ГОУ ВПО ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ТОМСКОЕ ПРОФЕССОРСКОЕ СОБРАНИЕ

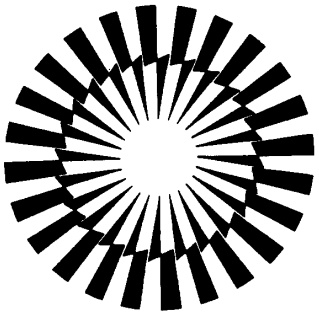
МЕЖДУНАРОДНАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ

МЕЖДУНАРОДНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ЭКОЛОГИИ И БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

МАТЕРИАЛЫ ДОКЛАДОВ СЕМНАДЦАТОЙ ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

«ЭНЕРГЕТИКА: ЭФФЕКТИВНОСТЬ, НАДЕЖНОСТЬ, БЕЗОПАСНОСТЬ»

Посвящается 60-летию
кафедры Экологии и
безопасности
жизнедеятельности



Томск - 2011

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

Энергетика: Эффективность, надежность, безопасность: материалы XVII Всероссийской научно-технической конференции / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во *“СПБ ГРАФИКС”*, 2011. – 420 с.

Э65

Настоящий сборник содержит материалы семнадцатой Всероссийской научно-технической конференции “Энергетика: эффективность, надежность, безопасность”, проведенной 7-9 декабря 2011 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

XVII научно-техническая конференция “Энергетика: эффективность, надежность, безопасность” проводится по гранту РФФИ 11-08-06084-г.

© ГОУ ВПО НИ ТПУ 2011
© Авторы 2011

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

Чубик Петр Савельевич	ректор ТПУ, профессор, председатель оргкомитета;
Власов Виктор Алексеевич	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

Прогноз доз облучения населения при нормальных и чрезвычайных режимах эксплуатации объектов атомной энергетики

А.Н. Валяев

Институт Проблем Безопасного Развития Атомной Энергетики РАН, г. Москва, Россия

E-mail:anvalyaev@mail.ru

Сегодня наблюдается интенсивный рост производства электроэнергии на атомных электростанциях (АЭС), где производство энергии является самым эффективным высокотехнологичным процессом. Такое производство связано с повышенным радиологическим риском для окружающей среды и населения. Методы оценки таких рисков и связанных с ними ущербов приведены в наших работах [1-3]. Основными целями принятой отечественной ФЦП "Развитие атомного энергопромышленного комплекса России на 2007-2010 годы и на перспективу до 2015 года" являются реализация ускоренного развития атомного энергопромышленного комплекса для обеспечения геополитических интересов страны и энергетической безопасности РФ за счет ввода в эксплуатацию новых типовых серийных энергоблоков АЭС с общей установленной электрической мощностью не менее 2 ГВт в год. На это производство в связи с его повышенной радиационной опасностью накладывается ряд определенных и жестких требований, обусловливающих актуальность и важность проведения исследований, связанных с безопасной эксплуатацией каждой АЭС, обеспечивающей безусловно приемлемый радиологический риск для населения в районе расположения АЭС, с учетом не только уже работающих на ней энергоблоков (ЭБ), но и вводимых в эксплуатацию согласно ФЦП новых ЭБ. Первое и главное направление ФЦП «Развитие мощностей АЭС» включает: (1) Достройку ЭБ высокой степени готовности и продление сроков эксплуатации действующих ЭБ АЭС; (2)Строительство и ввод в эксплуатацию новых ЭБ на уже действующих и новых АЭС.

В данном исследовании были собраны, систематизированы и проанализированы данные по фактическим газоаэрозольным выбросам в атмосферу и жидким радиоактивным сбросам в поверхностные водоемы за длительный период эксплуатации всех АЭС России (1995-2008 годы), Наблюдаемая устойчивая ежегодная тенденция снижения уровней сбросов и выбросов создала научно – обоснованную базу для выполнения достоверных прогнозных их оценок от уже действующих ЭБ и вводимых согласно ФЦП новых ЭБ. Для примера на Рис.1 приведены фактические выбросы инертных радиоактивных газов за 2005 и 2006 гг. всех 10 отечественных АЭС в процентах от допустимых выбросов, приведенных в СП АС-03.

По разработанной нами методике прогнозной оценки величин выбросов и сбросов при введении новых ЭБ выполнены прогнозные оценки этих величин для тех АЭС, на которых будут вводиться новыеЭБ: Курской, Кольской, Калининской, Волгодонской, Ленинградской, Смоленской и Нововоронежской АЭС. Затем были сделаны расчетные оценки прогнозных среднегодовых концентраций радионуклидов и годовых доз внешнего облучения от радиоактивного облака, от поверхности и ингаляции, а также плотности выпадения радионуклидов за год. Расчеты проводились на основе разработанной в ИБРАЭ РАН моделирующей системы «Ностардамус» [5] с использованием имеющейся методики подготовки метеорологических данных Росгидромета, взятых по итогам наблюдений за последние три года в районе расположения каждой АЭС. Далее была проведена консервативная (максимальная) оценка установившегося содержания радиоактивных веществ в водных объектах региона АЭС. Для водоемов охладителей, водохранилищ, рек и озер расчет проводился при помощи созданной в ИБРАЭ нормативной модели [6]. Оценка прогнозных доз облучения от водопользования для критической группы населения «рыбаки» включала облучение за счет потребления питьевой воды, рыбы, молока, мяса и овощей. Она показала, что при самых консервативных (максимальных) оценках значения этих доз при хозяйственном использовании водоемов региона АЭС не превышают 10 мкЗв по сумме всех радионуклидов для любой из отмеченных АЭС. Прогнозируемые дозы облучения с учетом планируемого ввода новых ЭБ приведены в Таблице 1.

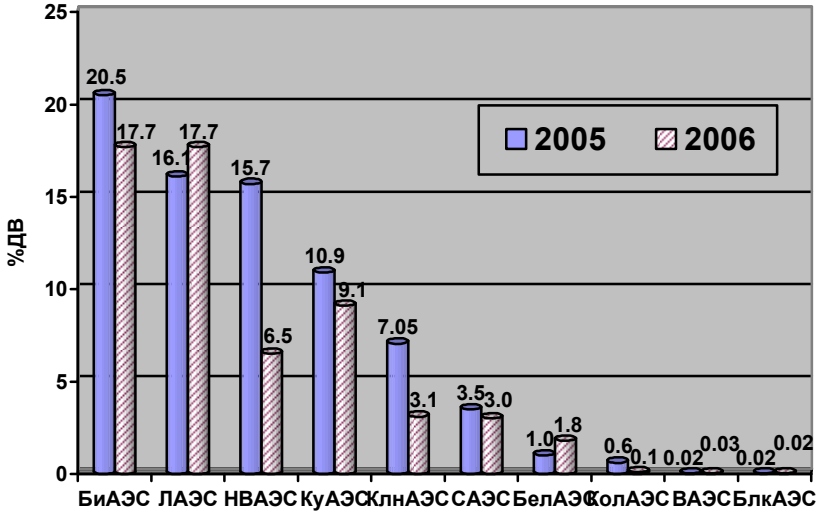


Рис. 1 Фактические выбросы инертных радиоактивных газов за 2005 и 2006 гг. отечественных АЭС в процентах от допустимых выбросов [4], приведенных в СП АС-03

