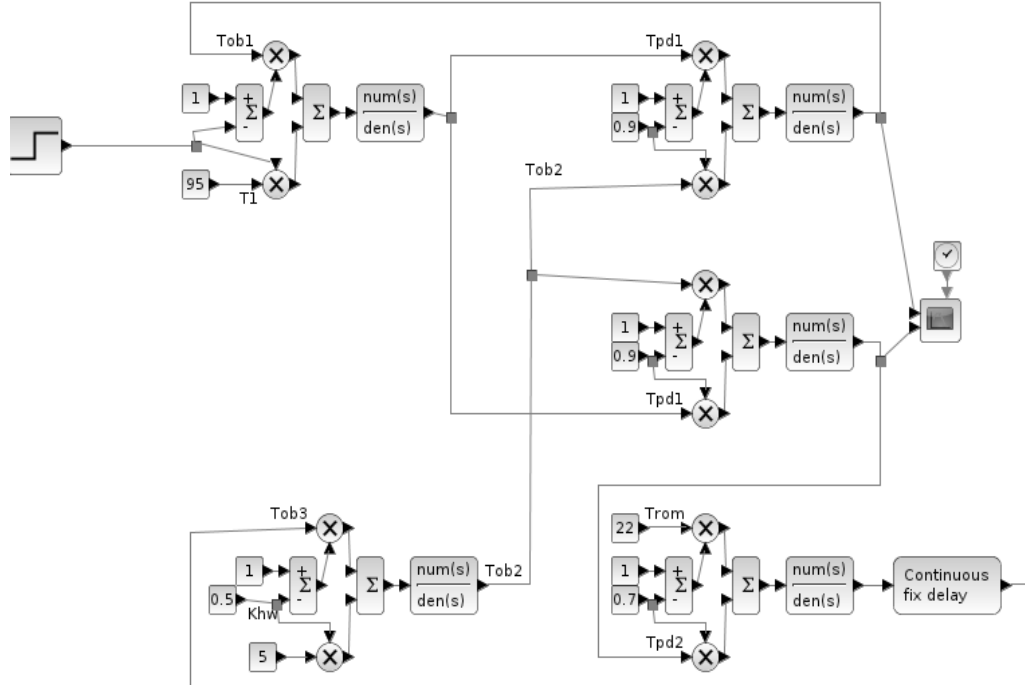


Рис.2 Структурная модель автоматической системы горячего водоснабжения

**Синтез робастного ПИД-регулятора.**

Синтезируемая система горячего водоснабжения с ПИД- регулятором, представленная на рис.2, имеет характеристический полином P(s):  $P(s) = p_5 s^5 + p_4 s^4 + p_3 s^3 + p_2 s^2 + p_1 s^1 + p_0$

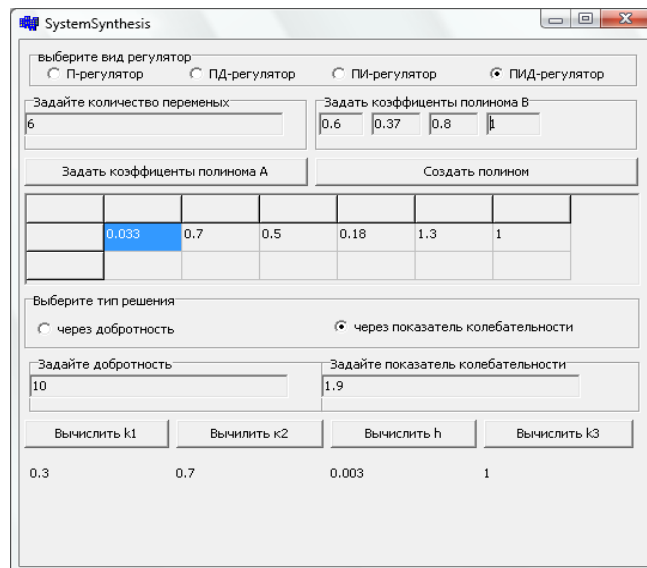


Рис. 3 Результаты синтеза ПИД-регулятора в ПП MDSLS.

В основу параметрического синтеза ПИД-регулятора положен коэффициентный метод [1], использующий соотношения коэффициентов полинома P(s) и корневых показателей качества при

максимизации степени устойчивости системы. На основе данного метода и теории интервального анализа разработана методика определения настроек линейных регуляторов систем с интервальными параметрами. Для ее реализации на ПЭВМ разработан соответствующий программный продукт (ПП) MDSLS. В его основу положен алгоритм синтеза параметров регулятора интервальной системы максимальной степени устойчивости. Полное описание алгоритма и ПП MDSLS приведено в работе [3].

В результате применения ПП MDSLS к системе горячего водоснабжения с заданными показателями качества определены настройки ПИД-регулятора, обеспечивающие максимальную степень устойчивости системы при ограничениях на ее точность и колебательность (рис.3).

Из диалогового окна ПЭВМ, приведенного на рис. 3, видно, при полученных настройках ПИД-регулятора  $k_0 = 0.3, k_1 = 0.7, k_2 = 1$  система имеет максимальную степень устойчивости  $\eta = 0.003$ .

#### **Заключение**

В результате параметрического синтеза ПИД-регулятора системы горячего водоснабжения получены настройки, при которых области локализации корней характеристического полинома расположены в желаемой области, а переходный процесс имеет желаемый вид при любых значениях параметров.

#### **Список использованной литературы**

1. Петров Б.Н., Соколов Н.И., Липатов А.В. и др. Системы автоматического управления объектами с переменными параметрами: Инженерные методы анализа и синтеза [Текст] / Петров Б.Н., Соколов Н.И., Липатов А.В. – М.: Машиностроение, 1986. – 256 с.: ил.
2. Гайворонский С.А., Езангина Т.А. Параметрический синтез интервальной системы автоматического управления с помощью программного продукта MDSLS [Текст] / Гайворонский С.А., Езангина Т.А.// Ученые записки Ульяновского государственного университета. – 2012

УДК 502.174

#### **Разработка ресурсосберегающей технологии получения закладочных шахтных растворов из техногенного ангидрита**

*Федорчук Ю. М., Т.П. Малинникова, В.Н. Михеев*

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

*E-mail: bering@sibmail.com*

Основным природным сырьем ОАО «Горно-металлургический комбинат «Норильский никель» являются сульфидные полиметаллические руды. Во время термической переработки этих руд в атмосферу выделяются огромные количества серосодержащего газа в виде сернистого ангидрида, который провоцирует выпадение кислотных дождей. Разработанные и введенные в эксплуатацию на комбинате «Норильский никель» технологии улавливания серосодержащего газа, получения серной кислоты и элементной серы оказались экономически не конкурентоспособны за счет транспортных затрат к потребителям.

При шахтном способе добычи указанных руд, возникающие пустоты заполняют так называемыми закладочными растворами, которые после схватывания и твердения превращаются в ангидрито-цементные бетоны. В закладочных растворах в качестве пластификатора, увеличивающего подвижность раствора, и в качестве альтернативного вяжущего используют природный ангидрит – безводный сульфат кальция.

В связи с тяжелой экологической обстановкой, а в частности в городе Норильске, который в свою очередь занимает 8-место по загрязненности атмосферы серосодержащими газами  $SO_2$ , сотрудниками Политехнического университета были проведены опыты по введению в закладочные шахтные растворы техногенного ангидрита вместо природного [2], и предложена технологическая схема по переработки продукта улавливания серосодержащих газов и нейтрализации его дешевым природным минералом - известняком.

Для проведения опытов были взяты следующие компоненты: кальцитоангидрит – продукт, полученный в результате взаимодействия известняка (Томского или Норильского) и концентрированной (92,5 % масс.) серной кислоты при температуре 120 С в лабораторном смесителе, тонина которого составляла 100 мкм; граншлак (Норильский), крупность до 1 мм; цемент М400; вода техническая; ускоритель схватывания.

Брали навески портландцемента, кальцитоангидрита и заполнителя (граншлак), помещали в лабораторный смеситель, добавляли воду и перемешивали в течение 5 мин. Водопотребность и



сроки схватывания были определены ранее. Раствором заполняли формы кубиков с размерами (40x40x40) мм и накрывали влажной тканью. Через 1 сутки твердения кубики извлекали из опалубки, и образцы переносили в герметичную камеру с постоянной температурой и влажностью во время набора прочности изделий. Известно, что прочность строительных изделий на основе цементных, гипсовых и ангидритовых вяжущих достигается через 28 суток твердения, а через 7 суток составляет 67% относительно максимальной. В возрасте 3, 7 суток образцы испытывали на прочность сжатия с помощью лабораторного пресса [3]. Результаты испытаний образцов ангидрито-цементных закладочных смесей с заполнителем граншлаком представлены в таблице 1.

Таблица 1. Определение свойств ангидрито-цементных закладочных смесей с заполнителем граншлаком

Состав раствора, г					Подвижность, см	Водо-потребность, мм	Прочность, МПа		Регламент Прочность, МПа	
цемент	гран-шлак	вода	кальцито-ангидрит	ускоритель схватывания			3 сут	7 сут	3 сут	7 сут
50	750	525	700	0	8,5	180	0,33	0,49	0,4-0,5	0,7-0,90
50	750	525	700	9,1	8,5	180	1,04	1,07	0,4-0,5	0,7-0,90
50	750	525	700	10,5	8,5	180	1,30	1,35	0,4-0,5	0,7-0,90

Наши данные при использовании ускорителя схватывания выше минимальных значений показателей указанных в Регламенте РТПП-045-2004.

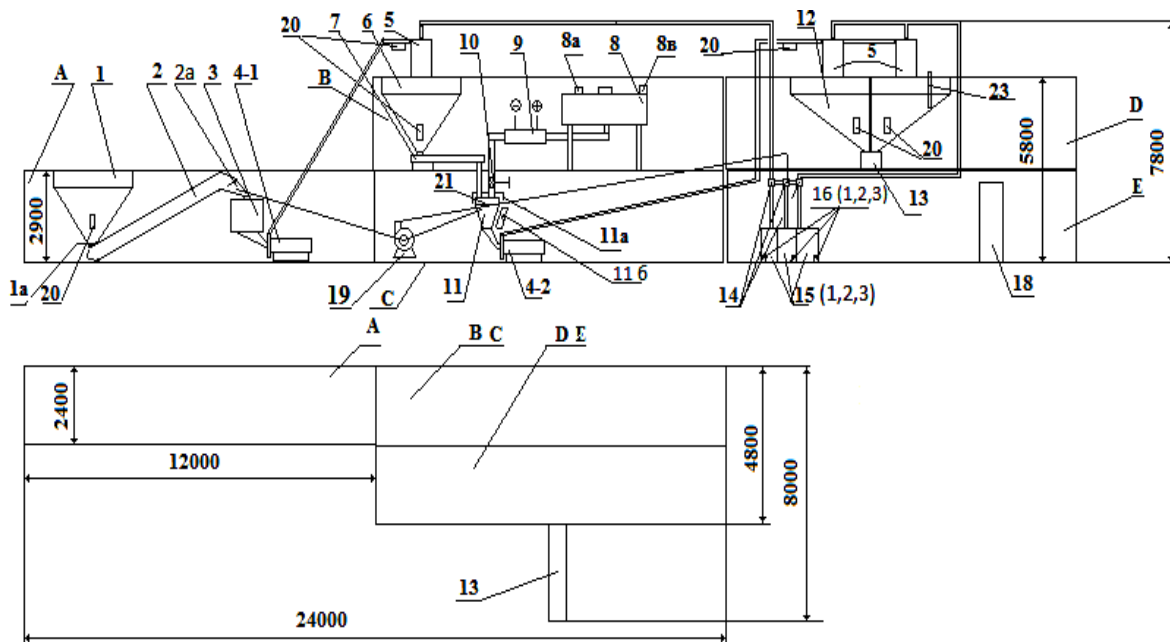


Рис. 1. Технологическая схема ПМУПК со спецификаций.

Габаритные размеры указаны в миллиметрах, модули D и E развернуты.

A, B, C, D, E – модули (контейнеры);

1 – бункер приемный; 1а – шибер; 2 – транспортер-дозатор скребковый; 2а – сепаратор магнитный БСМ; 3 – роторная дробилка; 4-1 – дезинтегратор; 5 – циклон; 6 – бункер товарного известняка; 7 – шнек-дозатор известняка; 8 – емкость с серной кислотой; 9 – электронагреватель серной кислоты; 10 – дозатор-расходомер серной кислоты с запорным вентилем; 11 – виброреактор; 11а – электронагреватель реактора; 12 – бункер с кальцитоангидритом; 13 – транспортер скребковый, выгрузочный; 14 – абсорберы; 15 (1,2,3) – емкость с водой; 16 (1,2,3) – погружной пульпонасос типа «Малыш»; 18 – электроцит; 19 – вытяжной вентилятор; 20 – вибратор транспортирующий; 21 – вибратор реактора;

Согласно полученным данным можно сделать вывод о том, что кальцитоангидрит может быть использован в ангидрито-цементных закладочных смесях в качестве заменителя природного ангидрита в соотношениях предусмотренных Регламентом (РТПП-045-2004) [1].

Лабораторные исследования составов ангидрито-цементных закладочных смесей с использованием Норильского кальцитоангидрита показали, что прочность полученных образцов удовлетворяет требованиям Регламента РТПП-045-2004.

Оптимальным составом шахтных закладочных смесей с использованием техногенного ангидрита считать состав: кальцитоангидрита – 34,4%, граншлака – 36,9%, цемента – 2,5%, ускорителя схватывания – 0,4%, воды – 25,8%.

На основании проведенных опытов разработана технологическая схема рис. 1 получения кальцитоангидрита предназначенного для использования в шахтных закладочных растворах.

Установка ПМУПК предназначена для получения кальцитоангидрита в результате обработки известняка серной кислотой концентрацией (92-94) % масс.

Применяемый известняк должен иметь следующий хим.состав (%):

- $\text{CaCO}_3$  – 86,5;
- $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 2,01;
- $\text{SiO}_2$  – 6,18;
- $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 1,28;
- $\text{MgCO}_3$  – 2,78;
- S – 0,31;
- $\text{H}_2\text{O}$  – 0,94,

Участвующий в реакции известняк с содержанием  $\text{CaCO}_3$  86,5 % масс. должен подаваться с избытком в количестве 50% относительно стехиометрически необходимого при температуре реакции выше 100°C (105-150°C).

В результате химического взаимодействия по уравнению (1)



образуется безводный твердый сульфат кальция, названный нами кальцитоангидритом (КА), и газообразные – углекислый газ и вода.

Кальцитоангидрит - это целевой продукт для данной установки.

Целью проведения данных НИОК работ является получение кондиционного КА (содержание водорастворимого сульфата кальция – не ниже 20 % масс., остальное – водонерастворимый сульфат кальция и непрореагировавший известняк,  $\text{pH} \leq 4,2$ ) и использование его в различных отраслях народного хозяйства, в том числе, в качестве исходного компонента, применяемого для изготовления различных строительных растворов, вместо природного ангидрита.

#### Список используемой литературы:

1. Регламент технологических производственных процессов при ведении закладочных работ на рудниках ЗФ ОАО «ГМК «Норильский никель» (РТПП-045-2004).
2. Федорчук Ю.М., Техногенный ангидрит, его свойства, применение. Монография. Томск Изд-во ТПУ, 2003 г. – С.110
3. ГОСТ 10180-90 Методы определения прочности по контрольным образцам. – М.: Изд-во стандартов, 1990 г.

#### О методах диагностики систем центрального теплоснабжения

*Ивлева Д.Ю. Кравченко Е.В.*

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

*E-mail: [darja-ivleva0@rambler.ru](mailto:darja-ivleva0@rambler.ru)*

В статье рассмотрены причины и виды износа систем центрального теплоснабжения. Дана классификация методов диагностики для различного теплоэнергетического оборудования.