Таблица 1. Данные по действующим и вводимым по ФЦП новым энергоблокам и прогнозные годовые дозы облучения населения в зоне наблюдения АЭС [4]

АЭС	Действующие энергоблоки	Вводимые энергоблоки типа ВВЭР	Эффективная доза облучения за счет водопользования мкЗв	Эффективная доза за счет воздушного пути облучения мкЗв	Эффективная доза облучения с учетом всех путей облучения, мкЗв
Курская АЭС	4 РБМК-1000	3	6,69	0.19	6.86
Кольская АЭС	4 ВВЭР-440	1	7,8	0.014	7.814
Калининская АЭС	4 ВВЭР-1000	1	3,4	0.012	3.412
Волгодонская АЭС	1 ВВЭР-1000	1	3,99	0.0026	3.9926
Ленинградская АЭС	4 РБМК-1000	4	0,62	0.24	0.86
Нововоронежская АЭС	2 ВВЭР -440 1 ВВЭР-1000	2	0,828	0.023	0.851
Смоленская АЭС	3 РБМК-1000	4	5,14	0.1	5.24

Такие дозовые нагрузки обеспечивают безусловно приемлемый уровень радиационного риска (менее 10^{-6} год$^{-1}$). Дополнительно радиационная опасность будет снижаться за счет модернизации существующих и разработки новых средств радиационной защиты, повышения культуры безопасности АЭС, введения новых технологий, например, реакторов нового поколения, удлиненного топливного цикла, выведения из эксплуатации устаревших реакторов. Новые ЭБ можно строить на площадках действующих АЭС. Если бы данное исследование выявило повышенный радиационный риск, то новые ЭБ пришлось бы сооружать на новых промплощадках за 30 км от существующих. Это привело бы к значительному удорожанию строительства за счет необходимости создания с нуля инфраструктуры.

По третьему направлению принятой ФЦП предполагается дальнейшее развитие мощностей по обращению с отработавшим ядерным топливом и радиоактивными отходами, в том

числе и на Сибирском Химическом Комбинате в г. Северске Томской Области. Это обстоятельство необходимо учитывать при прогнозировании общей радиационной обстановки и будущей прогнозной оценки доз облучения в данном регионе.

Одной из задач наших дальнейших исследований является анализ возможностей сопоставления расчетных значений доз с экспериментальными, например с результатами анализа по регистрируемому содержанию радионуклидов в рыбе, выполняемому на каждой АЭС.

Предлагаемая методика и методология прогноза доз облучения имеет универсальный характер и может быть использована как при нормальной эксплуатации объектов атомной энергетики, так и в аварийных режимах. Например, при анализе радиационной обстановки вблизи урановых хвостохранилищ [7], крупных водных бассейнов и рек [1-3], а также при катастрофах, связанных с прямыми интенсивными выбросами радиации в окружающую среду, как это имело место на АЭС «Фукусима» после катастрофического землетрясения 11 марта 2011 г. [8]. Здесь важным фактором является категоризации водных сред после радиоактивных взрывов и аварий [9]. Особенности использования описанной методологии в чрезвычайных ситуациях представлены в нашей следующей статье.

Список литературы:

1. Valyaev A.N.et.al., “Assessments of Risks and Possible Ecological and Economic Damages from Large-Scale Natural and Man-Induced Catastrophes in Ecology-Hazard Regions of Central Asia and the Caucasus” in NATO Science for Peace and Security Series (NSPSS) -C: Environmental Security, Proc. of NATO ARW “Prevention, Detection and Response to Nuclear and Radiological Threat”, May 2-7, 2007 Yerevan, Armenia, Editors: S. Apikyan. Publ. House: Springer, Netherlands, pp. 281-299. This article in NSPSS NATO ARW: “Nuclear Risk in Central Asia”, June 20-22, 2006, Kazakhstan, Almaty, Editors: B. Salbu, Publ. House: Springer, Netherlands, pp. 133-149), Proc. of NATO ARW: “Nuclear Risk in Central Asia”, Kazakhstan, Almaty, June 20-22, Editors: B. Salbu and L. Skipperud, Published House: Springer Science +Business Media B.V. Netherlands, 2008, pp. 133-149.
2. Valyaev A.N., et.al., “Managing risks to water resources in mountain regions from natural and man-made disasters” in Proc. of the NATO Advanced Research Workshop: “Stimulus for Human and Societal Dynamics in the Prevention of Catastrophes: NATO Science for Pearce and Security Series. E: Human and Societal Dynamics” –vol. 80, pp.172-188, 2011, IOS Press – Amsterdam – Berlin – Tokyo –Washington, D.C., Edited by Arman Avagyan, David L. Barry, Wilhelm G. Goldewey, Dieter W.G. Reimer.
3. Valyaev A.N., Passel H.D. et.al. “Geo- chemical and Radiological Risks in dangerous regions of Central Asia and Caucasus, Ibidem, pp.194-203.
4. Valyaev A.N. et.al., “Prediction of irradiation doses for population under implementation of Russian Federal Program: ”Development of Russian atomic energy industrial complex on 2007-2020 years”. Ibidem, pp.294 - 308.
5. Арутюнян Р.В., и др. Компьютерная система "НОСТРАДАМУС" для поддержки принятия решений при аварийных выбросах на радиационно-опасных объектах. Известия Академии Наук. Сер. Энергетика, 1995, N4, с. 19-30.
6. Казаков С.В. и др. Компьютерное моделирование последствий поступления радиоактивных веществ в поверхностные водоемы // Известия РАН Энергетика. – 2004. . № 3. – стр. 74-81.
7. 7.Valyaev A.N., Kazakov S.V., Aitmatov I.T., Aitmatova D.T. “ Problems of Ecologic Safety under Displacement of Rock Stones, controlled from Space, at Ecological Dangerous Regions of Tien-Shyan Mountains” in Proc. the First Intern. Conference ”Earth from Space - the Most effective Solutions” (in Russian), 2003 http://www.transparentworld.ru/conference/presentations/operative.htm tyan_shyan_prsnt.zip.
8. Valyaev A.N. et. al. in Proc: NATO ARW “Correlation between Human Factors and the Prevention of Catastrophes” Dnipropetrovsk, Ukraina, 12 – 15 September 2011, IOS Press – Amsterdam – Berlin – Tokyo –Washington, 2011; NATO Advanced Training Course: “Integrated Emergency Management for Mass Casualty Emergencies” 26-29 October 2011, Florence, Italy. (in press).
9. Kazakov S.V., Utkin S.S., Linge I.I., Valyaev A.N. “Categorization of Aqueous Media and Water Bodies by Contamination Radioactive Levels”, in Proc. of Intern. Conf. “Radioactivity after Nuclear Explosions and Accidents”, v.3, pp. 402-407, (in Russian), December 5-6, Moscow, Publ. House: St. Peterburg, GIDROMETIZDAT, 2006. –243 pp.

УДК 621.316.72

Снижение потерь электроэнергии за счет применения вольтодобавочных трансформаторов в распределительных сетях 0,4-10 кВ

А.И. Федотов, А.Р. Ахметшин

Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия

E-mail: ahmetshin.ar@rambler.ru

В статье рассматриваются способы снижения отклонений напряжения и уменьшения несимметрии фазных напряжений в распределительных электрических сетях (РЭС) с помощью современных вольтодобавочных и симметрирующих трансформаторов. На конкретных примерах приводится методология оценки экономической эффективности от их применения.