#### Причины и виды износа поверхностей нагрева

Общая длина труб в современных котлах достигает десятка километров. Самые незначительные повреждения на любых участках труб могут привести к появлению свищей или разрывов, что вызывает аварийную остановку котла. В практике встречаются следующие характерные причины повреждения трубной системы котла [1]:

#### Увеличение диаметра труб

Диаметр экранных труб увеличивается в результате их перегрева при нарушении

циркуляции котловой воды или отложений на их внутренней поверхности накипи и шлама. Циркуляция нарушается вследствие засорения труб. При слабой циркуляции воды в трубах отлагается шлам, еще больше замедляющий или совсем прекращающий ее движение. При замедлении циркуляции воды в трубе образуется паровой мешок. Пар в значительно меньшей степени отводит тепло от трубы, чем вода, в результате чего стенка перегревается, предел текучести металла снижается и труба раздувается под воздействием давления.

#### **Износ-истирание стенок труб**

При увеличенных скоростях запыленного газового потока стенки труб подвергаются абразивному истиранию и становятся тоньше. Износ труб происходит при факельном сжигании многозольного топлива главным образом в конвективных поверхностях нагрева - на кипятильных трубах и змеевиках водяных экономайзеров. Стенки труб изнашиваются при воздействии струи или потока, не содержащих пылевых частиц. Струи пара или его смеси с водой, вырывающиеся с большой скоростью из свища или трещины на одной какой либо трубе, нередко оставляют следы на соседних трубах. Стенки труб изнашиваются от воздействия дробы, применяемой для очистки поверхности нагрева. [2]

#### **Коробление и изгибы труб**

Некоторые экранные трубы при эксплуатации изгибаются и выступают из общего ряда. Причиной этого чаще всего является зажатие отдельных труб при проходе их через обмуровку, в результате чего отсутствуют зазоры для термического расширения труб. Трубы коробятся и изгибаются также из-за чрезмерного или неравномерного холодного натяга, допущенного при установке обрыва их крепления или нарушения нормальной циркуляции воды в котле.

#### **Коррозийное разъедание труб**

На наружной и внутренней поверхностях труб в результате коррозионных процессов появляются оспины, язвы и раковины, которые могут превращаться в свищи. Разъедание на наружной поверхности труб появляется чаще всего при сжигании сернистого топлива. Разъедание на внутренней поверхности труб появляется от воздействия на металл кислорода и углекислоты, содержащейся в питательной воде. Химические процессы усиливаются с повышением давления и температуры. Механические повреждения чаще всего имеют вид вмятин и появляются из-за падения на трубы кирпичей обмуровки; кроме того, при разрывах труб и попадании струи воды на соседние трубы они нередко искривляются. Возможно также повреждение труб во время ремонта в результате случайного удара инструментом, деталями разборных металлических лесов. На основе анализа условий работы металла и причин повреждений руководство эксплуатирующего предприятия разрабатывает мероприятия по предотвращению повреждений труб поверхностей нагрева. Остаточную деформацию труб поверхностей нагрева удобно проверять шаблонами. Измерения производят в зоне максимальных температур в одних и тех же местах, которые указаны в формуляре.

По результатам замеров подлежат замене:

- трубы из углеродистых сталей - при величине остаточной деформации 3,5% и более;
- трубы из легированных сталей - при величине остаточной деформации 2,5% и более;
- трубы настенных экранов - при величине остаточной деформации 2,0% и более.

Остаточная деформация определяется по отношению к номинальному наружному диаметру. Рост остаточных деформаций труб поверхностей нагрева может быть следствием либо перегрева металла, либо его ползучести. Повреждения труб могут быть также следствием коррозионного износа (как наружной, так и внутренней поверхностей), окалинообразования, золowego износа или износа от воздействия струи пара из обдувочного аппарата. Для предупреждения повреждений труб поверхностей нагрева, вызванных коррозионным износом или окалинообразованием, важно обеспечить условия работы (температуру) металла, не превышающие установленные "Руководящими указаниями по учету жаростойкости легированных сталей для труб поверхностей нагрева паровых котлов" Значения температур установлены для вновь проектируемых котлов; однако соблюдение их на действующих установках позволяет повысить надежность работы котлов и уменьшить количество повреждений поверхностей нагрева. Соблюдение указанных температур обеспечивает эксплуатацию котлов с утонением трубных поверхностей нагрева на 1,0 мм за 100 тысяч часов. Во время капитальных ремонтов котлоагрегата проверяют состояние устройств, защищающих трубы от местного абразивного износа летучей золой, а также производят измерения и фиксируют величину золowego, дробового и коррозионного износа стенки трубы с наружной стороны. При подозрении на чрезмерный износ стенок труб производят контрольную вырезку образцов и замеры утоненной части. Степень внутренней коррозии контролируют при осмотре образцов труб, вырезаемых на участках, на которых

наблюдались коррозионные повреждения. Периодичность вырезок устанавливают с учетом коррозионной активности воды, но в любом случае не реже одного раза в 5 лет. При износе, превышающем принятую прибавку к расчетной толщине стенки, труба или ее часть подлежит замене. На котлах возможно повреждение труб из-за металлургических дефектов. Трубы с металлургическими дефектами обнаруживают в котлах, несмотря на то, что на трубопрокатных и котлостроительных заводах их подвергали неразрушающему контролю для выявления несплошности металла. Доля таких труб мала, так как основная масса дефектных труб отбраковывается, но в эксплуатации разрыв даже одной трубы может привести к аварийной остановке котла. Разрушение трубы из-за металлургического дефекта легко устанавливается внешним осмотром после ее разрезки, а также макро и микроисследованием. Повреждения труб происходят по дефектам. При производстве труб трещины и закаты бывают заполнены окислами, поэтому поверхность металла в месте расположения дефектов бывает сильно окисленной. Свежий излом распространяется от указанных дефектов. Повреждения поверхностей нагрева из-за металлургических дефектов котлов низкого и среднего давления весьма редки, так как на этих котлах устанавливают трубы с повышенным запасом прочности. Кроме указанных причин повреждения поверхностей нагрева могут произойти вследствие наклепа дробью, дефектов изготовления, внешних механических повреждений и коррозионной усталости, вызываемой наличием переменных по знаку напряжений и коррозии. Коробление труб поверхностей нагрева ухудшает аэродинамику котла, вызывает неравномерное распределение потока газов по газоходам, что может привести к местным перегревам и повреждениям труб. Коробление экранных труб вызывается отсутствием свободы тепловых перемещений, вызванным заземлением коллекторов, барабанов или отдельных труб, обрывом креплений, неравномерным нагревом и другими причинами.

#### **Методы диагностики**

**Акустический метод** [3] Утечка воды в трубопроводе является источником повышенного шума в определенной полосе частот. Шум от утечки распространяется во всех направлениях, достигая поверхности почвы. Акустический метод основан на выделении из общего шумового фона шума утечки и контроле его уровня вдоль подземного трубопровода. Для того чтобы уловить шум от утечки, на поверхности земли вдоль трубопровода, где предполагается ее наличие, намечают точки измерения на равных расстояниях друг от друга и проводят измерение шума, идущего от поверхности земли. Для повышения точности измерения используют фильтрацию шума для выделения характерной полосы шума утечки. Уровень шума в выбранной полосе частот определяют на слух (с помощью наушников), либо с помощью измерительных приборов. Основным недостатком является то, что шумовой фон от уличного транспорта, фундаментов зданий и других источников может привести к значительным искажениям сигнала от утечки и большим погрешностям в определении ее места. Диагностика осуществляется на действующих трубопроводах без вскрытия теплотрасс при диаметре труб более 80 мм, находящихся в рабочем режиме при давлении более 0,25 МПа.

#### **Корреляционный метод** [4]

Корреляционный метод обнаружения утечек среды в трубопроводах и определения мест их положения основан на измерении виброакустического сигнала, генерируемого утечкой, с помощью двух датчиков. Если два датчика установить с двух сторон (в двух колодцах) от предполагаемого места утечки и измерить с помощью 2-х канального анализатора взаимно-корреляционную функцию, то можно определить разницу по времени распространения сигнала от утечки до одного и до второго датчика. Задержка определяется по максимуму функции кросскорреляции сигналов, измеренных датчиками. При известной скорости распространения сигнала (звука) по трубе, зная расстояние между датчиками (колодцами, в которых они установлены), можно точно определить место расположения утечки. Точность определения места утечки с помощью данного метода зависит от точности измерения временной задержки (точности идентификации максимума кросскорреляционной функции), точности измерения (знания) расстояния между датчиками и точности определения скорости распространения сигнала утечки по трубопроводу. Первое, определяется совершенством измерительного прибора. Второе – знание трассы трубопровода. Третье – отклонениями скорости распространения звука по трубе от ее усредненного значения (1200 м/с), которые зависят от материала и способа укладки труб, температуры, давления, природы перекачиваемой жидкости, структуры грунта и других. Основными преимуществами метода являются: независимость результатов от глубины прокладки трубопроводов, высокая помехоустойчивость при определении мест утечек, способность выявлять малые утечки.

**Тепловизионный метод**

Появление и развитие многих дефектов сопровождается изменением температуры, что может быть выявлено при проведении тепловизионного обследования. Объектами контроля теплотехнического оборудования являются как теплогенерирующее так и теплопотребляющее оборудование и тепловые сети. В процессе диагностики оценивается распределение и динамика изменения температурных полей. Полученные данные позволяют сделать выводы о состоянии теплоизоляции трубопроводов и о наличии утечек. При проведении такого рода диагностики необходимо знать ось теплотрассы. Точность измерения зависит от наличия других источников тепла под землей (газопроводы, кабели и др).

**Тепловая инфракрасная аэросъемка.**

Тепловая инфракрасная (ИК) аэросъемка - единственный дистанционный метод, позволяющий оперативно решать задачи контроля состояния трубопроводов, (нефте- и газопроводов, подземных тепловых сетей и др.), а также уточнять либо же составлять схемы их расположения. ИК аэросъемка выполняется при помощи тепловизионной системы "Вулкан-4000", позволяющей с высоты 500м получать изображение с пространственным разрешением = 0,25м., спектральный диапазон обычно 8-13мкм, но может быть и любой другой, в том числе видимый. Получаемые в результате съемки цифровые тепловые изображения масштабируются (для города это 1:2000), что открывает возможность их использования в качестве растрового слоя в любых геоинформационных системах (ГИС). Главным недостатком метода является его стоимость.

**Список используемой литературы:**

1. <http://www.energopromexport.ru>
2. Сырицын Т. А. Эксплуатация и надежность гидро- и пневмоприводов — М. : Машиностроение, 1990. — 248 с.
3. Сухоруков В. В. Акустические методы контроля – М.: Высш. Шк..год: 1991
4. Ставровский М. Е., Соколов И. П., Лукашев Е. А. и др. Диагностика узлов технических систем // Экология и промышленность России : ежемесячный общественный научно-технический журнал. — М., 2003

**О выборе стратегии технического обслуживания гидроагрегата №2 Саяно-Шушенской ГЭС**

**Чернова Г.А. Кравченко Е.В.**

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

**E-mail: tchernowagalina@sibmail.com**

Были рассмотрены: принцип действия работы плотинной ГЭС, принцип работы гидротурбины (гидроагрегата). На примере ГА №2 СШГЭС были рассмотрены стратегии технического обслуживания. Сделаны выводы о неправильном выборе стратегии в данной ситуации.

**Принцип работы плотинной ГЭС**

Цель гидротехнических сооружений обеспечивает необходимый напор воды, поступающей на лопасти гидротурбины, которая приводит в действие генераторы, вырабатывающие электроэнергию. Необходимый напор воды образуется посредством строительства плотины, и как следствие концентрации реки в определенном месте, или деривацией — естественным током воды.[4] Непосредственно в самом здании гидроэлектростанции располагается все энергетическое оборудование. В машинном зале расположены гидроагрегаты, непосредственно преобразующие энергию тока воды в электрическую энергию.

**Принцип работы гидроагрегата(турбины)**

**Гидроагрегат** - агрегат, состоящий из гидротурбины и гидрогенератора. **Гидротурбина** - гидравлическая турбина, водяная турбина, ротационный двигатель, преобразующий механическую энергию воды (её энергию положения, давления и скоростную) в энергию вращающегося вала. По принципу действия гидротурбины делятся на активные и реактивные. Основным рабочим органом гидротурбины, в котором происходит преобразование энергии, является рабочее колесо. Вода подводится к рабочему колесу в активных гидротурбинах через сопла, в реактивных — через направляющий аппарат. По расположению вала рабочего колеса гидротурбины делятся на вертикальные, горизонтальные и наклонные.

**На примере ГА №2 СШГЭС**

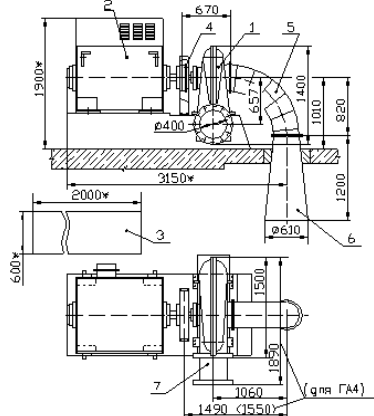
В техническом плане эксплуатацию можно рассматривать как процесс использования (управления) оператором объекта для достижения заданного результата [1,2]. Как процесс, эксплуатация должна характеризоваться временем и местом действия. Процесс эксплуатации охватывает весь период существования объекта с момента его изготовления. Окончание эксплуатации объекта определяется его предельным состоянием, т. е. состоянием, при котором его дальнейшая эксплуатация должна быть прекращена из-за неустранимого нарушения требований безопасности, неустранимого ухода параметров за установленные пределы, неустранимого снижения эффективности эксплуатации ниже допустимой, необходимости проведения среднего или капитального ремонта или при технико-экономической нецелесообразности дальнейшей эксплуатации объекта. Если объект подвергается среднему или капитальному ремонту, то после его окончания эксплуатация объекта продолжается. [5] Существует два вида стратегий технического обслуживания: стратегия по наработке и стратегия по состоянию. Рассмотрим на примере ГА №2 правильность выбранной стратегии.

#### Гидроагрегат ГА2 с радиально-осевой турбиной РО 100-40

Общие сведения: гидроагрегат предназначен для преобразования гидравлической энергии в электрическую и последующей выдачи мощности в энергосистему. [3] Гидроагрегат предназначен для установки в здании ГЭС. Ввод в эксплуатацию гидроагрегата 2 СШГЭС: ГА-2 - 05.11.1979; Структура условного обозначения турбины РО 100-40:

РО - радиально-осевая турбина; 100 - максимальный напор, м; 40 - номинальный диаметр рабочего колеса, см.

Гидроагрегат включает следующие основные части (см.рис.):



- радиально-осевую турбину (1);
- генератор трехфазного переменного тока (2);
- аппаратуру автоматики (систему управления, возбуждения и т.п.) Зависит от типа и параметров генератора. (3);
- колено (5);
- диффузор (6).

Условия эксплуатации:

- температура воздуха, 0С +5 - +40;
- высота над уровнем моря, м до 1000; При установке агрегата на высоте более 1000 м максимальная мощность должна быть ограничена.
- относительная влажность воздуха при t=25 0С, % не более 80.

Показатели надежности и ремонтпригодности:

#### турбина

- полный срок службы, лет 30;
- срок службы между капремонтами, лет 4,5;

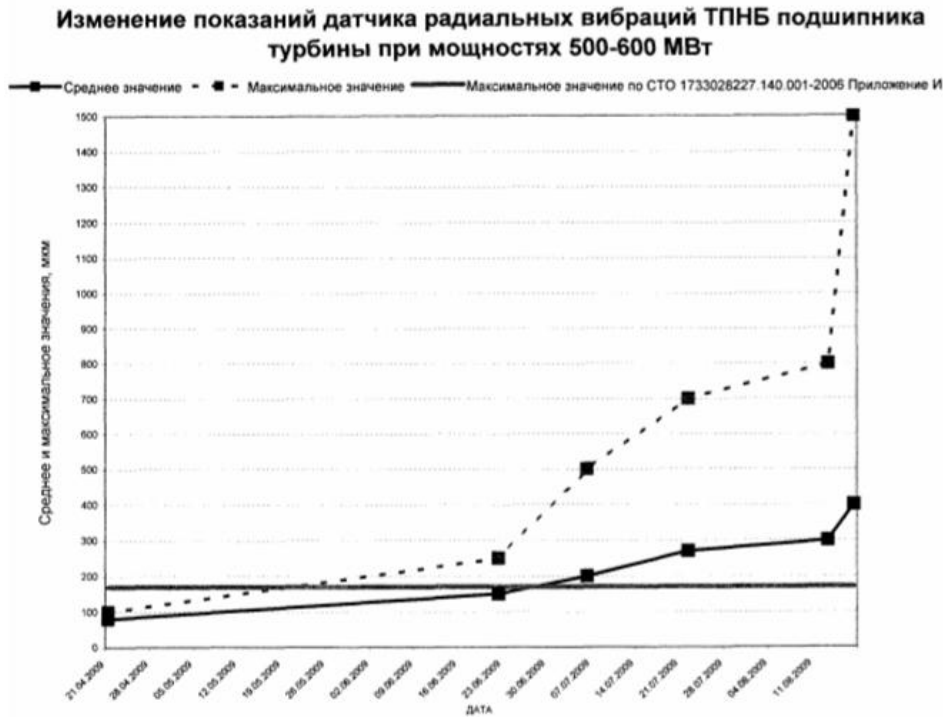
#### генератор

- полный срок службы, лет не менее 20;
- ресурс до первого капремонта, час не менее 70 тыс.

Гарантийный срок работы гидроагрегата - 1 год со дня ввода в эксплуатацию, но не более 1,5 лет со дня отгрузки при условии соблюдения правил транспортировки, хранения и эксплуатации.

Факты аварии: На момент аварии срок эксплуатации гидротурбины составлял 29 лет 10 мес. Данная гидротурбина имеет узкий регулировочный диапазон при напорах выше расчетных в зоне высоких КПД. При выходе из регулировочного диапазона гидроагрегат попадает в не рекомендованную для эксплуатации зону. Работа в данной зоне сопровождается переходными гидродинамическими процессами, пульсациями давления в проточном тракте и повышенной вибрацией гидроагрегата. Ограничения по работе турбины в не рекомендованной зоне эксплуатации заводом-изготовителем не установлены. В техническом задании на разработку ГРАРМ не были сформулированы критерии, определяющие приоритеты работы гидроагрегата при групповом регулировании мощности, индивидуальное ограничение по мощности и зонам не рекомендованным к работе, не учитывались особенности режимов работы и конструкции гидроагрегатов. Не были установлены критерии выбора приоритетного агрегата и сроки сохранения приоритета. Вследствие многократного возникновения дополнительных нагрузок переменного характера на гидроагрегат, связанных с переходами через не рекомендованную зону, образовались и развились усталостные повреждения узлов крепления гидроагрегата, в том числе

крышки турбины. Вызванные динамическими нагрузками разрушения шпилек привели к срыву крышки турбины и разгерметизации водоподводящего тракта гидроагрегата. Кроме разрушенных, обнаружены шпильки, на которых отсутствуют следы срыва гаек. Это свидетельствует о том, что на момент аварии гайки на шпильках отсутствовали. Задания по изменению нагрузки ОАО «СО ЕЭС» - ОДУ «Сибирь» путем автоматического управления регулирования мощности АРЧМ - ГРАМ не учитывали специфику, срок службы и фактическое состояние установленного гидроэнергетического оборудования.



По результатам вибрационных испытаний гидроагрегата № 2 от 12-16.03.2009 г., следует, что агрегат эксплуатировался длительное время при размахе горизонтальной вибрации близкой к предельной, согласно п.3.3.12 ПТЭС и СРФ. По данным анализа архивов АСУ ТП, проведенного в период с 21.04.2009 до 17.08.2009 наблюдался относительный рост вибрации турбинного подшипника ГА-2 примерно в 4 раза, что отражено графически. В этой ситуации с целью обеспечения безопасной эксплуатации главный инженер СШГЭС (находившийся на станции с 06.35 17.08.2009 г.) должен был принять решение об остановке ГА-2 и исследовании причин вибрации. Вместо этого ГА-2 оставался приоритетным в ГРАМ при регулировании мощности. Система постоянного контроля вибрации, уставленная на гидроагрегате №2, выполняла информационную задачу для эксплуатационного персонала, не имела блока спектрального анализа вибрации и быстродействующей буферной памяти для сохранения параметров вибрации при ненормальных режимах работы.

#### Выводы

Рассмотрев факты аварии, я выявила, что при ремонте неправильно выбирали стратегию технического обслуживания. Смотрели по наработке, т.е. по полному сроку службы ГА №2(он составляет 30 лет), а гидроагрегат вышел из строя, проработав 29 лет 10 месяцев.

Правильным выбором стратегии в этом случае является стратегия технического обслуживания по состоянию.

#### **Список используемой литературы**

1. Дмитриевский Е.С., Учебное пособие «Конструкторско-технологическое обеспечение эксплуатационной надежности авиационного радиоэлектронного оборудования», 2001 г. 88с.
2. Львов, Александр Вульфович. Надежность и экологическая безопасность гидроэнергетических установок / А. В. Львов, М. П. Федоров, С. Г. Шульман. — СПб. : Изд-во СПбГТУ, 1999. — 440 с.

3. Брызгалов, Валентин Иванович. Из опыта создания и освоения Красноярской и Саяно-Шушенской гидроэлектростанций: производственное издание / В. И. Брызгалов. — Красноярск : Суриков, 1999. — 559 с.
4. Гидроэнергетика : учебник / А. Ю. Александровский, М. И. Кнеллер, Д. Н. Коробова и др. ; Под ред. В. И. Обрезкова. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Энергоатомиздат, 1988. — 511 с.
5. Эксплуатация гидроэлектростанций / П. Г. Кумсиашвили, В. С. Серков, А. М. Смирнов и др.; Под ред. В. С. Серкова. — М. : Энергия, 1977. — 303 с.

УДК 628.1

**Техногенный ангидрит как компонент буровых растворов****Ю.М. Федорчук, Е.В. Заболотская***Томский политехнический университет, г. Томск, Россия***lamia18@sibmail.com**

С момента появления и до настоящего времени производство фтороводорода в России является источником экологического неблагополучия в местах своего расположения, так как сопровождается выбросами в атмосферу газообразного фтороводорода во время внеплановых остановок производства, образованием и накоплением на отвальных полях отходов в виде кислого или нейтрализованного безводного сульфата кальция.

Решение проблемы утилизации твердых отходов фтороводородных производств, которые загрязняют все составные части биосферы - атмосферу, гидросферу, литосферу, снизит экологическую нагрузку на окружающую среду.

Объектом исследований данной работы является твердый отход фтороводородного производства Сибирского химического комбината – фторангидрит, а так же ангидрит, получаемый путем взаимодействия концентрированной серной кислоты с известняком Томского, а затем Норильского месторождений.

Целью работы является исследование еще одного способа использования фторангидрита как компонента бурового раствора.

Для достижения этой цели необходимо было решить следующие задачи:

- Определить оптимальный состав фторангидритового бурового раствора, с использованием фторангидрита крупностью 40 мкм;
- Определить оптимальный состав фторангидритового бурового раствора, с использованием фторангидрита крупностью 1 мкм;

Фторангидрит – твердый отход производства фтороводорода, представляет собой гранулообразный материал, получаемый в результате сернокислотного разложения плавикового шпата  $\text{CaF}_2$  по реакции (1).



На пути к использованию фторангидрита в качестве основного компонента буровых растворов, были проведены эксперименты, и первыми из них была проверена способность фторангидрита заменить бентонитовую глину в буровых растворах. Но ангидритовый раствор не удовлетворял требования технологического регламента к буровым растворам. Поэтому было принято решение использовать добавки, в качестве которых использовали ксантановую камедь и сахар.

Позднее возникла необходимость определить оптимальное количество компонентов, которые должны оставаться неизменными, а именно ксантановая камедь и сахар. В итоге оптимальным количеством ксантановой комедии составило 0,6 г., воды 300мл., а сахара 3,34 г.

Далее в ходе экспериментов определяли оптимальное количество фторангидрита, добавленного в буровой раствор для получения соответствующих показателей.

Использовался фторангидрит крупностью 40 мкм и 1 мкм. Опыт проходил следующим образом: в смесь, состоящую из воды – 300 мл., ксантановой камеди – 0,6 г., сахара – 3,34 г., добавляли фторангидрит в количестве 15, 25, 37, 49, 61 г., затем раствор подвергали проверке на плотность, вязкость и условную вязкость бурового раствора. В результате получили увеличение значений по всем трем показателям при условии, что в растворе присутствует максимальное количество фторангидрита: плотность – 1,1 г/см<sup>3</sup>, вязкость при 600 оборотах – 9 сР, условная вязкость 7 с/л.



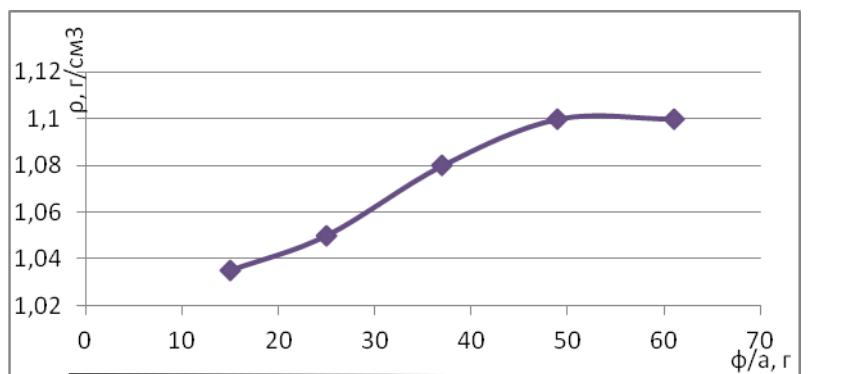


Рис. 1. Зависимость плотности бурового раствора от содержания фторангидрита  
По оси X - фторангидрит, г, по оси Y – плотность, г/см<sup>3</sup>

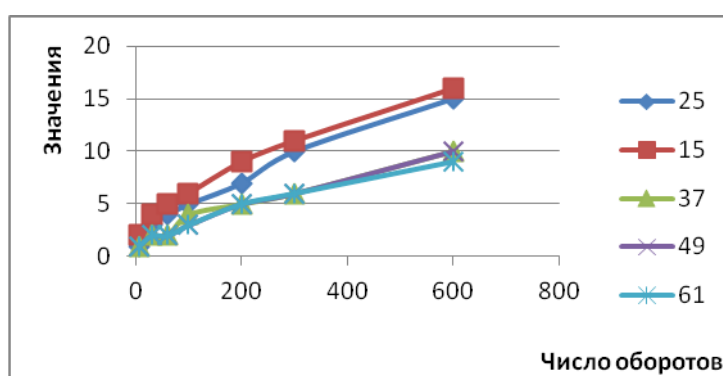


Рис. 2. Зависимость вязкости от содержания фторангидрита и интенсивности перемешивания  
По оси X – число оборотов, по оси Y – значение вязкости

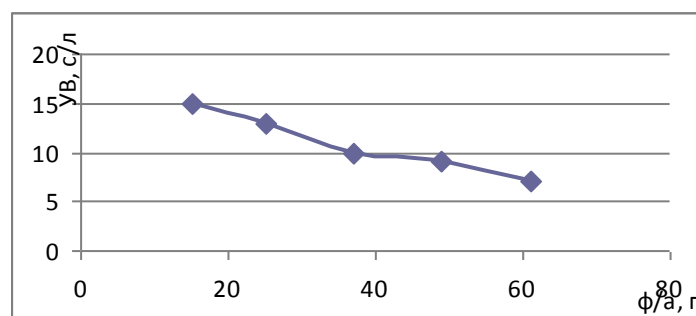


Рис. 3. Зависимость условной вязкости от содержания фторангидрита  
По оси X – фторангидрит, г, по оси Y – условная вязкость, с/л

Аналогично проводились опыты с навеской фторангидрита крупностью 1 мкм, при условиях, что воды – 300 мл., ксантановой камеди – 0,6 г., сахара – 3,34 г., фторангидрит в количестве 15, 25, 37, 49, 61, 73 г.

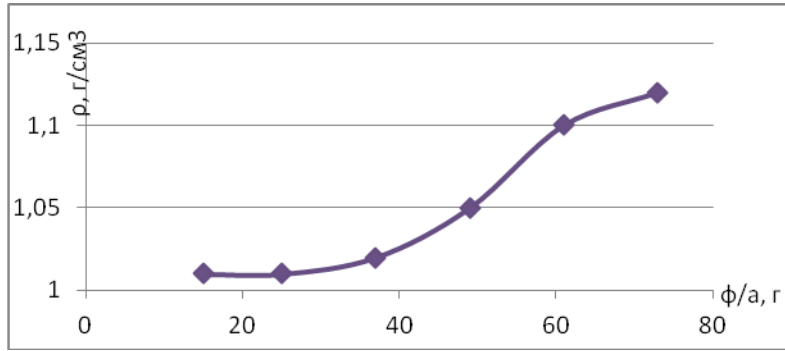


Рис. 4. Зависимость плотности от концентрации фторангидрита  
По оси X - фторангидрит, г, по оси Y – плотность, г/см<sup>3</sup>

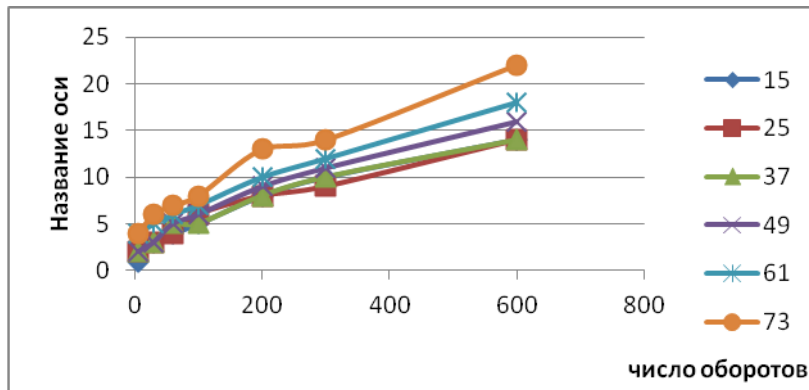


Рис. 5. Зависимость вязкости от содержания фторангидрита и интенсивности перемешивания  
По оси x – число оборотов, по оси y – значение вязкости

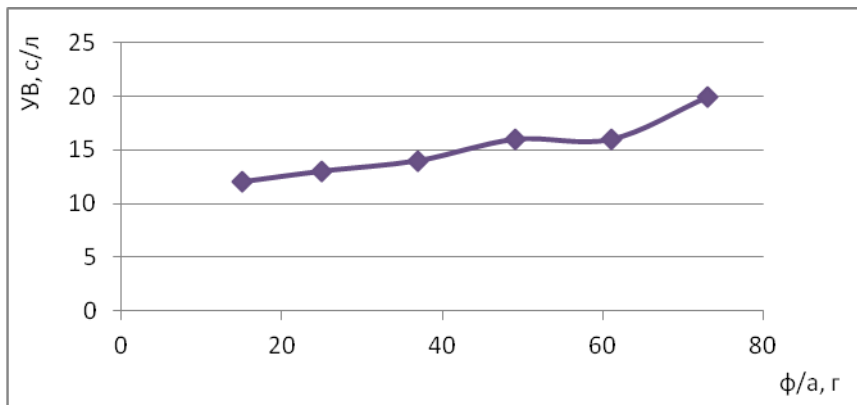


Рис. 6. Зависимость условной вязкости от содержания фторангидрита  
По оси X – фторангидрит, г, по оси Y – условная вязкость, с/л

В результате проделанной работы исследовали еще один способ использования фторангидрита, а также выяснили, что фторангидрит способен заменить бентонитовую глину, с использованием добавок, в роли которых выступили ксантановая камедь и сахар.

Поставленные задачи нашли свое решение, и отображаются в следующем оптимальном составе бурового раствора с использованием фторангидрита крупностью 40 мкм – объем воды 300 мл., масса ксантановой камеди 0,6г., масса сахара 3,34 г., масса фторангидрита 61г.