Для электросетевых компаний соблюдение нормативного уровня напряжения [1] является актуальной проблемой. Немаловажным фактором, влияющим на энергосбережение, является несимметрия нагрузки РЭС на стороне 0,4 кВ, что обусловливает дополнительные потери электроэнергии как в фазных проводах, так и в нулевом проводе [2].

Ниже в статье рассматривается целесообразность применения и приводится экономическая оценка следующего оборудования:

- пункты автоматического регулирования напряжения (ПАРН) для напряжения 10 кВ;
- вольтодобавочные трансформаторы (ВДТ) типа ТВМГ, для напряжения 0,4 кВ.

Применение ПАРН позволяет решить следующие задачи [3]:

- увеличение пропускной способности существующих линий для подключения новых потребителей;
- передача электроэнергии по линиям 6 и 10 кВ на большие расстояния;
- обеспечение качества электроэнергии, в том числе устранение несимметрии напряжений в линиях.

Основное предназначение ТВМГ [4]:

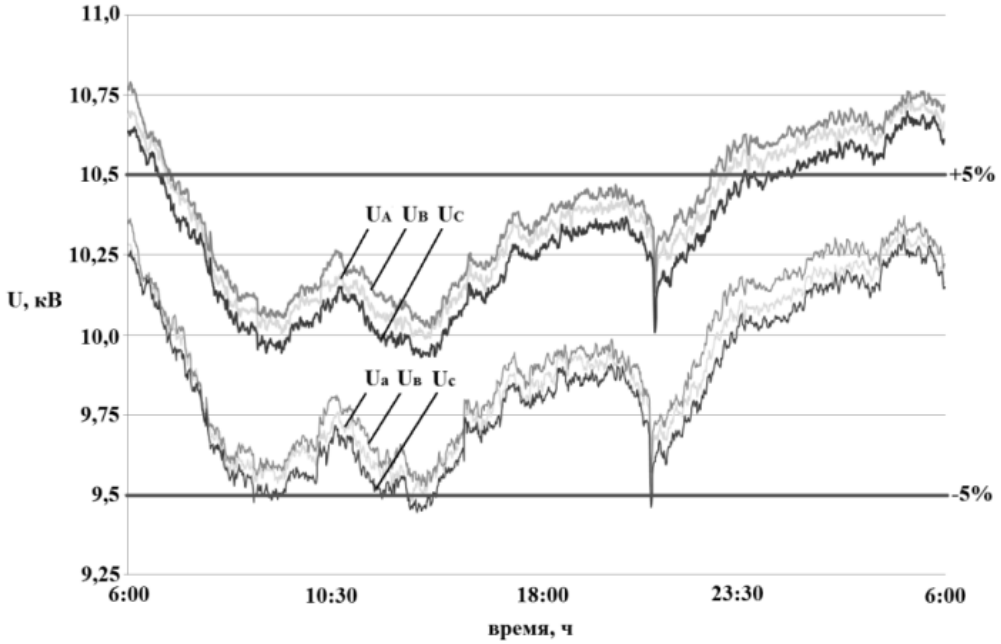
- автономное регулирование напряжения на каждой фазе;
- компенсация несимметрии фазных напряжений при несимметричных нагрузках.

На рис. 1а приведены суточные графики изменения напряжения на шинах ЦП и на вводах ТП №15. Как видно, потери напряжения в сети составляют приблизительно 5%, при этом наблюдается несимметрия фазных напряжений как на подстанции потребителя, так и на шинах ЦП, не превышающая 1,3 %. Если теперь перейти на сторону 0,4 кВ рассматриваемой подстанции, рис. 1б, то увидим, что нормативные требования в отношении ПКЭ не выполняются: наблюдаются как завышенные (шины 0,4 кВ ТП), так и заниженные (наиболее отдаленный участок) уровни напряжения. Причем для последнего не соблюдается как требование по предельно допустимому отклонению напряжения (10%), так и по условию обеспечения не менее 95% вероятности отклонений напряжения в пределах ±5%. Дополнительным фактором, осложняющим выдерживание требуемых ПКЭ, является более высокая степень проявления по фазной несимметрии напряжений на стороне 0,4 кВ, достигающая в отдельные интервалы времени 15%.

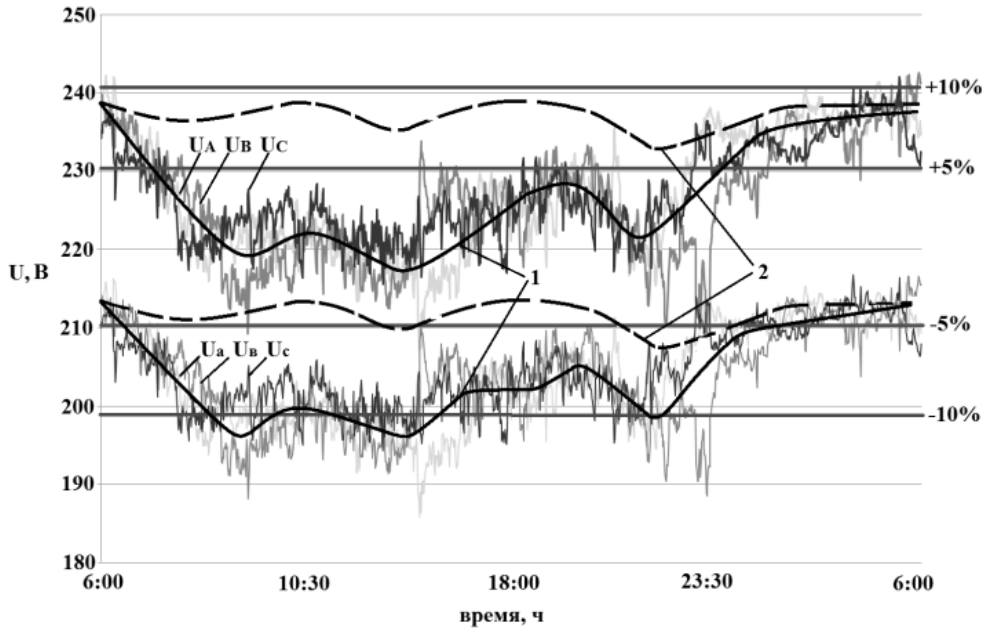
Таким образам, требуется не только за счет регулирования поднять общий уровень напряжения для удаленных потребителей, но и симметрировать напряжения на шинах 0,4 кВ рассматриваемой подстанции. Очевидно, что не оснащенные устройствами РПН силовые трансформаторы 10/0,4 кВ не позволяют при данном характере суточного изменения нагрузок решить ни первую, ни вторую задачи. Так если за счет изменения коэффициента трансформации (при наличии запаса) поднять напряжение у удаленного потребителя в часы максимума нагрузок, то одновременно поднимется напряжение и на шинах 0,4 кВ ТП, что приведет к завышенному уровню напряжения у ближайших потребителей.

Только при избирательном управлении уровнем напряжения можно добиться выдерживания нормативных ПКЭ.

При установке в сети 10 кВ ПАРН, обеспечивающих по фазное регулирование напряжений, можно симметрировать последние и выровнять суточный график напряжений за счет реализации на ПАРН принципа встречного регулирования напряжения, причем по каждой фазе диапазон отклонений напряжения может быть сужен до 1%.



а)



б)

Рис.1. Изменение напряжения в течение суток на стороне 10 кВ и 0,4 кВ:
а) на стороне 10 кВ, *U*A,*U*B,*U*C – в ЦП; *U*a,*U*в,*U*c – в ТП №15; б) на стороне 0,4 кВ, 1 – тренд напряжения без ПАРН; 2 – тренд напряжения при наличии ПАРН (*U*A,*U*B,*U*C – в ТП №15; *U*a,*U*в,*U*c – у наиболее отдаленного потребителя).

Из рис. 2 видно, что при условии регулирования напряжения в пределах ±10% и уровне номинального тока в месте установки ПАРН, не превышающего 100А, экономическая эффективность использования ПАРН начинается с 4 км. В крайне тяжелом случае при падении напряжения у потребителя до 30% ПАРН второй комплект экономически целесообразно устанавливать и на ЛЭП длиной превышающих 17 км.

Дополнительная проблема возникает по обеспечению нормативных ПКЭ у удаленных потребителей ТП №15. Размах отклонений напряжения требует введения в цепь питания бесконтактного устройства стабилизации напряжения, т.к. ПАРН не обладает необходимым быстродействием. В качестве такого можно использовать вольтодобавочные трансформаторы ТВМГ.

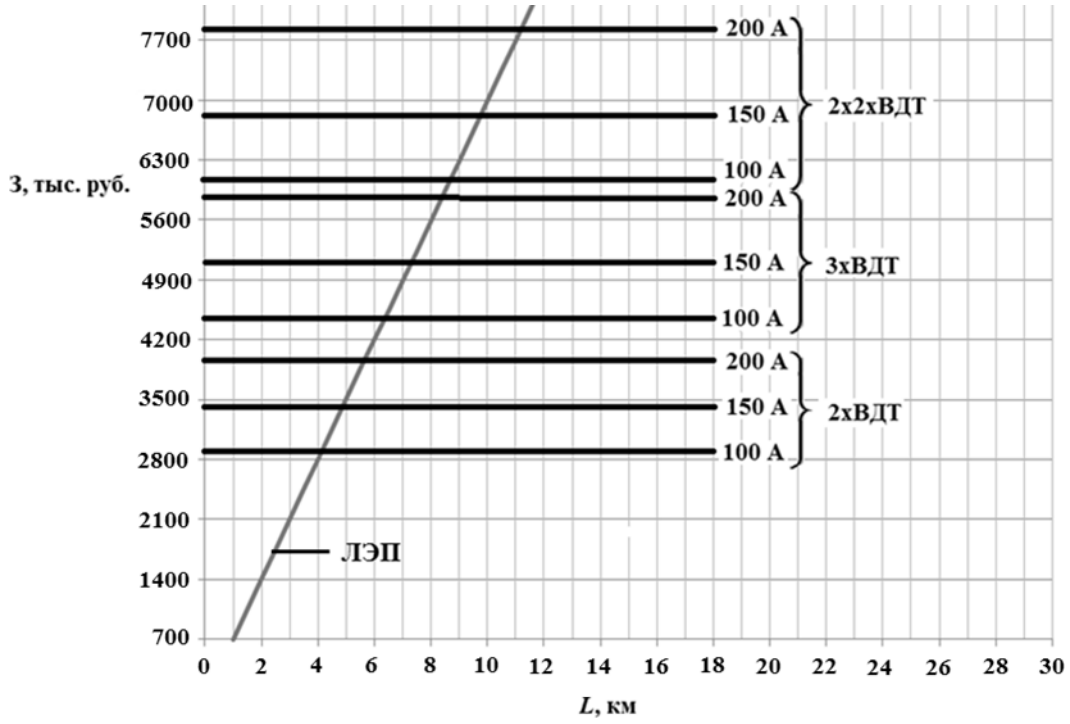


Рис. 2. Стоимость реконструкции ВЛ 10кВ и стоимость установок ПАРН

Для определения эффективности установки в сети 0.4 кВ вольтодобавочных трансформаторов типа ТВМГ в качестве примера рассмотрен фидер №3 со стороны 0.4 кВ ТП №15. На участке 1-21 используется провод марки А-35; на отпайках провод А-25. Длина линии от ТП №15 до опоры № 21 составляет 1,027 км, общая длина – 1.79 км. Цифрами по всей протяженности ЛЭП обозначаются номера опор, среднее расстояние между которыми 51 м. Ток в каждой фазе на ТП в часы максимума не превышает 70 А. Диаграмма изменения напряжения в течение суток, приведенная на рис. 1б, показывает необходимость как стабилизации уровня напряжения в допустимых пределах, так и снижение его несимметрии.

На рис. 3 представлена диаграмма изменения коэффициентов несимметрии напряжения по обратной (k_{2U}) и нулевой (k_{0U}) последовательностям в течение суток. Напряжения прямой и обратной последовательности определены по диаграммам на рис.1б.

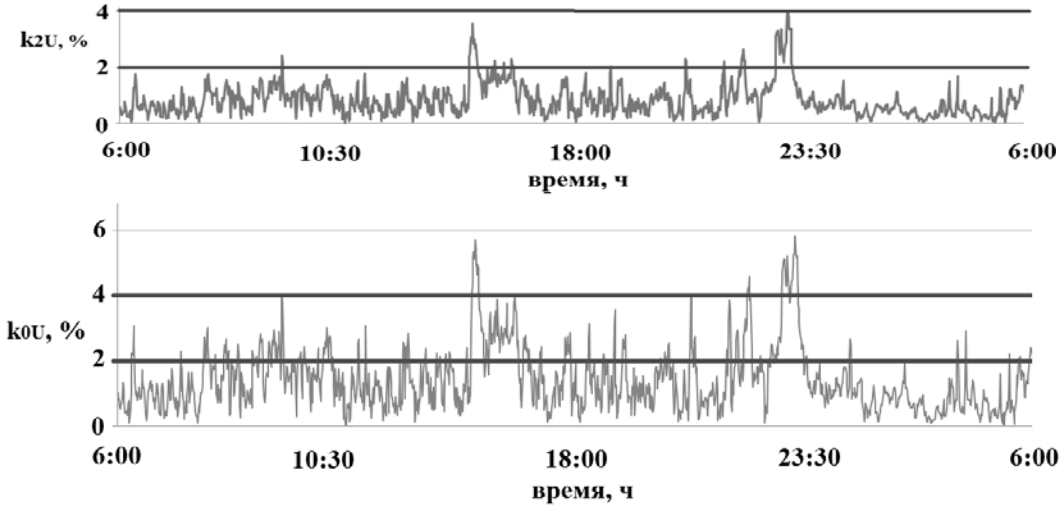


Рис. 3. Изменение коэффициентов k_{2U} и k_{0U} в течение суток

Из диаграммы (рис.3) видно, что коэффициенты k_{2U} и k_{0U} течение суток превышают нормальное допустимое (2%), а k_{0U} и предельно допустимое (4%) значения несимметрии напряжения [1]. Это ведет к появлению токов нулевой и обратной последовательности, способствует увеличению потерь электроэнергии в силовых трансформаторах и линиях электропередачи.