Оптимальный состав бурового раствора с использованием фторангидрита крупностью 1 мкм – объем воды 300 мл., масса ксантановой камеди 0,6г., масса сахара 3,34 г., масса фторангидрита 73 г.

Из полученных данных видно, что эффективнее использовать фторангидрит крупностью 1 мкм, так как он более активен, в сравнении с фторангидритом крупностью 40 мкм.

**Список используемой литературы:**

1. Пеньков А.И. Учебное пособие для инженеров по буровым растворам. – Волгоград, 2000 – 33с.
2. Булатов А.И., Макаренко П.П., Проселков Ю.М. Буровые промывочные и тампонажные растворы: Учеб. пособие для вузов. - М.: Недра, 1999. - 424 с.
3. Грей Дж.Р., Дарли Г.С.Г. Состав и свойства буровых агентов (промывочных жидкостей) / Пер. с англ. - М.: Недра, 1985. - 509 с.
4. Приложение к журналу «Нефтегазовые технологии». – М: изд. «Топливо и энергетика» 2007 – 48 с.
5. Типы буровых растворов и условия их применения. – М, 2003 – 213 с.
6. Федорчук Ю.М., Цыганкова Т.С., Волков А.А. Техногенный ангидрит - новый строительный материал Экол. вестн. России. 2009, N 10, с. 12-13.
7. Федорчук Ю.М. и др. Строительная смесь и способ ее приготовления Патент РФ № 2266877 от 28.07.2004 г.

УДК 66.047.545:614.833.001.25

**Рекомендации по обеспечению пожаровзрывобезопасности при организации процесса сушки субстанции оксациллина**

*А.И. Сечин, Т.А. Задорожная, А.А. Сечин*

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

Известные проблемы представляет организация процесса сушки взрывоопасных продуктов. На ОАО «Органика» в производстве оксациллина на стадии сушки вместо полочной сушилки предложено использовать сушилку с активным гидродинамическим режимом. Однако, согласно правил обеспечения безопасности, указанный процесс предписывается вести в токе нейтрального газа – азота. Целью работы являлось: разработка рекомендаций по обеспечению пожаровзрывобезопасности при организации процесса сушки оксациллина в токе воздуха.

Во избежание случайного проявления опасного воздействия электростатических зарядов, которые в данном случае являются самым вероятным источником зажигания, необходимо было установить соответствие основным требованиям пожаровзрывобезопасности процесса сушки оксациллина, которые следует соблюдать при эксплуатации сушильного оборудования [1, 2].

При разработке и монтаже сушильного оборудования были рассмотрены особенности конструкции и технологии, проведен анализ потенциальной опасности, проанализированы основные факторы пожара и взрыва горючей среды внутри технологического оборудования, в котором присутствующая горючая система, а также технологические режимы процесса сушки [3].

Схема технологического процесса довольно проста: высушиваемый продукт влажностью 15-20 % поступает на сушку в аппарат с виброкипящим слоем, горячий теплоноситель осуществляет процесс сушки и затем поступает на очистку в циклон и рукавный фильтр [4, 5]. По завершению процесса, субстанция эвакуируется из сушильного оборудования.

Анализ опасностей присутствующих при ведении процесса сушки показал следующее.

Сушилка с виброкипящим слоем: наличие взрывоопасной концентрации пыли в сушилке; выход взрывоопасной пылевоздушной смеси вследствие взрыва пылевоздушной смеси; самовозгорание слоя высушиваемого вещества в местах отложения; искры удара и трения; искры разрядов статического электричества; искры тления от нагревания теплоносителем.

Циклон: наличие взрывоопасной концентрации пыли в циклоне; самовозгорание пыли осевшей в конической части циклона; искры удара при очистке циклонов и при ликвидации зависаний.

Рукавный фильтр: образование взрывоопасной концентрации при встряхивании фильтра; пыление в местах отвода пыли из нижней части фильтра при встряхивании; искры разрядов статического электричества; самовозгорание пыли, отложившейся в рукавной части.

Участок пневмотранспорта: наличие взрывоопасной концентрации пыли; выход пылевоздушной смеси за пределы трубопровода вследствие не герметичности соединений или взрыве пылевоздушной смеси; самовозгорание слоя пыли на горизонтальных участках трубопровода, тупиках и коллекторах; искры разрядов статического электричества; искры ударов и трения.

Бункер: образование взрывоопасной концентрации пыли при ссыпке в бункер; искры разрядов статического электричества.

Был предложен комплекс мероприятий, направленных на предотвращение пожаров и взрывов.

Герметизация. Весь комплекс сушильного оборудования необходимо компоновать таким образом, чтобы он находился под разряжением, т.е. вентилятор необходимо располагать на выходе из сушилки, за рукавным фильтром.

Компоновка в помещении: загрузочный бункер, калорифер и сушилка располагаются на стадии центрифугирования; высушенную смесь выгружают и доставляют в развесочное помещение, а отработанный теплоноситель поступает в циклон и рукавный фильтр.

Устранение разрядов статического электричества. Необходимо предусмотреть соблюдение электростатической искробезопасности технологического оборудования [6]. Для этого при проектировании разработан ряд мероприятий по нейтрализации зарядов статического электричества в элементах оборудования имеющего большие линейные размеры, чем  $l_k$ , с применением нейтрализаторов.

Исключение застойных зон и опасных отложений пыли. При компоновке технологической линии предусмотреть углы поворота материалопровода не менее  $120^\circ$ , а время сушки не более 1 часа.

С целью воспрепятствования конденсации паров и прилипанию пыли к стенкам необходима теплоизоляция аппарата. Поскольку зона сушки достаточно невелика, предлагается ограничить ее проницаемой для теплоносителя мембраной, создавая тем самым условия распределения частиц в рабочем объеме меньше критерия Пекле для высушиваемой влаги, которая для ряда ЛВЖ составляет 0,9 мм [5, 7].

Предохранительные мембраны наиболее эффективно применять у входа в циклон, бункере сухого продукта, рукавном фильтре. Конструкция питателя должна обеспечивать задержку распространения взрыва в загрузочное устройство.

Проведенный анализ организации процесса сушки позволяет сформулировать в общем виде основные факторы, определяющие пожарную опасность процесса: перегрев высушиваемого материала, приводящий к самонагреванию высушиваемого продукта, тлению, термическому разложению и самовоспламенению; воспламенение высушиваемого материала спонтанно возникающими электростатическими источниками зажигания; нарушение технологического регламента; неисправность оборудования; нестационарные процессы в период запуска и остановки сушильного оборудования.

Для обеспечения безаварийности процесса сушки оксациллина предлагается следующее:

- Температура сушки ограничена на уровне недостаточном для активизации экзотермических реакций в высушиваемом веществе и составляет  $130^\circ\text{C}$ .
- Учитывая невысокие скорости прохождения теплоносителя через сушильную камеру, предложен такой режим, при котором в сушилке будет поддерживаться концентрация горючего и окислителя на безопасном уровне.
- Концентрация пылевзвеси в технологическом оборудовании близкая к предельным условиям распространения пламени. Технологическое оборудование необходимо конструктивно оформить системой защиты от разрядов статического электричества, допускающей возможность возникновения разрядов, но не способных воспламенить пылевоздушную смесь.

#### Список использованной литературы

1. Репринцева С.Н., Федорович Н.В. Новые методы термообработки и сушки химико-фармацевтических препаратов. - Наука и техника, 1979, - 186 с.
2. Корольченко А.Я. Пожаровзрывобезопасность промышленной пыли. - М.: Химия, 1986. - 216 с.
3. Общие правила взрывобезопасности для взрывоопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств. М.: Металлургия, 1988. - 88 с.
4. Сечин А.И., Яшин В.Я. Безопасность технологических процессов в химико-фармацевтических производствах. / Монография. Под ред. д.т.н. В.И. Косинцева. - Томск: Изд-во ТГУ. - 2003. - 152 с.: ил.
5. Сечин А.И. Безопасность систем перерабатывающих пылеобразующие материалы. / Монография. Под ред. д.ф.-м.н. Н.И. Федосова. - Томск: Изд-во ТГУ. - 2003. - 138 с.: ил.
6. Веревкин В.Н., Яйлиян Р.А. Инструкция по установлению соответствия изделий с неметаллическими материалами требованиям электростатической искробезопасности. - Балашиха, ВНИИПО МВД СССР, 1976. - 44 с.

7. Сечин А.И., Бошнятов Б.В., Косинцев В.И., Сечин А.А., Лаптев Д.А., Задорожная Т.А. К вопросу разработки комплексных мероприятий по обеспечению пожаровзрывобезопасности шахтных технологических процессов // Проблемы и перспективы инновационного развития экономики Кузбасса. – Кемерово: 2008. - С. 166-169.

### **Пожарная безопасность резервуарных парков нефтебаз как объектов особой важности**

**О.С. Кырмакова**

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

**E-mail: [olia\\_917@mail.ru](mailto:olia_917@mail.ru)**

Показана необходимость мероприятий по предупреждению и ликвидации аварийных ситуаций на нефтебазах как на объектах особой важности. Рассмотрены современные системы и технологии пожарной сигнализации и пожаротушения для резервуарных парков нефти и нефтепродуктов, входящих в структуру нефтебаз. Составлена принципиальная схема обвязки резервуара комплектом оборудования системы подслоного пожаротушения.

Нефтебазы, склады и базы горючего, выполняя важные функции по приему, хранению и выдаче нефтепродуктов для распределительной сети автозаправочных станций системы нефтепродуктообеспечения, являются объектами повышенной опасности. Одним из факторов риска для объектов особой важности традиционно являются пожары.

В структуру нефтебаз входят непосредственно резервуарные парки хранения нефтепродуктов.

Разработка мероприятий и внедрение технических решений, предупреждающих и исключающих опасные факторы, влияющих на промышленную и пожарную безопасность данных объектов, является обязательным при эксплуатации нефтебаз и складов нефтепродуктов. Разрабатываемые проектные решения должны иметь практическую реализацию в части обеспечения пожарной безопасности, предотвращения аварий, образования взрывопожароопасной среды и источников зажигания. Решению этих задач служат системы пожарной сигнализации и автоматического пожаротушения, оповещения.

Не следует забывать и о том, что основная часть территории нефтебазы является так называемой взрывоопасной зоной или даже взрывоопасным объектом. На всей территории такого взрывоопасного объекта действует специальный свод правил и требований, направленных на предотвращение подрыва взрывоопасной смеси, которая присутствует или может образовываться в случае аварии на объекте.

Рассмотрим современные системы и технологии пожарной сигнализации и пожаротушения для резервуарного парка нефти и нефтепродуктов, состоящего из двух резервуаров объемом 5000 м<sup>3</sup> каждый.

Для наземных резервуаров складов нефти и нефтепродуктов объемом 5000 м<sup>3</sup> и более, требованиями действующего СНиП 2.11.03-93 [3] предусматриваются системы автоматического пенного пожаротушения и водяного охлаждения.

Однако статистика пожаров последних лет показывает, что не всегда обеспечивается должная противопожарная защита объектов даже при соблюдении всех требований действующего СНиП.

К основным причинам пожаров на нефтебазах можно отнести следующие: переполнение при наливке резервуара, что приводит к предельной концентрации взрывоопасной смеси под верхней крышей резервуара; короткие замыкания в цепях систем автоматики; нагрев резервуаров в летний период, особенно в районах с жарким климатом; несоблюдение правил пожарной безопасности на территории нефтебаз (курение и т. п.).

Пожар в резервуаре в большинстве случаев начинается с взрыва паровоздушной смеси в верхней части резервуара, что приводит к подрыву (реже срыву) крыши с последующим горением на всей поверхности горючей жидкости. При этом, даже в начальной стадии, горение нефтепродуктов в резервуаре может сопровождаться мощным тепловым излучением в окружающую среду, а высота светящейся части пламени составлять 1-2 диаметра горящего резервуара [5].

При пожаре в резервуаре возможно образование, так называемых «карманов» (труднодоступных участков), которые значительно усложняют процесс тушения. «Карманы» могут иметь различную форму, площадь и образуются, как на стадии возникновения взрыва, в

результате перекоса понтона и крыши, частичного обрушения крыши, так и в процессе развития пожара при деформации стенок резервуара.

Таким образом, исключительно важным фактором с точки зрения величины потерь при пожаре на нефтебазе является его предотвращение. Здесь на помощь приходят современные методы контроля и сигнализации за соответствующими параметрами в резервуаре.

Система пожарной сигнализации нефтебазы строится по тем же принципам, что и пожарная сигнализация любого другого объекта, с той только разницей, что все оборудование, приборы и шлейфы такой системы должны быть выполнены в специальном - «взрывозащищенном исполнении», и традиционно состоит из приемно-контрольного прибора или прибора управления системой автоматического пожаротушения и периферийных устройств, основу которых составляют пожарные извещатели различного назначения и принципов действия.

В нашем случае, на первый план выходят, так называемые «резервуарные» тепловые пожарные извещатели, основное назначение которых, - контроль за превышением пороговой температуры в резервуарах с нефтью, нефтепродуктами и другими легковоспламеняющимися жидкостями (ЛВЖ). Они располагаются с внешней стороны на крышке (крышках) резервуара, при этом чувствительный элемент такого извещателя находится в воздушном зазоре между жидкостью наполняющей резервуар и крышкой самого резервуара. К наиболее популярным резервуарным пожарным извещателям относятся следующие: ИП 101 (ГРАНАТ), ИП 101-07, ИП 103-1В, ИП 103-2/1.

В последнее время с системой пожарной сигнализации объекта принято интегрировать средства аварийного оповещения в виде громкоговорителей и специальных речевых модулей. Взрывозащищенные громкоговорители DB4-L и DB-10, производства компании MEDC (Великобритания), в полной мере отвечают задачам применения на специальных объектах, в условиях повышенной пожаро- и взрывоопасности, суровых климатических условий, агрессивной среды и повышенной вибрации.

Итак, современная система пожарной сигнализации взрывоопасного объекта призвана предотвратить возгорание или обнаружить его на самой ранней стадии возникновения. Если все-таки возгорание не удалось предотвратить, важно как можно быстрее принять меры к локализации и тушению пожара, спасению людей, технических средств, ценностей, основу которых составляют сами нефтепродукты.

Удаленность пожарных депо от объектов нефтепродуктообеспечения, значительное время для сбора достаточного количества сил и средств и подготовки к проведению пенной атаки, моральный и физический износ стационарных установок тушения пеной средней кратности, образование недоступных зон («карманов»), также линейная скорость выгорания нефтепродуктов, способствуют к перерастанию пожара в резервуаре в стадию затяжного, что приводит к существенным потерям нефтепродуктов, деформации и разрушению самого резервуара.

Здесь целесообразно применение современных методов и средств пожаротушения, наиболее качественным и экономичным из которых является метод, так называемого, «подслоного» тушения нефтепродуктов.