Установка ТВМГ дешевле реконструкции ЛЭП. С помощью него на данном участке ЛЭП можно решить ряд задач, способствующих улучшению ПКЭ, важнейшими из которых является стабилизация напряжения в допустимых пределах, включая часы максимума нагрузок, а также уменьшению несимметрии напряжения.

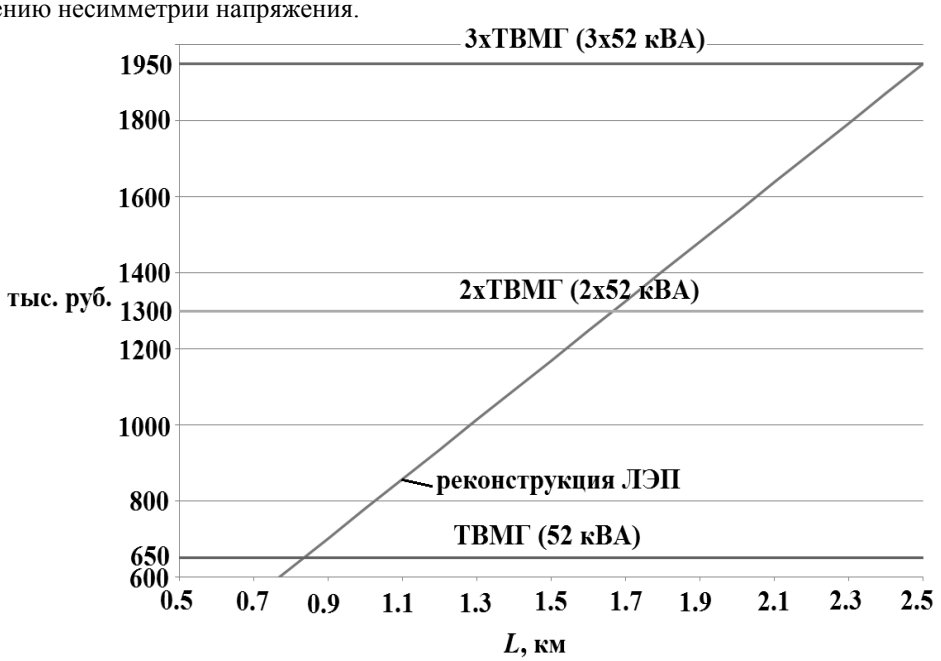


Рис. 4. Стоимость реконструкции ВЛ 0,4 кВ и стоимость установки ТВМГ

По рис. 4 можно определить экономическую целесообразность установки ТВМГ. Установка одного ТВМГ целесообразна на фидерах превышающих длину 0,8 км, установка двух ТВМГ – 1,7 км, установка трех ТВМГ – 2,5 км.

Выводы:

Используя рассмотренное в статье оборудование в РЭС 0,4-10 кВ, возможно, избавиться от основных негативных явлений, тем самым улучшить ПКЭ.

Список литературы:

1. ГОСТ 13109. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
2. Железко Ю. С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: Руководство для практических расчетов / Ю. С. Железко. - М.: ЭНАС, 2009. 456 с.
3. Перинский Т.В., Родионов О.С. Опыт эксплуатации пункта автоматического регулирования напряжения в распределительных сетях 6-10 кВ // ЭЛЕКТРО. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность 2009. №3. С. 33-34.
4. Сайт компании ООО "СКЭ – ЭЛЕКТРО". URL: http://www.ske-electro.ru (дата обращения: 24.05.11).

Анализ эффективности применения ветрогенераторов в условиях Томской области

С.В. Барановский, В.Е. Губин
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия
E-mail: cpt@vtomske.ru

Анализ эффективности применения различных ветрогенерирующих систем в условиях Томской области с анализом скоростей ветров, их продолжительности, техническими особенностями ветрогенераторов.

Томская область характеризуется суровыми климатическими условиями большой удалённостью населённых пунктов от источников электроэнергии. Не смотря на наличие в области крупных электрогенерирующих мощностей дефицит электроэнергии составляет порядка 60%.

Всё это создаёт предпосылки к использованию в системах электроснабжения области альтернативных источников энергии.

Наиболее доступным источником электроэнергии является ветер. Возможность установки ветрогенераторов в непосредственной близости от потребителей электроэнергии позволяет существенно снизить затраты на доставку электроэнергии и уменьшить их потери. Использование же ветрогенераторов в действующих системах электроснабжения основными генерирующими мощностями которых являются дизельные генераторы позволит добиться более качественного электроснабжения потребителей, уменьшить расходы дорогих видов топлив и ГСМ.

Рассмотрим возможность установки ветрогенераторов в населённых пунктах Томской области и эффективности их применения. Наиболее распространенными условиями применения ветрогенераторов будем считать установки мощностью до 15кВт устанавливаемые на высотах порядка 10м и предназначенные для электроснабжения жилых домов, а так же установки мощностью от 2 до 7 МВт, располагаемые на высотах в 100 м и используемых совместно с существующими дизельными электростанциями.

Таблица 1 – характеристики ветрогенераторов.

Ветрогенератор	EuroWind-300L	EuroWind-2	EuroWind-5	EuroWind-10	Vestas V90-2MW	Vestas V112-3MW	Vestas V164-7MW
Максимальная мощность, кВт	0,5	3	6,4	13	2000	3000	7000
Начальная скорость ветра, м/с	2,5	2	2	2	4	3	4
Номинальная скорость ветра, м/с	12	9	10	10	12	12	12
Количество лопастей, шт.	3	3	3	3	3	3	3
Диаметр ротора, м.	1,5	3,2	6,4	8	88	109,2	160
Цена, тыс. руб.	27	177	306	597	60000	90000	210000

Для расчёта себестоимости электроэнергии примем увеличение стоимости на 30% в связи с доставкой и таможенными пошлинами. Годовое обслуживание 10% от стоимости генератора.Цена аккумуляторов и инвертора примем равной стоимости генераторов для генераторов мощностью до 15 кВт.

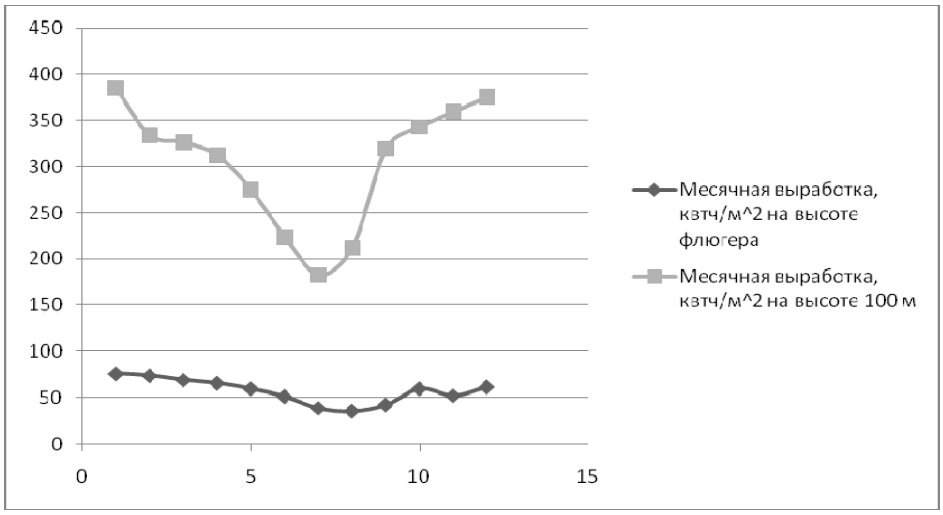


Рис. 1. помесячная выработка электроэнергии с. Александровское

Анализ распределения скоростей ветра и их продолжительности на разных высотах показал распределение мощностей ветрогенераторных установок с учётом их технических ограничений. При расчёте были учтены следующие особенности работы ветрогенераторов: величина скорости страгивания, максимальная скорость ветра до отключения установки, изменения вырабатываемой мощности при скоростях ветра выше номинальной.

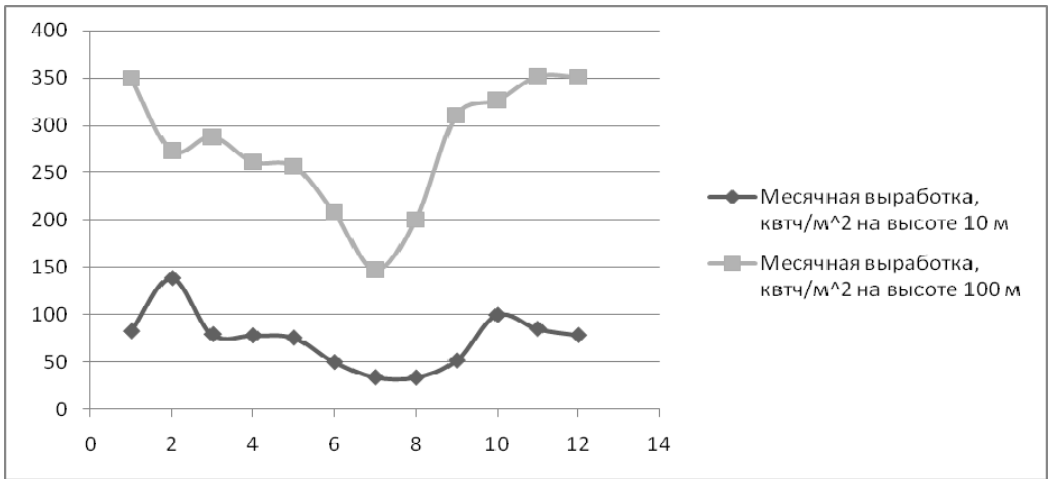


Рис. 2 - помесячная выработка электроэнергии п. Колпашево.

На основе анализа данных ветрогенераторов и скоростей ветра был произведён технико-экономический расчёт эффективности применения ветрогенераторов.

Таблица 2 – себестоимость электроэнергии.

	Александровское. Себестоимость руб./кВтч.	Колпашево. Себестоимость руб./кВтч
Ветрогенератор EuroWind-300L Цена и обслуживание за 15 лет 102600 рублей	5,7	5,7
Ветрогенератор EuroWind-2 Цена и обслуживание за 15 лет 504600 рублей	6,16	6,16
Ветрогенератор EuroWind-5 Цена и обслуживание за 15 лет 1468000 рублей	4,66	3,43
Ветрогенератор EuroWind-10 Цена и обслуживание за 15 лет 2865000 рублей	1,16	0,89
Ветрогенератор Vestas V90-2MW Цена и обслуживание за 15 лет 168000000 рублей	0,61	0,67
Ветрогенератор Vestas V112-3MW Цена и обслуживание за 15 лет 252000000 рублей	0,46	0,51
Ветрогенератор Vestas V164-7MW Цена и обслуживание за 15 лет 588000000 рублей	0,507	0,55

Вывод: использование ветрогенераторов уже на данный момент позволяет получить электроэнергию стоимость которой меньше стоимость электроэнергии получаемых от дизельных электростанций в 5-9 раз для ветрогенераторов малой мощности. Использование же ветрогенераторов большой мощности устанавливаемых на высотах в 100м позволяет получать электроэнергии стоимость которой на 20% ниже стоимость электроэнергии получаемой на уже имеющихся тепловыхэлектростанциях области.

Список литературы:

1. Лукутин Б.В. Кадастр возможностей – М.: Издательство научно технической литературы, 2002. – 275 с.
2. http://asupro.com/
3. http://www.vestas.com

Разработка модели статического синхронного компенсатора реактивной мощности для всережимного моделирования в реальном времени

А.С. Васильев
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия
vasilevas@tpu.ru

В работе обозначены требования к средствам моделирования электроэнергетических систем с активно-адаптивными электрическими сетями. Представлено математическое описание статического синхронного компенсатора реактивной мощности, обоснован выбор схемы для его моделирования и представлена схема замещения, определяющая допущения. Выбран метод моделирования, позволяющий избежать методической ошибки при моделировании.

С целью радикального повышения уровня управляемости электропередачи создаются интеллектуальные электроэнергетические системы (ИЭС) с активно-адаптивными электрическими сетями (ААЭС). Для создания эффективных алгоритмов управления ААЭС, а так же разработки нового и оценки правильности работы существующей РЗА требуются достоверные средства моделирования электроэнергетических систем с возможностью выдачи аналоговых и дискретных сигналов на внешние устройства. Основой для создаваемых ИЭС с ААЭС служат устройства FACTS – управляемые линии передачи переменного тока, к которым относятся: статические тиристорные компенсаторы (СТК), управляемые шунтирующие реакторы (УШР), фазоповоротные устройства (ФПУ), параллельные статические синхронные компенсаторы реактивной мощности (СТАТКОМ), управляемые продольные компенсаторы (УПК), объединенные регулятору потоков мощности (ОРПМ), вставки постоянного тока (ВПТ) и др.

Базовым устройством для ОРПМ, ВПТ и некоторых УПК является СТАТКОМ. Анализ схемотехнических решений последнего [1–5] показал, что основные их отличия обусловлены реализацией статического преобразователя напряжения (ПН). Наибольшее распространение получила трехуровневая мостовая схема ПН, однако основой для многоуровневых схем служат двухуровневые схемы преобразования [1]. В связи с этим для моделирования выбрана именно двухуровневая схема СТАТКОМ, схема замещения которого представлена на рисунке 1.