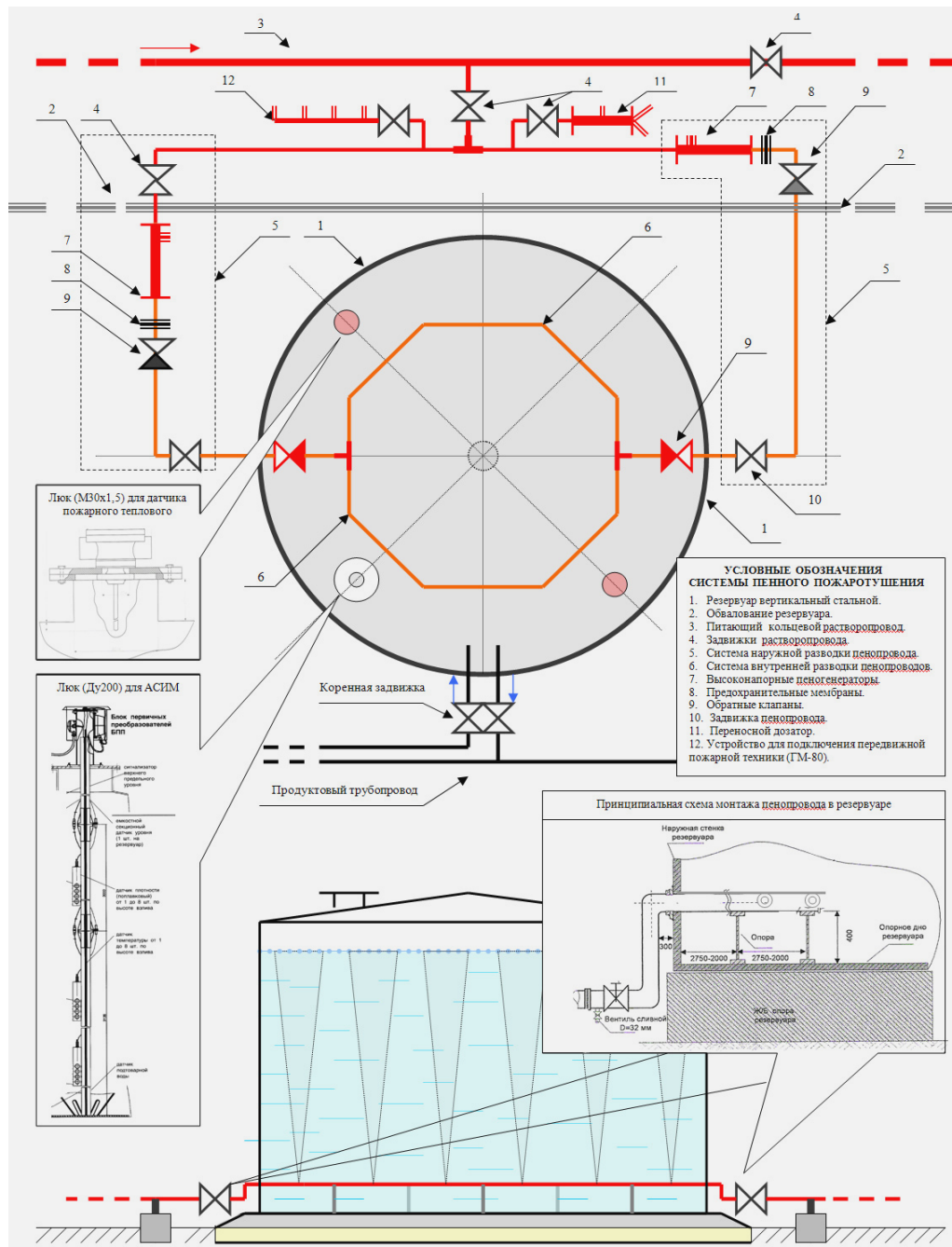
Суть подслоного метода тушения нефтепродуктов заключается в подаче огнетушащего вещества (пены) в резервуар не сверху, а непосредственно из под слоя нефтепродукта, т. е. снизу резервуара. Пена, пройдя слой нефтепродукта всплывает на поверхность резервуара, растекается по его поверхности, в том числе и в труднодоступные участки и блокирует доступ кислорода в зону горения. Основной эффект этого метода тушения заключается в его быстроте.

В последние годы специалистами ВНИИПО и предприятиями промышленности в качестве огнетушащего средства предлагаются новые марки специализированных пенообразователей на основе фтора, образующих пену низкой кратности и обладающих высокой огнетушащей эффективностью. К ним относятся отечественные пенообразователи ПО-6А3Ф, «Меркуловский», ПО-6ЦФ, ПО-6ТФ, «Пенофор», «Подслоный» и зарубежные марки, имеющие российские сертификаты: FINIFLAM А3Ф, STHAMEX АFFF, «Огонь и вода» и другие. Принципиальная схема обвязки резервуара комплектом оборудования системы подслоного пожаротушения приведена на рис. 1.

Предлагаемое техническое решение позволяет обеспечить подачу пены под слой продукта с образованием изолирующей пленки на поверхности горящего нефтепродукта, независимо от того, каким образом произойдет обрушивание крыши или деформация корпуса резервуара.

Таким образом, расходы на приобретение, установку, и эксплуатацию современных систем пожарной сигнализации, оповещения и пожаротушения компенсируются уверенностью

руководителей предприятий в обеспечении противопожарной защиты объекта, сохранности дорогостоящей инфраструктуры и самого продукта в случае возникновения аварийной ситуации.



**Рис.1.** Принципиальная схема обвязки резервуара комплектом оборудования системы подслоного пожаротушения

Внедрение современных технологий пожарной безопасности позволит техническим специалистам нефтебаз уверенно решать проблемы пожаротушения до прибытия пожарных команд силами работающей смены в первые минуты возникновения пожара.

#### Список использованной литературы

1. «О порядке организации мероприятий по предупреждению и ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов на территории РФ» от 15.04.2002 г. № 240;
2. ГОСТ Р 12.3.047-98 «ССБТ. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля»;

3. СНиП 2.11.03-93 «Склады нефти и нефтепродуктов. Противопожарные нормы»;
4. СП 5.13130.2009 «Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования» (в ред. Изменения N 1, утв. Приказом МЧС РФ от 01.06.2011 N 274);
5. Руководство по тушению нефти и нефтепродуктов в резервуарах и резервуарных парках (утв. ГУГПС МВД России 12.12.1999 г.).

#### Экологический мониторинг методом биоиндикации на примере г. Томска и Северска

**Фрянова К.О., Гербель Д.П., Пономарев А.А.**

*Томский Политехнический университет, г. Томск, Россия*

**E-mail: [kof1@tpu.ru](mailto:kof1@tpu.ru)**

Учеными доказано, что состояние окружающей человека среды имеет прямое отношение к его здоровью, поэтому оценка экологического состояния города всегда будет актуальной.

Предметом исследования стали организмы-биоиндикаторы, для которых характерной средой обитания является акватория Томской области.

Цель работы: провести мониторинг экологической обстановки г. Томска методом биоиндикации.

Гипотеза данного исследования: антропогенное воздействие оказывает значительное отрицательное влияние на экологическую обстановку города Томска.

О возможности использования живых организмов в качестве показателей определённых природных условий писали ещё учёные Древнего Рима и Греции. По современным представлениям биоиндикаторы – это организмы, присутствие, количество или особенности, развития которых служат показателями естественных процессов, условий или антропогенных изменений среды обитания.

Различные виды живых существ показывают, чем загрязнена окружающая среда. Какой бы совершенной ни была современная аппаратура, она не может сравниться с «живыми приборами», реагирующими на те, или иные изменения, отражающие воздействие всего комплекса факторов, включая сложные соединения различных ингредиентов.

В качестве биоиндикаторов можно использовать ряд живых объектов как растительного, так и животного происхождения: позвоночные и беспозвоночные животные, низшие растения (водоросли), высшие растения (макрофиты), грибоподобных организмы (например, сапролегния) и др.

Забор вод из рек города Томска и Северска, анализ воды при помощи учебно-лабораторного комплекса «Общая химия».

Цель данного этапа – определение рН и электропроводности воды.

Мы брали 3 пробы воды (для точности эксперимента пробы брались в один день). Исследовалось 100 мл жидкости, согласно указаниям методического пособия по использованию УЛК «Общая химия». В результате проведения опыта по нахождению рН воды было выявлено, что:

- |    |                                      |       |
|----|--------------------------------------|-------|
| 1. | рН в Северском водоканале составляет | 7,54  |
| 2. | рН в р. Ушайка составляет            | 7,0   |
| 3. | рН в р. Томь составляет              | 7,23: |

Оптимальным и законодательно утвержденным считается уровень рН в диапазоне от 6 до 9. То есть употребляемые человеком жидкости должны иметь слабощелочную реакцию и находится в пределах от 7,5 до 8,5, что является физиологичным для организма человека, поскольку указанный рН позволяет лучше сохранять кислотно-щелочное равновесие жидкостей организма, в большинстве имеющих слабощелочную реакцию. Итак, требованиям соответствует вода из водоканала г.Северска.

В результате проведения опыта по нахождению электропроводности воды было выявлено, что:

- |  |             |
|--|-------------|
| электропроводность в Северском водоканале составляет | ... ..0,302 |
| электропроводность в р.Ушайка составляет             | .....0,772  |
| электропроводность в р. Томь составляет              | .....0,400  |

Электрическая проводимость природной воды зависит в основном от степени минерализации (концентрации растворенных минеральных солей) и температуры. Благодаря этой



зависимости, по величине электропроводности воды можно с определенной степенью погрешности судить о минерализации воды.

Исследование качества воды путем выращивания биоиндикатора кресс-салата.

Целью этого опыта явилось исследование вод из разных источников с использованием кресс-салата как биоиндикатора среды.

Объектом исследования был выбран кресс-салат – однолетнее овощное растение, обладающее повышенной чувствительностью к загрязнению почвы тяжелыми металлами, а также к загрязнению воздуха газообразными выбросами автотранспорта. Этот биоиндикатор отличается быстрым прорастанием семян и почти стопроцентной всхожестью, которая заметно уменьшается в присутствии загрязнителей. Кроме того, побеги и корни этого растения под действием загрязнителей подвергаются заметным морфологическим изменениям (задержка роста и искривление побегов, уменьшение длины и массы корней, а также числа и массы семян). Привлекательны также и весьма короткие сроки эксперимента. Семена кресс-салата прорастают уже на третий-четвертый день, и на большинство вопросов эксперимента можно получить ответ в течение 10-15 суток.

Начало нашей работы связано с заборами вод из р. Томь, р. Ушайка, водоканал г. Томска и г. Северска. Прежде чем ставить эксперимент по биоиндикации загрязнений с помощью кресс-салата, партию семян, предназначенных для опытов, мы проверили на всхожесть. Для этого семена кресс – салата проращиваются в чашках в насыщенной водой среде. После определения всхожести семян мы приступили к проведению опыта.

В течение 10 дней мы наблюдали за прорастанием семян, поддерживая влажность субстратов примерно на одном уровне. В результате этого опыта было выявлено, что семена кресс-салата, которые мы поливали водой из р. Томь, р. Ушайка, водоканал г. Томска взошли почти все, за исключением 7-8 семян (в р. Томь). Существенные изменения были наглядно видны в чаше с кресс-салатом, который поливали водой из водоканала г. Северск. На 10 сутки проведения опыта на растениях образовались белые крапинки, что свидетельствует о плохом качестве воды из водоканала г. Северск.

Исследование качества воды на аквариумных улитках

Исследовалось 4 пробы воды:

1. р. Томь,
2. р. Ушайка,
3. Томская водопроводная вода,
4. Северский водоканал.

В качестве биоиндикатора были использованы улитки.

Имелось 4 ёмкости с пробами вод перечисленных выше, в каждую из них помешались 12 особей улиток, опыт проводился в течение 10 дней. В итоге мы обнаружили, что самое большое число погибших улиток было в воде Северского водоканала – 8 улиток, в воде р. Томь погибло 4 улитки, в воде р. Ушайки погибло 2 улитки, в водопроводной воде г. Томска погибла 1 улитка.

Начиная с 20 – го века люди стали задумываться об экологическом состоянии окружающей среды. На протяжении длительного времени различными учеными разрабатывались способы и методы мониторинга экологии. Одним из наиболее популярных и доступных способов оказался метод биоиндикации, которым мы и воспользовались в процессе написания этой работы.

Получив результаты эксперимента, мы задумались о возможных путях загрязнения экологии г. Томска и г. Северска.

Статистика загрязнения окружающей среды г. Томска автотранспортом

Общее количество автомобилей, по данным Главного управления ГИБДД по Томской области, в 2008 году составило 131 770 единиц. Учитывая, что в нашем городе проживает 512 тысяч человек, можно сказать, что каждый четвертый житель города владеет личным автотранспортом.

Легковые автомобили работают в основном на неэкологичном - бензиновом топливе. А по статистике, один легковой автомобиль выбрасывает в год с выхлопными газами примерно 800 кг окиси углерода, около 40 кг окислов азота и почти 200 кг различных углеводородов, при этом поглощая ежегодно из атмосферы в среднем больше 4 т кислорода. Нетрудно подсчитать, что наблюдается существенное увеличение выбросов вредных загрязняющих веществ в атмосферу города за счет сжигания топлива автомобильным транспортом.

За последний год количество автомобилей на дорогах Томской области увеличилось на 7,8 тысячи единиц, что составляет 2,5% к общему количеству транспортных средств.

На 1 января 2009 года в Томской области было зарегистрировано 277 тысяч транспортных средств, к 1 января 2010 года их количество увеличилось на четыре тысячи.

При этом, увеличение количества техники происходит на две трети за счет сельских районов Томской области.

**Таблица.** Выбросы от легкового автотранспорта на территории Томской области на 2008 г.

Вещество	Выбросы 1 легкового автомобиля в год, кг	Всего автомобилей	Выбросы в год, кг
окись углерода	800	131770	105416000
окислы азота	40		5270800
углеводороды	200		26354000

**Таблица.** Выбросы от легкового автотранспорта на территории Томской области на 2009 г.

Вещество	Выбросы 1 легкового автомобиля в год, кг	Всего автомобилей	Выбросы в год, кг
окись углерода	800	277000	221600000
окислы азота	40		11080000
углеводороды	200		5540000

**Таблица.** Выбросы от легкового автотранспорта на территории Томской области на 2010 г.

Вещество	Выбросы 1 легкового автомобиля в год, кг	Всего автомобилей	Выбросы в год, кг
окись углерода	800	281000	224800000
окислы азота	40		11240000
углеводороды	200		56200000

А так же решили узнать, каким образом экологическая среда влияет на состояние здоровья жителей города.

Социологический опрос жителей г. Томска

Для оценки воздействия окружающей среды на состояние здоровья Томичей нами был проведен социологический опрос жителей города. Опрос проводился в социальной сети и на улицах города. Опрашиваемым необходимо было ответить на вопрос: «Как экология г. Томска влияет на ваше здоровье?». Из 100 респондентов, лишь 6% дали положительный ответ, 55% сказали о негативном воздействии окружающей среды на их здоровье и 39% не заметили существенного влияния экологии г. Томска на их здоровье. В результате опроса нами был сделан вывод о том, что большая часть населения города наблюдают прямую зависимость между состоянием экологической обстановки в городе и своим здоровьем, многие из них озабочены этой проблемой.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что существует необходимость принятия широкомасштабных и комплексных мер по предотвращению, нейтрализации или хотя бы существенному сокращению тех негативных последствий, которые порождаются промышленностью и массовой автомобилизацией.

В результате проведенного исследования можно сделать следующие рекомендации:

- заменить в качестве автомобильного топлива бензин на газ;
- поставить на выхлопные трубы фильтры;
- повысить экологическое образование Томичей;
- уделить внимание озеленению города; усилить контроль за предприятиями г. Томска;
- продолжить строительство водоочистных сооружений на водопроводах питьевого водоснабжения;
- повысить эффективность работы соответствующих водоочистных сооружений;

- повысить административную ответственность за выбросы загрязняющих веществ в окружающую среду.

**Список используемой литературы:**

1. Адам А.М. и др. Томская область. Устойчивое развитие: опыт, проблемы, перспективы. – М.: Институт устойчивого развития Общественной палаты РФ/Центр экологической политики России, 2011. – 110с.
2. Крискунов Е.А., Пасечник В.В. Экология (учебник). – М.: Дрофа, 2003.–448с.
3. Мамедов Н.М., Суравегина И.Т., Глазачев С.Н. Основы общей экологии (учебник). – М.: Оникс, 2007.–352с.
4. Миркин Б.М., Наумова Л.Г. Экология России (учебник). – Москва: МДС: Юнисам, 1995.-231с.
5. Опекунова М.Г. Биоиндикация загрязнений. – СПбГУ, 2004.–266с.
6. Туровцев В.Д., Краснов В.С. Биоиндикация. – Санкт–Петербург, 2005.–254с.

**Особенности энергоаудита промышленного предприятия ОАО «ПРОМГАЗ» г. Челябинск**

*Е.А. Финаев, А.С. Казакевич, Т.Б. Жиргалова, Н.Н. Каргаполова*

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южно – Уральский государственный университет» (национально исследовательский университет), г. Челябинск, Россия  
pte@susu.ac.ru*

Целью энергетического обследования (энергоаудита) является оценка эффективности использования топливно-энергетических ресурсов, а также определение потенциала энергосбережения предприятия и способов его реализации.

Основными задачами энергетического обследования являются определение фактических показателей работы оборудования, сравнение их с нормированными значениями, анализ причин их несоответствия и разработка энергосберегающих мероприятий.

Энергетическое обследование состоит из нескольких, последовательно реализуемых этапов:

- сбор документальной информации;
- инструментальное обследование;
- обработка результатов обследования и их анализ;
- разработка энергосберегающих мероприятий и рекомендаций, оформление отчета.

На первом этапе происходит сбор документальной информации об объекте исследования: сведения об оборудовании котельной; динамика потребления энергоносителей; сведения о потребителях тепловой энергии и т.д. На этом этапе также определяются объем и точки замеров параметров энергоносителей.

Этап инструментального обследования необходим для восполнения недостающей информации по количественным и качественным характеристикам потребления энергоресурсов, а результаты обследования позволят оценить эффективность энергоиспользования.

Согласно Федеральному Закону от 23.11.2009 N 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ» был проведен энергоаудит крупного энергоснабжающего предприятия г. Челябинска ОАО «ПромГаз».

Особенностью энергетического обследования предприятия ОАО «ПромГаз» является то, что предприятие для осуществления своей основной деятельности использует разнообразные виды энергоресурсов. Предприятие осуществляет подачу природного газа промышленным предприятиям г. Челябинска (более 3 млрд. нм<sup>3</sup>/год), а также производит более 6000 Гкал/год теплоты в 4 собственных котельных, которую использует на собственные нужды и отпускает для нужд муниципального учреждения «Городская больница» и промышленного предприятия (более 2500 Гкал/год). Предприятие ОАО «ПромГаз» потребляет на собственные нужды более 2500 МВт·ч/год электрической энергии, которую покупает. Предприятие имеет также свой автомобильный парк, состоящий из 108 единиц техники, на который расходует более 239 тыс. л/год пропана, 84 тыс. л/год бензина и 68 тыс. л/год дизельного топлива.

Структурно предприятие включает в себя:

- основные производственно-ремонтные базы;
- газораспределительные станции и пункты, станции катодной защиты;
- энергетические объекты предприятия, обеспечивающие производство и распределение

энергоносителей (котельные предприятия).

Исходя из специфики предприятия, большая часть покупной электроэнергии (62 % от общего потребления предприятия), расходуется на:

- 194 станции катодной защиты КСЭР-1,6
- 35 станций катодной защиты КСЭР-3,0
- 24 станции катодной защиты ПКЗ-АР-Е-1,2
- 18 станций катодной защиты КСЭР-1,2
- 64 системы телеметрии ГРС Шлейф 12 ГАЗ

Тепловые нагрузки предприятия, расходы на собственные нужды и передачу энергии в форме теплоты потребителям, обеспечивают 4 котельные.

В котельной на производственной базе №1 установлено 2 котла КВ-Г-2,5-115, на производственной базе №2 – 4 котла МИКРО-100, на производственной базе №3 – 2 котла Wester WG-80S, на производственной базе №4 – 3 котла Rapido F200. Котлы КВ-Г-2,5-115 оснащены ручным двухпозиционным переключателем, на остальных котлах предусмотрены автоматические системы регулирования температуры теплоносителя. Все котельные, находящиеся на балансе предприятия, используют в качестве топлива природный газ. На производство тепловой энергии предприятие расходует 900 тыс.  $\text{нм}^3/\text{год}$  природного газа.

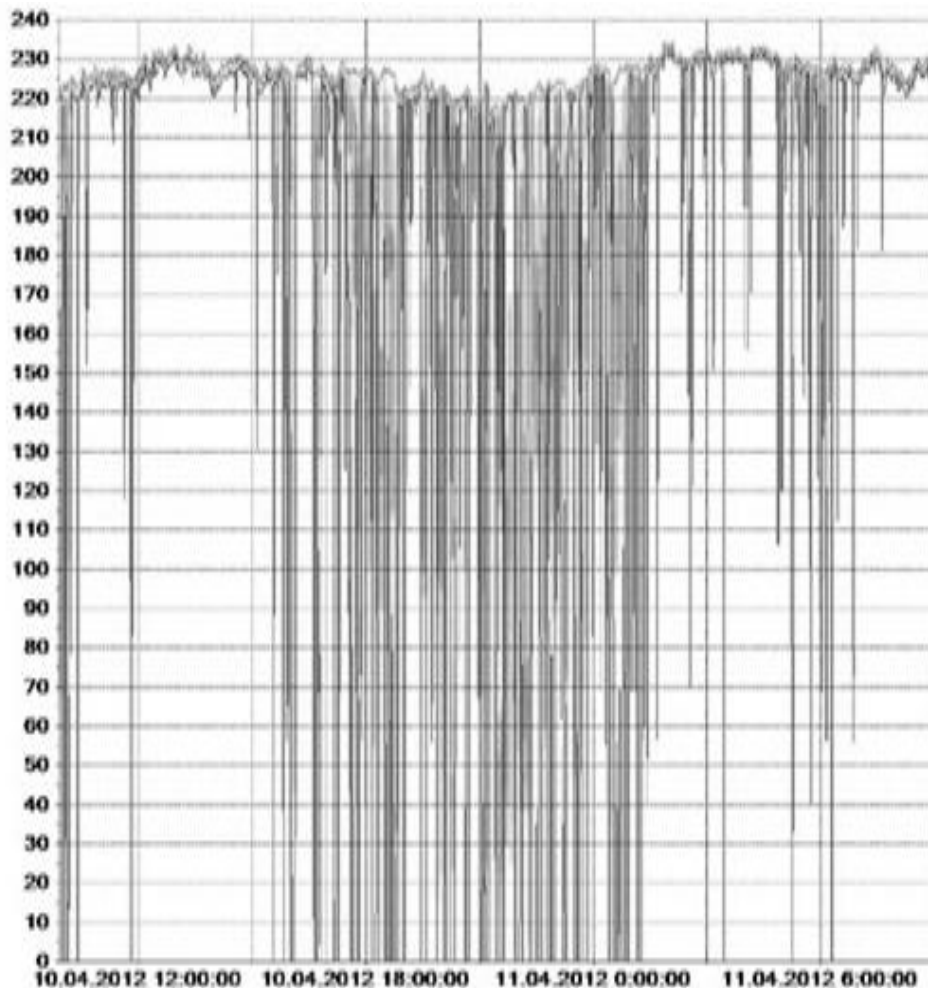


Рис. 1. Броски напряжения

При инструментальном обследовании предприятия использовались следующие измерительные системы:

- Тепловизор Fluke Ti25.
- Анализатор качества электрической энергии АКЭ-824.
- Ультразвуковой расходомер жидкости «Portaflow – 220»

- Люксометр Testo-540.
- Цифровой измеритель температуры и влажности Fluke 971.
- Пирометр Testo 830-T1.

На основании анализа данных, полученных в результате измерений на различных объектах предприятия, были выявлены недостатки.

- Тепловизионная диагностика двигателей компрессоров, установленных на ГРС, показала, что при работе в номинальном режиме происходит перегрев более 10 двигателей. Это позволяет сделать вывод о нарушении режима работы двигателя.

- Замер качества получаемой от поставщика электроэнергии (анализатор качества электрической энергии АКЭ-824) показал, что напряжение в течении суток изменялось от 230 В до 0 В (рис.1), что является недопустимым при эксплуатации электропотребляющего оборудования. Полученные данные дали основания для предъявления иска поставщику электроэнергии.

- Расчеты, выполненные по данным комплексной тепловизионной диагностики всех зданий и помещений, показывают, что на производственно-ремонтных базах предприятия происходил перерасход тепловой энергии на нужды отопления, из-за отсутствия регулирования подачи теплоносителя.

- Данные замеров расходов жидкости не совпадают с показаниями водосчетчиков (показывают заниженные расходы), что требуют их внеочередного обследования.

Для достижения нормативных показателей с целью энергосбережения и повышения энергетической эффективности были предложены мероприятия, представленные в табл. 1.

Таблица 1. Рекомендуемые энергосберегающие мероприятия

№ п/п	Наименование мероприятия	Ожидаемый экономический эффект	Срок окупаемости мероприятия
1.	Применение частотного электропривода на сетевых насосах котельной	Экономия 45990 кВт·ч электроэнергии в год	0,5 года
2.	Установка крышного ветрогенератора	Получение более 75 тыс. кВт·ч возобновляемой энергии	1,3 года
3.	Строительство котельной для производства тепла на собственные нужды на производственную площадку №5	Производство 700 Гкал тепловой энергии для восполнения собственных нужд	0,6 года
4.	Восстановление теплоизоляционного покрытия наружной теплотрассы с помощью скорлуп из пенополиуретана	Экономия 120 Гкал тепловой энергии при передаче	4,6 лет
5.	Замена газовых горелок БИГ 2-14 на газовые горелки Blu 2000.1 PR - MD в котельной производственной площадки №1	Экономия 94 тыс. нм <sup>3</sup> газа	5,9 лет
6.	Проведение наладочных работ на котлах в котельной на производственных площадках №3 и №4	Экономия 132,5 тыс. нм <sup>3</sup> газа	0,3 года

При внедрении рекомендуемых мероприятий экономия текущих затрат составит 21 %, что в денежном эквиваленте 2,5 млн. рублей.

#### Список использованной литературы:

1. Федеральный Закон от 23.11.2009 N 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ».
2. ГОСТ Р 54852-2011 «Здания и сооружения. Методы тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций».
3. Приказ Минэнерго РФ «О внесении изменений в требования к энергетическому паспорту, составленному по результатам обязательного энергетического обследования, и энергетическому паспорту, составленному на основании проектной документации, и правил направления копии энергетического паспорта, составленного по результатам обязательного энергетического обследования» от 08 декабря 2011 г. N 577.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Разработка модели системы автоматического управления управляемого шунтирующего реактора</b>	
<i>М.В. Андреев, Ю.С. Боровиков, А.В. Прохоров</i> . . . . .	5
<b>Фотоэлектрическая энергетическая установка</b>	
<i>К.В. Аржанов</i> . . . . .	7
<b>Методология развития генерирующих мощностей в условиях дерегулирования отрасли</b>	
<i>В.А. Баринов, А.С. Мурачев</i> . . . . .	10
<b>Исследование случайного потока отказов в электрических сетях нефтепромыслов для мониторинга эксплуатационной надежности оборудования</b>	
<i>Т.Р. Беккер, В.М. Левин, М.В. Кулагина, Е.В. Чимитова</i> . . . . .	12
<b>Разработка алгоритма управления электромеханическим накопителем энергии на основе нечёткой логики</b>	
<i>А.А. Борисов, В.М. Зырянов</i> . . . . .	15
<b>Технология перехода разработанного оборудования автоматики на новую элементную базу</b>	
<i>Е.И. Гладышева, А.А. Шилин</i> . . . . .	18
<b>Система обслуживания по фактическому состоянию на основе комплексного метода диагностики электромеханического оборудования</b>	
<i>Ю.Л. Жуковский</i> . . . . .	20
<b>Сильноточное контактное соединение</b>	
<i>А.А.Казанцев, И.А. Косорлуков</i> . . . . .	23
<b>Анализ режимов работы преобразователя частоты ТПЧ-800 в составе трубогибочного стана УЗТМ-465 как нелинейного потребителя</b>	
<i>Д.Н. Коржов</i> . . . . .	24
<b>Оценка гармонических составляющих тока и напряжения кранового частотного электропривода с помощью виртуальной модели</b>	
<i>Д.С. Лимаров</i> . . . . .	27
<b>12. Передача кодированного сигнала, заполненного высокой несущей частотой, по проводам электрических сетей</b>	
<i>В.Л. Матюшев</i> . . . . .	30
<b>Учет переменного графика нагрузки при оценке эффективности сооружения АИП</b>	
<i>В.П. Обоскалов, Д.И. Померанец</i> . . . . .	33
<b>Математическая модель для выбора оптимальной энергоёмкости накопителя ветродизельной электростанции с учетом спектра мощности ветрового потока</b>	
<i>Р.А. Подгаевский, В.М. Зырянов</i> . . . . .	36
<b>Современный подход к моделированию релейной защиты</b>	
<i>Н.Ю. Рубан</i> . . . . .	39
<b>Проблемы построения интеллектуальных электроэнергетических сетей</b>	
<i>С.А. Сбитнев, Н.А. Куйдин, В.Е. Шмелев</i> . . . . .	41

<b>Влияние угла сдвига фаз на расчет параметров сети при гармонических искажениях</b>	
<i>Я. Э. Шклярский, В. С. Добуш. . . . .</i>	44
<b>Повышение энергоэффективности промышленного предприятия за счет прогнозирования электрических нагрузок</b>	
<i>Ю.П. Максимов, А.А. Тетерятник. . . . .</i>	47
<b>Энергоэффективность и мероприятия по снижению потерь мощности в электрических сетях</b>	
<i>Ю.П. Максимов, А.А. Тетерятник. . . . .</i>	49
<b>Влияние низкочастотных поляризации на величину тока утечки в изоляции электрической сети напряжением до 1 кВ</b>	
<i>А.В. Пичуев . . . . .</i>	52
<b>Компенсация емкостных токов утечки в низковольтных электрических сетях в условиях неявно выраженного резонанса</b>	
<i>А.В. Пичуев. . . . .</i>	54
<b>Технико-экономическое обоснование внедрения частотно-регулируемого электропривода ленточных конвейерных установок</b>	
<i>Т.С. Камалов., О.З. Тоиров. . . . .</i>	57
<b>Место возобновляемой энергетики в современных условиях</b>	
<i>Р.О. Федькин . . . . .</i>	58
<b>Моделирование асинхронного двигателя большой мощности с нагрузкой типа «компрессор»</b>	
<i>Антонова М.А., Ляпунов Д.Ю. . . . .</i>	60
<b>Об ограниченной применимости результатов расчета характеристик обремененных поверхностей на основе безусловной задачи оптимизации</b>	
<i>Голдаев С. В, Дюкарев И.Е. . . . .</i>	63
<b>Нечеткий многокритериальный анализ признаков неисправности трансформаторного оборудования</b>	
<i>В.З. Манусов, Д.И. Коваленко. . . . .</i>	64
<b>Влияние погрешности исходной информации на результаты расчета режима электрических сетей 6-35 кВ</b>	
<i>В.И. Маругин, А.С. Степанов, С.А. Ясинский. . . . .</i>	67
<b>Предварительный анализ отказов элементов воздушных линий электропередачи напряжением 220 кВ</b>	
<i>В.И. Пантелеев, Д.В. Пантелеев. . . . .</i>	69
<b>Влияние статического компенсатора (СТАТКОМ) на дистанционную защиту</b>	
<i>А.Ю. Показцкий, А.В. Прохоров. . . . .</i>	71
<b>Моделирование работы однофазных трансформаторов напряжения в режиме холостого хода</b>	
<i>Е.Ю. Сизганова, Н.В. Сизганов, Л.А. Фоминцев . . . . .</i>	74
<b>Вероятностно-статистическая модель воздушной линии электропередачи 500 кВ объединенной энергосистемы Средней Волги</b>	
<i>Складчиков А.А. . . . .</i>	77
<b>Вероятностное моделирование эксплуатационной готовности воздушных линий электропередачи 500 кВ на основе Марковских процессов</b>	
<i>Складчиков А.А. . . . .</i>	78