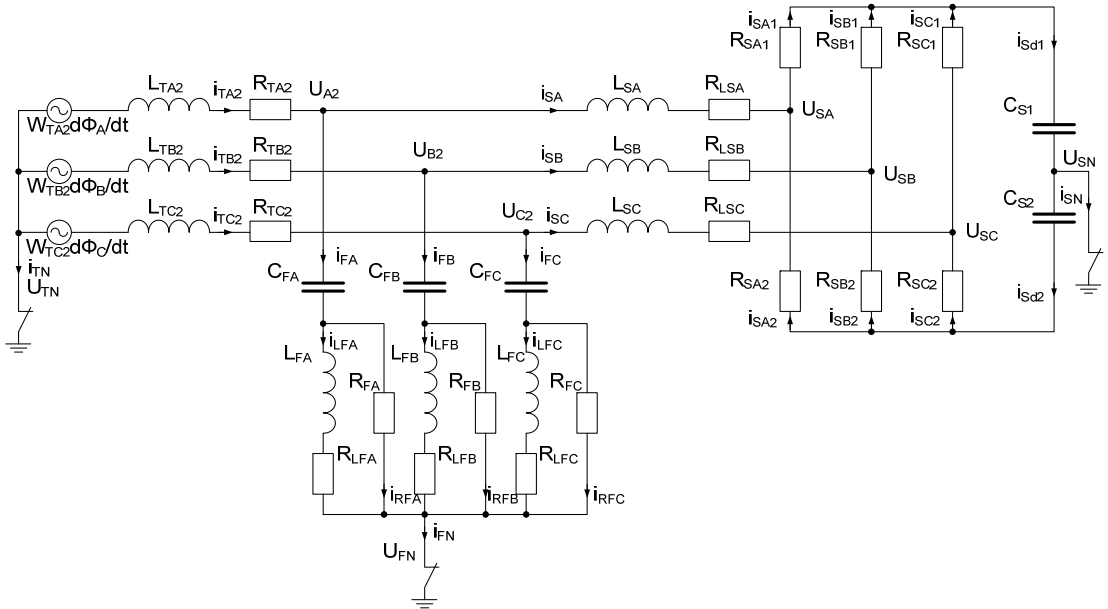


Рис. 1. Схема замещения СТАТКОМ с двухуровневой схемой ПН и фильтром нижних частот.

Где $L_{T\xi 2}$, $R_{T\xi 2}$ – индуктивность и активное сопротивление вторичной обмотки фазы $\xi = A, B, C$ трансформатора;

$L_{S\xi}$, $R_{LS\xi}$ – индуктивность и активное сопротивление токоограничивающего реактора;

$L_{F\xi}$, $R_{LF\xi}$ – индуктивность и активное сопротивление реактора фильтра нижних частот (ФНЧ);

C_{S1}, C_{S2} – емкости конденсаторных батарей (КБ) на стороне выпрямленного напряжения.

Силовые полупроводниковые ключи замещены активными сопротивлениями с изменяемой вольтамперной характеристикой (ВАХ), соответствующей ВАХ ключа в открытом и закрытом состояниях.

Учитывая допущения принятые в принципиальной схеме и обоснованный далее способ моделирования, уравнения принимают следующий вид.

Математическая модель реактора представлена следующими уравнениями.

$$\begin{cases} U_{LS\xi} = U_{\xi 2} - U_{SN} - U_{RLS\xi} - U_{S\xi 1} - U_{Sd1}; \\ i_{S\xi} = \dfrac{1}{L_{S\xi}} \int U_{LS\xi} dt; \\ U_{RLS\xi} = i_{S\xi} R_{LS\xi}. \end{cases}$$

$U_{RLS\xi}$, $U_{LS\xi}$ – составляющие напряжений токоограничивающих реакторов,

$U_{S\xi j}$ – напряжения на ПП ключах ПН, при j=2 ключ подключен к положительной клемме КБ, при j=1 – к отрицательной,

U_{Sdj} – напряжения на КБ.

Система уравнений, в соответствии с которой моделируются процессы в ПН

$$\begin{cases} i_{S\xi 1} = i_{S\xi} + i_{S\xi 2}; \\ U_{S\xi 1} = i_{S\xi 1} R_{S\xi 1}; \\ U_{S\xi 2} = -U_{Sd1} - U_{Sd2} - U_{S\xi 1}; \\ i_{S\xi 2} = \dfrac{U_{S\xi 2}}{R_{S\xi 2}}. \end{cases} \quad (1)$$

Согласно уравнению (1) в модели может быть реализован любой ключ с помощью его ВАХ.

Напряжения и токи конденсаторов определяются системой уравнений

$$\begin{cases} i_{Sdj} = i_{SAj} + i_{SBj} + i_{SCj}; \\ U_{Sdj} = \dfrac{1}{C_{Sj}} \int i_{Sdj} dt. \end{cases}$$

Система уравнений описывающая процессы в ФНЧ

$$\begin{cases} i_{F\xi} = i_{T\xi 2} - i_{S\xi}; \\ U_{CF\xi} = \dfrac{1}{C_{F\xi}} \int i_{F\xi} dt; \\ i_{RF\xi} = i_{F\xi} - i_{LF\xi}; \\ U_{RF\xi} = i_{RF\xi} R_{F\xi}; \\ U_{LF\xi} = U_{RF\xi} - U_{RLF\xi}; \\ i_{LF\xi} = \dfrac{1}{L_{F\xi}} \int U_{LF\xi} dt; \\ U_{RLF\xi} = i_{LF\xi} R_{LF\xi}; \\ U_{\xi 2} = U_{FN} + U_{CF\xi} + U_{RF\xi}. \end{cases}$$

В системе уравнений приняты следующие обозначения:

$U_{CF\xi}$ – напряжения на конденсаторах;

$U_{LF\xi}$, $U_{RLF\xi}$ – напряжения на индуктивностях и активных сопротивлениях реакторов ФНЧ;

$U_{RF\xi}$ – напряжения на активных сопротивлениях ФНЧ;

Уравнения, описывающие работу трансформатора, имеют следующий вид

$U_{1\xi} = U_{\xi 1}$;

$$\Phi_{\xi} = \frac{\int \left(U_{1\xi} - R_{T\xi 1} i_{T\xi 1} \right) dt - L_{T\xi 1} i_{T\xi 1}}{W_{T\xi 1}};$$

$$F_{T\xi} = \Phi_{\xi}^2 - \alpha\Phi_{\xi}\left(\Phi_{\xi} - F_{T\xi}\right); \quad (2)$$

$$U_{2\xi} = U_{\xi 2};$$

для схемы соединения Y, Y_0;

$$U_{2\xi} = \frac{U_{\xi 2} - U_{\xi+1\ 2}}{\sqrt{3}}$$

для схемы соединения Δ;

$$i_{T\xi 2} = \frac{-\int\left(U_{2\xi} + R_{T\xi 2} i_{T\xi 2}\right)dt + \Phi_{\xi} W_{T\xi 2}}{L_{T\xi 2}};$$

$$U_{3\xi} = U_{\xi 3},$$

для схемы соединения Y, Y_0;

$$U_{3\xi} = \frac{U_{\xi 3} - U_{\xi+1\ 3}}{\sqrt{3}},$$

для схемы соединения Δ;

$$i_{T\xi 3} = \frac{-\int\left(U_{3\xi} + R_{T\xi 3} i_{T\xi 3}\right)dt + \Phi_{\xi} W_{T\xi 3}}{L_{T\xi 3}};$$

$$i_{T\xi 1} = \frac{F_{T\xi} + W_{T\xi 2} i_{T\xi 2} + W_{T\xi 3} i_{T\xi 3}}{W_{T\xi 1}}.$$

В уравнениях приняты следующие обозначения:

$U_{i\xi}$ – напряжение на *i*-той обмотке фазы $\xi = A, B, C$;

Φ_{ξ} – суммарный поток обусловленные токами фазы ξ;

$W_{T\xi i}$ – число витком *i*-той обмотки соответствующей фазы ξ;

$R_{T\xi i}$ – сопротивление *i*-той обмотки фазы ξ;

$L_{T\xi i}$ – индуктивность *i*-той обмотки фазы ξ;

$i_{T\xi i}$ – ток в *i*-той обмотке фазы ξ;

$F_{T\xi}$ – намагничивающая сила электромагнитной системы фазы ξ.