<b>Система управления рисками технологических нарушений на воздушных линиях электропередачи</b> <i>Складчиков А.А.</i> . . . . .	81
<b>Технологии и методы реализации математического моделирования энергосистем</b> <i>А.А. Суворов.</i> . . . . .	84
<b>Серия контроллеров Woodward easYgen – решения для контроля и оптимизации генераторных установок</b> <i>А.А. Суворов.</i> . . . . .	85
<b>Анализ оборудования защиты и автоматики эксплуатируемых на объектах фирмы «Sakhalin Energy Investment Company Ltd.»</b> <i>А.А. Суворов.</i> . . . . .	87
<b>Обзор возможностей технологии "Цифровая подстанция"</b> <i>Тенников Р.П.</i> . . . . .	89
<b>Экономические показатели светодиодных источников света</b> <i>А.И. Войтенко, В.Д. Никитин.</i> . . . . .	90
<b>Оценка потерь энергии и сравнение стоимостных показателей медных и алюминиевых проводников</b> <i>А.И. Войтенко, В.Д. Никитин, Д.С. Баранова.</i> . . . . .	93
<b>Акронимический подход к электроэкспертизам</b> <i>О.А. Жуков.</i> . . . . .	96
<b>Потенциал нетрадиционных источников энергии в Таджикистане</b> <i>Р.С.Расулов, А.К. Киргизов, Л.С. Касобов, У.У. Касымов,</i> . . . . .	99
<b>Исследования плоских солнечных коллекторов программным методом.</b> <i>У.О. Мадумаров, М. Б. Иноятов. Ф.Н. Масуми К.С. Мухиддинов.</i> . . . . .	101
<b>Исследование характеристик тягового электропривода постоянного тока с широтно-импульсным управлением</b> <i>И.И. Шушанов, М.А. Соловьёв, Полуянович.</i> . . . . .	105
<b>Анализ состояния энергосистемы Омской области и перспективы её развития</b> <i>Е.В. Былкова., Т.П. Матвиенко.</i> . . . . .	108
<b>The modified method of economic intervals for high-voltage overhead lines</b> <i>S.A. Guseva, L.J. Petrichenko.</i> . . . . .	111
<b>Алгоритм решения задачи идентификации удельных параметров линии электропередачи</b> <i>Ю.Г. Кононов, А.А. Степанова</i> . . . . .	114
<b>Оптимизация движения лифтов в офисных зданиях по критерию минимизации затрат на электричество</b> <i>В.И. Козляева, Б.Э. Забержинский.</i> . . . . .	117
<b>Снижение энергопотерь при импульсно-дуговой сварке</b> <i>М. А. Крампит, А. В. Дмитриева.</i> . . . . .	119
<b>Метод расчета показателей надежности теплофикационных парогазовых установок в системах теплоэнергоснабжения</b> <i>М.С. Анкудинова, Е.А. Ларин, Л.А. Сандалова</i> . . . . .	123
<b>Оценка состояния системы теплоснабжения на примере пгт. Ясногорск, Забайкальского края</b> <i>М.С. Басс, А.В. Варавка, А.А. Мирошникова.</i> . . . . .	126



<b>Перспективы развития угольной генерации электроэнергии в России и способы их реализации</b> <i>Н.Н. Галашов, С.А. Цибульский</i> . . . . .	128
<b>Расчет экономической эффективности замены парового турбопривода питательного насоса энергоблока К-300-23.5 газотурбинным приводом с учётом ЧДД</b> <i>Н.Н. Галашов, Т.К. Бикбов</i> . . . . .	131
<b>Утилизация энергии избыточного давления транспортируемого газа в детандер -генераторных агрегатах</b> <i>А.Р. Гатауллина, О.В. Кулагина, Р.А. Молчанова</i> . . . . .	135
<b>Подогрев топливного, импульсного газа на компрессорных станциях</b> <i>А.Р. Гатауллина</i> . . . . .	136
<b>Применение тепловизионных технологий для управления топочными процессами в энергетическом оборудовании</b> <i>П.Ю. Худяков, Д. Дордж, Б.П. Жилкин, Н.С. Зайков, А.Ю. Кисельников</i> . . . . .	137
<b>Мониторинг состояния трубопровода высокого давления теплоэлектростанции с целью повышения надежности его эксплуатации</b> <i>Г.Г. Крушенко, В.В. Степанов</i> . . . . .	140
<b>Утилизация энергетических потоков газа с отрицательной температурой на крупных ГРС</b> <i>О.В. Кулагина, А.Р. Гатауллина, Р.А. Молчанова</i> . . . . .	143
<b>Графическое обоснование выбора оптимальных углей для газификации</b> <i>А.Ф. Рыжков, А. К. Курзанов</i> . . . . .	145
<b>Регенерация питательной воды высокотемпературных турбоустановок с использованием пароохладителей</b> <i>К.Б. Ларионов, Б.Ф. Калугин</i> . . . . .	147
<b>Возможность модернизации подогревателей паротурбинных установок АЭС</b> <i>С.В. Лавриненко</i> . . . . .	151
<b>Оценки состояния дисперсной среды с несвязными частицами в установке поршневого пневмотранспорта</b> <i>М.В. Василевский, В.И. Романдин, Е.Г. Зыков</i> . . . . .	154
<b>Эксергетический анализ методов снижения вредных выбросов от котельных агрегатов ТЭС</b> <i>В.В. Пинигин, А.Г. Батухтин, С.Ф. Мирошников</i> . . . . .	158
<b>Терморегулирование теплонапряженных энергетических систем с составными элементами</b> <i>В.М. Попов, А.П. Новиков, О.Л. Ерин</i> . . . . .	161
<b>Совершенствование топочного процесса котла ТПЕ-216</b> <i>Д.А. Волков</i> . . . . .	163
<b>Анализ адекватности математической модели узла смешения в контуре управления горячим водоснабжением на основе измеренных экспериментальных данных</b> <i>Г.К. Жетемисова, А.А. Шилин</i> . . . . .	165

<b>Повышение энергоэффективности плазмохимических реакторов синтеза керамических порошков</b>	
<i>А.С. Жуков, Т.В. Жукова, И.С. Бондарчук . . . . .</i>	168
<b>Расчет дисперсного состава пыли в потоке газа по эффективности пробоотборного циклона</b>	
<i>М.В. Василевский, Е.Г. Зыков, В.А. Полюшко, В.И. Романдин, А.С. Разва . . . . .</i>	170
<b>Виброизолятор тепловой энергетической установки</b>	
<i>Е.Г. Гурова, В.Ю. Гросс, А.О. Колинченко, В.С. Курбатов, А.А. Сергеев . . . . .</i>	174
<b>Анализ способов повышения дисперсности капель при распылении жидкостей эжекционными форсунками</b>	
<i>А.И. Коноваленко, С.В. Змановский, Е.А. Козлов, В.Ф. Трофимов . . . . .</i>	175
<b>К выбору промежуточного теплоносителя, обеспечивающего максимальную интенсивность теплообмена, в системах регазификации сжиженного углеводородного газа</b>	
<i>Рулев А.В., Кулаков А.В. . . . .</i>	176
<b>Определение эффективности теплообменных аппаратов</b>	
<i>С.А. Требунских . . . . .</i>	179
<b>Моделирование конвективного переноса тепла в открытой системе с радиационным источником нагрева</b>	
<i>В.И. Максимов, Т.А. Нагорнова, Г.Я. Мамонтов, Н.И. Куриленко . . . . .</i>	182
<b>Влияние динамической неравновесности на радиационные характеристики и характеристики излучения гетерогенных продуктов сгорания высокоэнергетических установок</b>	
<i>В.А. Кузьмин, И.А. Заграй . . . . .</i>	185
<b>Информационное обеспечение топливно-энергетического баланса</b>	
<i>О.В. Белова . . . . .</i>	189
<b>Оптимизация сельскохозяйственного производства в различных районах Томской области на основе программного моделирования.</b>	
<i>Т.Ш. Фузелла . . . . .</i>	191
<b>Основные типы ИБП с двойным преобразованием энергии</b>	
<i>О.А. Иванов, С.А. Коробков . . . . .</i>	192
<b>Экономический эффект использования методов прогнозирования электроэнергии и оценка потенциала энергосбережения неритмично работающих промышленных предприятий</b>	
<i>Т.Н. Кирилова . . . . .</i>	194
<b>Повышение энергоэффективности установок регазификации сжиженного углеводородного газа</b>	
<i>Б.Н. Курицын, Н.Н. Осипова, С.С. Кузнецов . . . . .</i>	197
<b>Компенсация реактивной мощности в сетях с нелинейной нагрузкой</b>	
<i>А.А. Минина, В.И. Пантелеев, Е.В. Платонова . . . . .</i>	199
<b>Повышение эффективности работы ТТ в АИИС КУЭ</b>	
<i>Н.Е. Миронюк, А.А. Алексеев . . . . .</i>	201
<b>К вопросу о внедрении распределенной генерации: интерфейс с распределительной системой</b>	
<i>Я.Э. Шклярский, О.И. Цинкович, Е.О. Замятин . . . . .</i>	204

<b>Модель определения потерь мощности и энергии на основе коэффициентов распределения с учетом комплексного регулирования режимных параметров</b>	
<i>В.С. Павлюков, С.В. Павлюков, Е.В. Чепухин</i> .....	206
<b>Безопасность установок конфекционирования в производстве гранулированного полиэтилена высокого давления</b>	
<i>М.В. Василевский, Д.В. Волкова</i> .....	209
<b>Анализ методов проведения энергетической реформы в России</b>	
<i>М.А. Родин, Е.Ю. Юрченко</i> .....	213
<b>Применение функций чувствительности к энергетическим задачам</b>	
<i>С.В. Шмидт, Д.Ю. Белова, Б.З. Калиев</i> .....	216
<b>Энергосбережение и повышение энергетической эффективности</b>	
<i>О.С. Яшутина</i> .....	219
<b>Выбор когенерационных газотурбинных установок для схем теплоснабжения в системах ЖКХ</b>	
<i>А.Б. Дубинин, Ю.Е. Николаев, Р.А. Дубинин</i> .....	221
<b>Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ его недостатки и изменения</b>	
<i>Л.Л. Булыга, Ю.А. Краснятов</i> .....	224
<b>Решение проблемы энергосбережения в муниципальном учреждении образования</b>	
<i>С.И. Новиков, Е.Ю. Симакова</i> .....	226
<b>Паровая бескислородная газификация углей севера кузнецкого бассейна</b>	
<i>Е.И. Кагакин, А.Р. Богомоллов, Е.Ю. Темникова</i> .....	227
<b>От православия к феномену ядерной энергии: заимствование фрагментов методологии антропосоциального толкования</b>	
<i>Е.В. Комлева</i> .....	231
<b>Анализ аварийной ситуации течь первого контура на третьем энергоблоке Кольской АЭС</b>	
<i>И.И. Коростелева, А.Г. Коротких</i> .....	234
<b>Система соотношений, используемая для замыкания уравнений двухжидкостной модели, применяемой для анализа развития аварий в реакторах с жидкометаллическим охлаждением</b>	
<i>М.Е. Кузнецова, А.А. Бутов, И.С. Вожаков, И.Г. Кудашов, Э.В. Усов, С.И. Лежнин, Н.А. Прибатурин</i> .....	237
<b>Состояние и перспективы ядерной энергетики</b>	
<i>М.Е. Минькович</i> .....	240
<b>Механизмы поздних повреждений ионизирующим излучением</b>	
<i>Ф.Ф. Тетнев, Я.В. Поровский</i> .....	242
<b>Модель абсорбционного теплообмена в пенных аппаратах, учитывающая изменение температуры и состава жидкости в пенном слое</b>	
<i>А.В. Толстых</i> .....	245
<b>Водород-кислородная камера сгорания перегрева водяного пара для высокотемпературных комбинированных энергоустановок</b>	
<i>И.М. Верещагин</i> .....	248

<b>Модель осаждения твердых частиц в первом контуре ВВЭР</b> <i>А.В. Кузьмин, В.Ю. Рождествин, К.Г. Южно</i> . . . . .	250
<b>Моделирование процессов плазменной утилизации и иммобилизации отходов переработки отработавшего ядерного топлива</b> <i>А.Г. Каренгин, О.Д. Шахматова</i> . . . . .	253
<b>Оценки максимального перепада температур в газовом зазоре тепловыделяющего элемента ВВЭР</b> <i>Р.В. Дашевский, А.В. Кузьмин, Е.Ю. Синяткин</i> . . . . .	256
<b>Комплексное моделирование процессов при падении отработанных ступеней ракет-носителей</b> <i>В.А. Архипов, А.А. Антонникова, И.К. Жарова, Е.А. Козлов</i> . . . . .	260
<b>Проблема загрязнения окружающей среды</b> <i>А.А. Аверьянова</i> . . . . .	263
<b>Оценка качества среды по состоянию листьев на примере берёзы повислой</b> <i>А.А. Аверьянова</i> . . . . .	264
<b>Обеспечение экологической безопасности эксплуатации магистральных трубопроводов</b> <i>А.Ф. Бархатов</i> . . . . .	265
<b>Проблема сжигания попутного нефтяного газа в Томской области</b> <i>А.Ф. Бархатов</i> . . . . .	268
<b>Разрушение пероксидных соединений в отходах производства растительных масел</b> <i>М.В. Енютина, Л.Н. Костылева, Т.В. Тарасевич</i> . . . . .	271
<b>Системный анализ энергетических возможностей наружного климата юга Дальнего Востока</b> <i>Р.С. Федюк, А.В. Мочалов, Ю.Ю. Ильинский, В.И. Николаев</i> . . . . .	273
<b>Использование отходов стирольного производства при получении бутадиенового каучука</b> <i>О.Н. Филимонова, Т.В. Маслакова, С.С. Никулин</i> . . . . .	275
<b>Самоорганизация как вариант существования природно-сельскохозяйственной геосистемы.</b> <i>Т.Ш. Фузелла</i> . . . . .	278
<b>Математическое моделирование распространения верховых лесных пожаров с учетом преград</b> <i>Е.С. Хапова, Е.А. Халдина</i> . . . . .	280
<b>Современные методы решения экологических проблем ТЭС</b> <i>Е.Н. Манчын, С.В. Голдаев</i> . . . . .	284
<b>Сезонный рост подроста сосны обыкновенной на отчужденной территории ЛЭП</b> <i>А.Н. Панов</i> . . . . .	286
<b>Моделирование процесса плазменной утилизации сульфитных лигнинов</b> <i>К.Г. Пиунова, А.Г. Каренгин</i> . . . . .	290
<b>Расчет риска техногенной чрезвычайной ситуации на ЗАО «Том-Мас»</b> <i>Е.В. Воробьева, Н.А. Чулков</i> . . . . .	293

<b>Оценка выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от котельных малой мощности Томской области</b> <i>Е.С. Воронцова, У.В. Дорохова, Т.С. Тайлашева. . . . .</i>	294
<b>Исследование термогазодинамических процессов в жидко-капельной среде при авиационном тушении пожаров</b> <i>И.К. Жарова, Е.А. Козлов, Н.В. Коровина, В.Т. Кузнецов, А.С. Ткаченко. . . . .</i>	297
<b>Экологичность и безопасность элеваторных систем транспортировки частиц в технологиях переработки дисперсных материалов</b> <i>М.В. Василевский, И.В. Додонова. . . . .</i>	300
<b>Метод определения характеристик слоя дисперсного материала на пористой фильтрующей перегородке</b> <i>М.В. Василевский, В.И. Романдин, А.С. Разва, Е.Г. Зыков, В.А. Полюшко. . . . .</i>	303
<b>Высокодисперсные капельные аэрозоли с заданными характеристиками</b> <i>Ишиматов А.Н., Елесин В.В., Трубников А.А., Огородников С.П. . . . .</i>	306
<b>Измерение дисперсности капель методом «солевого остатка»</b> <i>А.Н. Ишиматов, Б.И. Ворожцов, В.А. Архипов. . . . .</i>	309
<b>Формирование ключевых экологических компетенций методом проектов</b> <i>О.В. Ротарь, А.В. Искрижицкая, . . . . .</i>	312
<b>Сообщества коловраток в водоёмах Каргасокского района</b> <i>В.В. Шмырина. . . . .</i>	314
<b>Влияние добавки оксида марганца (IV) на процесс горения отходов деревообработки</b> <i>М.В. Жданова. . . . .</i>	317
<b>Водолазное обследование подводной части гидротехнических сооружений как элемент обеспечения безопасной эксплуатации опасного промышленного объекта</b> <i>Л.А. Торгашов. . . . .</i>	319
<b>Проблема повышенного содержания кремния в питьевой воде</b> <i>Е.В. Заболотская, Я.Н. Богданова, О.Б. Назаренко. . . . .</i>	322
<b>Оценка качества воды реки Томи в зоне влияния ЗАО «ГОС»</b> <i>Е.А. Нагорных, Т.И. Кручинина, Е.В. Ларионова, О.Б. Назаренко. . . . .</i>	325
<b>Оптимизация характеристик времяпролетного детектора на основе микроканальных пластин</b> <i>С.Ю. Назаренко, Н.А. Кузьминчук, М. Дивши. . . . .</i>	328
<b>О возможности непрерывного мониторинга магнитного поля на ускорительном комплексе</b> <i>С.Ю. Назаренко . . . . .</i>	331
<b>Анализ условий синтеза нанопорошков сложного композиционного состава методом электрического взрыва проводников</b> <i>А.П. Ильин, О.Б. Назаренко, Е.В. Старцева, Д.В. Тихонов. . . . .</i>	334
<b>Изучение возможности очистки воды от фосфатов на фильтре с цеолитовой загрузкой</b> <i>А.С. Вейсгейм, Р.Ф. Зарубина, Е.А. Нагорных, О.Б. Назаренко. . . . .</i>	336

<b>Особенности проведения работ по ликвидации пожаров и аварийных ситуаций на объектах с наличием радиационных веществ</b> <i>К.С. Скорюпина, Ю.В. Бородин</i> . . . . .	339
<b>Разработка технологии для очистки и обеззараживания питьевой воды в чрезвычайных ситуациях</b> <i>В.В. Смирнова, О.Б. Назаренко</i> . . . . .	342
<b>Определение параметров измерительного комплекса, реализующего турбидиметрический высокоселективный метод</b> <i>С.С. Титов, А.А. Павленко, Б.В. Борисов</i> . . . . .	345
<b>Вариант повышения экологичности водоподготовительной установки ТЭС</b> <i>К.Ю. Афанасьев</i> . . . . .	348
<b>Исследование влияния производных гидразина на биохимические показатели в крови</b> <i>А.Ю. Алейник, Р.Р. Бейсенова, Р.Р. Ахмеджанов</i> . . . . .	350
<b>Исследование профессионально важных качеств спасателя</b> <i>Е.И. Фёдорова, Н.А. Чулков</i> . . . . .	352
<b>Оценка влияния нефтепромышленности на геологическую среду</b> <i>Е.Ю. Жемчугова</i> . . . . .	355
<b>Негативные экологические последствия при сжигании ПНГ на факельных установках</b> <i>Е.А. Исхакова, Д.С. Бакулев</i> . . . . .	357
<b>Разработка мероприятий по снижению шума от железнодорожного транспорта в жилой застройке г. Тайга</b> <i>И. Ю. Ключникова, М. Э. Гусельников</i> . . . . .	358
<b>Анализ методов очистки воды г. Томска</b> <i>Т.И. Козулина, В.И. Копытин, Н.А. Чулков</i> . . . . .	361
<b>Исследование загрязнения города Томска автотранспортом</b> <i>Е.В. Кузьмина, М.О. Третьякова</i> . . . . .	364
<b>Анализ работы ЗАО «Городские очистные сооружения»</b> <i>Д.Ю. Овдиенко, О.Б. Назаренко</i> . . . . .	367
<b>Эвакуация, прием и размещение населения Томского района в военное время</b> <i>А.А. Семенова, А.А. Сечин</i> . . . . .	369
<b>Извлечение энергии из пластмассовых отходов</b> <i>Л.В. Супрун, Т.С. Цыганкова</i> . . . . .	371
<b>Оценка эффективности удаления ионных примесей из растворов путем электролиза</b> <i>Т.А. Раденков</i> . . . . .	373
<b>Теория рисков в пожаротушении</b> <i>С.И. Осипенко, А.И. Сечин</i> . . . . .	374
<b>Статическое электричество как дестабилизирующий фактор технологического процесса производства фармацевтических препаратов</b> <i>М.В. Гуляев, А.И. Сечин, М.С. Барский, И.Н. Долдин, Д.В. Терехин, А.А. Сечин</i> . . . . .	376

<b>Установка по изучению электростатических полей в модельных полостях циклона</b>	
<i>М.В. Гуляев, А.И. Сечин, М.С. Барский, Т.А. Иванова, А.А. Сечин. . . . .</i>	378
<b>Разработка безопасного метода гранулирования и сушки материалов</b>	
<i>А.И. Сечин, Т.А. Задорожная, А.А. Сечин. . . . .</i>	380
<b>Разработка обоснования перевода процесса сушки изоксазолкарбоновой кислоты в активный гидродинамический режим</b>	
<i>А.И. Сечин, М.В. Гуляев, А.А. Сечин. . . . .</i>	382
<b>К вопросу разработки методологии организации интенсивного и безопасного способа сушки взрывоопасных пылеобразующих материалов</b>	
<i>А.И. Сечин, Т.А. Задорожная, А.А. Сечин, М.В. Гуляев. . . . .</i>	383
<b>Применение электротехнологического комплекса для обработки токами высокой частоты металлических медицинских конструкций</b>	
<i>М.А. Фомина, А.Б. Штейнгауэр, И.В. Родионов, А.А. Фомин. . . . .</i>	387
<b>Изучение группы часто болеющих детей по данным одной из поликлиник г. Томска</b>	
<i>М.П. Цыганкова, З.И. Кандалова. . . . .</i>	389
<b>Компьютерное моделирование электромагнитных полей</b>	
<i>В.О. Юдина, О.В. Раецкая. . . . .</i>	390
<b>Показатели внутрилегочного гистерезиса и транспульмонального давления у больных хроническим необструктивным бронхитом в сочетании с пневмофиброзом</b>	
<i>О.В. Якис, А.И. Карзилов, Ф.Ф. Тетенев. . . . .</i>	393
<b>Диуретики в сердечной недостаточности</b>	
<i>Е.А. Ивлева. . . . .</i>	395
<b>Окислительные и антиоксидантные процессы у детей с хроническими заболеваниями, проживающих в радиационно-химическом следе</b>	
<i>Т.В. Матковская, Г.А. Суханова, Е.А. Ямановская. . . . .</i>	398
<b>Возможности пневмотахограммы в диагностике bronхообструктивных нарушений</b>	
<i>Месько П.Е., А.И. Карзилов, Ф.Ф. Тетенев, Бодрова Т.Н., О.В. Калинина, О.В. Якис. . . . .</i>	402
<b>Возможности использования «профессионального риска» в практике хозяйствующих субъектов</b>	
<i>Д.А. Рытова, Н.А. Чулков. . . . .</i>	404
<b>Опыт лечения статинами пациентов с тяжелым течением заболеваний, ассоциированных с метаболическим синдромом</b>	
<i>Беспалова И.Д., Медянцев Ю.А., Калюжнин В.В., Рязанцева Н.В. . . . .</i>	407
<b>Пищевое поведение и качество жизни пациентов с метаболическим синдромом</b>	
<i>Беспалова И.Д., Медянцев Ю.А., Калюжнин В.В., Рязанцева Н.В., Осиков И.А., Мурашев Б.Ю., Афанасьева Д.С. . . . .</i>	410
<b>Нарушение пуринового обмена в патогенезе метаболического синдрома</b>	
<i>Беспалова И.Д., Медянцев Ю.А., Калюжнин В.В., Рязанцева Н.В. . . . .</i>	413

<b>Влияние компонентов метаболического синдрома на качество жизни больных гипертонической болезнью</b>	
<i>Беспалова И.Д., Медянцев Ю.А., Калюжнин В.В., Рязанцева Н.В., Осихов И.А., Мурашев Б.Ю., Афанасьева Д.С. . . . . .</i>	416
<b>Нанобактериальная инфекция и вирусная теория гепатита. Спорные и нерешенные вопросы</b>	
<i>В.Т. Волков, Н.Н. Волкова . . . . .</i>	419
<b>Перспективы исследования нового патогена-нанобактерии в генезе ревматизма.</b>	
<i>В.Т.Волков, Н.Н.Волкова . . . . .</i>	424
<b>Самоконтроль при вторичной профилактике сердечно-сосудистых заболеваний</b>	
<i>Т.В. Гуляева. . . . .</i>	427
<b>Сравнительная характеристика артериального давления, роста, веса, массы тела и основных показателей липидного спектра крови студентов г. Томска</b>	
<i>И.Н. Конобеевская, Т.В. Гуляева . . . . .</i>	428
<b>Воспалительный процесс в патогенезе метаболического синдрома</b>	
<i>Б.Ю. Мурашев, И.Д. Беспалова, Н.В. Рязанцева, В.В. Новицкий, В.В. Калюжнин, Ю.А. Медянцев, И.А. Осихов, Д. С. Афанасьева. . . . .</i>	431
<b>Роль воспаления жировой ткани в патогенезе абдоминального ожирения</b>	
<i>И. А. Осихов, И. Д. Беспалова, Б. Ю. Мурашев, Д. С. Афанасьева. . . . .</i>	433
<b>Гигиеническая оценка микроклимата и искусственного освещения в образовательных учреждениях г. Томска</b>	
<i>Т.В. Андропова, О.В. Сафронова, Л.П. Волкотруб. . . . .</i>	435
<b>Влияние эуфиллина на показатели механики дыхания у больных хронической обструктивной болезнью легких</b>	
<i>Т.Н. Бодрова, Ф.Ф. Тетнев. . . . .</i>	437
<b>Влияние инвазии <i>Opisthorchis felinus</i> на клеточный состав индуцированной мокроты у больных бронхиальной астмой</b>	
<i>О.В. Калинина, Т.Н. Бодрова, А.И. Карзилов, П.Е. Месько . . . . .</i>	438
<b>Эффективность прогнозирования вентиляционных возможностей аппарата внешнего дыхания</b>	
<i>А.И. Карзилов, Ф.Ф. Тетнев, Бодрова Т.Н., Месько П.Е., О.В. Калинина, О.В. Якис. . . . .</i>	439
<b>Клиническая эффективность вибротерапии в комплексном лечении острых и обострений хронических ларингитов у пациентов голосоречевых профессий</b>	
<i>Т.Н. Зарипова, Е.М. Зеленкин, В.И. Мухина . . . . .</i>	442
<b>Вибротерапия острых и обострений хронических ларингитов у пациентов голосоречевых профессий: оценка результатов функциональных проб</b>	
<i>Т.Н. Зарипова, В.И. Мухина. . . . .</i>	448
<b>Здоровьесбережение как условие творческого развития обучающихся на уроках гуманитарного цикла.</b>	
<i>Л.М. Удалая, Е.Ю. Симакова. . . . .</i>	450



<b>Здоровьесберегающие технологии в условиях вечерней школы на уроках гуманитарного цикла</b> <i>Е.Ю. Симакова</i> . . . . .	452
<b>Направления совершенствования диагностики малых форм туберкулеза легких в общеврачебной практике</b> <i>С.П. Мишустин, Н.Г. Кривоногов, Т.С. Агеева, Е.Л. Мишустина, А.В. Дубоделова</i> . . . . .	454
<b>Медико-демографические показатели здоровья и воспроизводства населения Иркутской области</b> <i>М. О. Кондакова</i> . . . . .	456
<b>Характеристика интегральной механики дыхания при бронхиальной астме и ХОБЛ</b> <i>Ф.Ф. Тетенев, А.Ю. Диш, В.В. Ларченко, А.В. Левченко, Т.С. Агеева</i> . . . . .	459
<b>Основные направления повышения эффективности энергоблоков АЭС</b> <i>А.Е. Болтунов</i> . . . . .	462
<b>Влияние компенсации реактивной мощности до нуля на уровень напряжения и выбор вольтдобавочных трансформаторов</b> <i>А.Р. Ахметшин</i> . . . . .	464
<b>Анализ проблем компенсации провалов напряжения в сети электрических сетях 6-10 кВ</b> <i>Я.Э. Шклярский, Е.А. Бычков</i> . . . . .	467
<b>Выбор когенерационных газотурбинных установок для схем теплоснабжения в системах ЖКХ</b> <i>А.Б. Дубинин, Ю.Е. Николаев, Р.А. Дубинин</i> . . . . .	468
<b>Сравнение энергоемкости ВРП субъектов СФО</b> <i>Н.М. Чекмарева, М.В. Волков</i> . . . . .	471
<b>Mathematical models of economic estimation of measures on modernization of transformers</b> <i>N.Z. Breners, S.A. Guseva, N.N. Skobeleva</i> . . . . .	474
<b>Свойства оптоволокну, позволяющие использовать его в дуговой защите электроустановок</b> <i>О.В. Матюшева</i> . . . . .	477
<b>Автоматизированная информационно-измерительная система контроля и учета электроэнергии для сетевых компаний</b> <i>П.А. Стрижак, М.Н. Морозов</i> . . . . .	480
<b>Анализ электромагнитных полей на примере жилого массива «Зеленая роща» г. Красноярск</b> <i>Г.А. Пилюгин, Р.А. Петухов</i> . . . . .	483
<b>Организация энергосберегающей системы с включением трансформатора теплоты в промышленных процессах разделения</b> <i>Л.В. Плотникова, Г.И. Ефремов</i> . . . . .	486
<b>Приводные односкоростные трехфазные асинхронные электродвигатели в системе привода: обобщения по применению нормативных положений по показателю и классам энергоэффективности</b> <i>Г.В. Птицын</i> . . . . .	488

<b>Вейвлет-преобразование при определении параметров электрической энергии</b> <i>С.С. Сиромаха, П.О. Ивкина</i> .....	491
<b>Исследование робастного регулятора системы горячего водоснабжения</b> <i>Т.А. Езангина</i> .....	494
<b>Разработка ресурсосберегающей технологии получения закладочных шахтных растворов из техногенного ангидрита</b> <i>Ю. М. Федорчук, Т.П. Малинникова, В.Н. Михеев</i> .....	497
<b>О методах диагностики систем центрального теплоснабжения</b> <i>Д.Ю. Ивлева, Е.В. Кравченко</i> .....	499
<b>О выборе стратегии технического обслуживания гидроагрегата №2 Саяно-Шушенской ГЭС</b> <i>Г.А. Чернова, Е.В. Кравченко</i> .....	502
<b>Техногенный ангидрит как компонент буровых растворов</b> <i>Ю.М. Федорчук, Е.В. Заболотская</i> .....	505
<b>Рекомендации по обеспечению пожаровзрывобезопасности при организации процесса сушки субстанции оксациллина</b> <i>А.И. Сечин, Т.А. Задорожная, А.А. Сечин</i> .....	508
<b>Пожарная безопасность резервуарных парков нефтебаз как объектов особой важности</b> <i>О.С. Кырмакова</i> .....	510
<b>Экологический мониторинг методом биоиндикации на примере г. Томска и Северска</b> <i>К.О. Фрянова, Д.П. Гербель, А.А. Пономарев</i> .....	513
<b>Особенности энергоаудита промышленного предприятия ОАО «ПРОМГАЗ» г. Челябинск</b> <i>Е.А. Финаев, А.С. Казакевич, Т.Б. Жиргалова, Н.Н. Каргаполова</i> .....	516

Научное издание

**ЭНЕРГЕТИКА:  
ЭФФЕКТИВНОСТЬ, НАДЕЖНОСТЬ, БЕЗОПАСНОСТЬ**

Материалы докладов XVIII Всероссийской  
научно-технической конференции

Верстка материалов докладов проведена на основе представленных  
авторами электронных версий без редактирования их текста!

Подписано в печать 28.12.2012 г. Формат А4. Бумага офсетная.  
Печать плоская. Усл. печ. л. 30,92. Уч.-изд. 28,00. Тираж 100 экземпляров.  
Отпечатано ООО «СПБ Графикс». Заказ № 055-12СТ.  
Адрес: 634034, г. Томск, ул. Усова, 4а-150, т. (38-22) 224-789