Уравнение (2) служит для аппроксимации кривой намагничивания трансформатора.

В схеме СТАТКОМ обмотка высокого напряжения соединена в звезду, обмотка, подключенная к СТАТКОМ может быть соединена в звезду или треугольник. Третья обмотка, при ее наличии, чаще всего соединяется в треугольник и является компенсирующей.

Для исключеныя методической ошибки решение полученной системы дифференциальных уравнений осуществляется по методу непрерывного неявного интегрирования, с помощью цифро-аналоговых структур специализированного гибридного процессора [6]. Выбранный метод позволяет обеспечить всережимное моделирование в реальном времени процессов, протекающих в статическом синхронном компенсаторе и устройствах FACTS на его основе при всевозможных нормальных, аварийных и послеаварийных режимах работы.

Список литературы:

1. Шейко П.А., Балыбердин Л.Л., Мазуров М.И., Николаев А.В. СТАТКОМ как средство компенсации реактивной мощности в сетях высокого напряжения // Новое в российской энергетике. – 2003. – №5. – с. 39–43.
2. Ситников В.Ф., Рябчинский М.В. Схемы полупроводниковых преобразователей для систем электропередачи // Электрические станции. – 2007. – №4. – с. 40–44.
3. Кошелев К.С. Исследование и разработка средств защиты статического тиристорного компенсатора реактивной мощности с цифровой системой управления: Дисс. на соискание степени канд. техн. наук. – М.: МЭИ (ТУ), 2008. – 191 с.
4. Разработка бестрансформаторного STATCOM на 6,6 кВ на базе пятиуровнего инвертора с экспериментом на опитном образце 200 В/10 кВА. URL: http://www.matic.ru/doc/articles/article2.pdf. Дата обращения: 01.10.2011.
5. Mathur R.M., Varma R.K. Thyristor-Based FACTS Controllers for Electrical Transmission Systems. Piscataway // IEEE Press, 2002. – 518 pp.

6. Гусев А.С. Концепция и средства всережимного моделирования в реальном времени электроэнергетических систем: Дисс. на соискание степени докт. техн. наук. – Томск, 2008. – 317 с.

УДК 622.243

Стенд для исследования эффективности электроимпульсного разрушения горных пород

Д.В. Ганьков, Я.Д. Голощапов, В.Ф. Важов
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия.
E-mail: zurkov@hvd.tpu.ru

Стенд предназначен для исследования эффективности разрушения горных пород электроимпульсным способом перемещающейся электродной системой и при повышении температуры. Разработаны испытательные камеры и устройства как для вариации условий перемещения электродных систем, так и температур. Генератор высоковольтных импульсов и схемы измерения позволяют изменять и регистрировать рабочее напряжение, частоту следования импульсов, запасённую энергию.

В Томском политехническом университете был открыт и успешно разрабатывается новый способ управляемого разрушения твердых не проводящих и полупроводящих материалов с помощью импульсных электрических разрядов внутри твердого тела (электроимпульсный способ). Исследованы закономерности импульсного пробоя твердых тел, которые позволили установить условия превышения электрической прочности жидких диэлектриков над прочностью твердых диэлектриков [1,2]. Установлено, что с сокращением времени приложения импульсного напряжения электрическая прочность жидких диэлектриков растет быстрее, чем прочность твердых диэлектриков и при временах порядка 10^{-6} сек и менее оказывается выше прочности твердых диэлектриков [1,2]. Импульсная электрическая прочность диэлектрической среды характеризуется ее вольт-секундной характеристикой. Взаимное расположение вольт-секундных характеристик твердого и жидкого диэлектриков схематично представлено на рис.1.

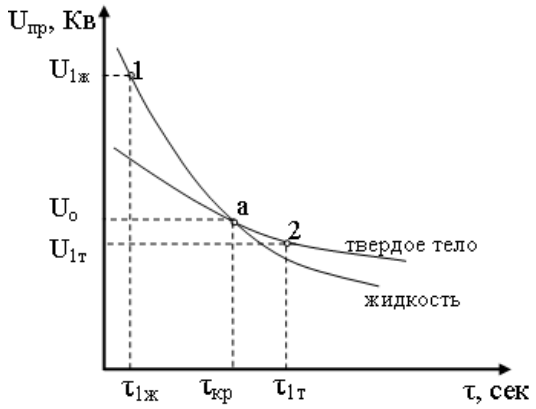


Рис. 1. Зависимость пробивного напряжения твердых тел и жидкостей от времени приложения напряжения (Вольт-секундная характеристика)

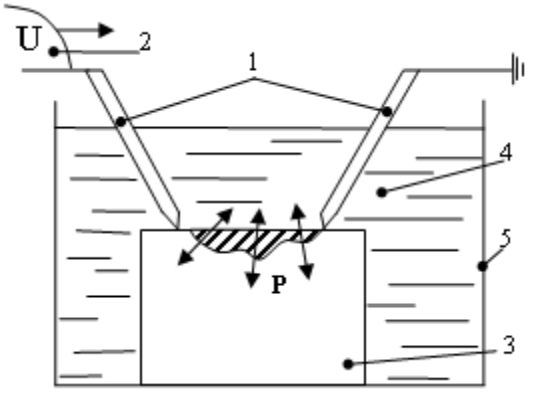


Рис. 2. Схема электроимпульсного пробоя и разрушения твердых тел. 1-электроды, 2-импульс напряжения, 3-твердый диэлектрик, 4-жидкость, 5-бак.

Из этого рисунка видно, что вольт-секундные характеристики твердых и жидких диэлектриков пересекаются в некоторой точки «а», соответствующей критической крутизне импульса $A_{кр}=U_0/\tau_{кр}$. В области левее точки «а» электрическая прочность жидкого диэлектрика выше прочности твердого диэлектрика (точка 1), а правее - выше прочность твёрдого диэлектрика (точка 2) [1,2]. Таким образом, если поместить твердое непроводящее тело в жидкую среду (трансформаторное масло, глицерин, вода и т.д.) и расположить на нем электроды, как показано на рис 2, то при воздействии импульсов с крутизной выше критической, (рис 1) разряды будут происходить не по поверхности тела в жидкой среде, а в толще тела и при достаточной энергии в импульсе будут разрушать его. Разрушение происходит вследствие высоких импульсных давлений P, возникающих в канале разряда при импульсном электрическом пробое [1]. На этом принципе могут быть основаны такие процессы управляемого разрушения твердых тел, как бурение скважин

сплошным и кольцевым забоем, дробление и измельчение горных пород, резание и обработка камня, очистка литья от пригаров формовочной земли и другие производственные процессы, технология которых связана с разрушением твердых тел. При разряде внутри твердого тела до 50-75 % энергии источника выделяется непосредственно в канале разряда в твердом теле и, таким образом, значительно уменьшаются потери энергии в промежуточных звеньях преобразования электрической энергии в энергию разрушения, имеющее место в других способах разрушения горных пород. Кроме этого известно [3], что предел прочности горных пород при сжатии в 15-25 раз выше, чем при растяжении. Разрушение горных пород существующими механическими способами происходит за счет усилий сжатия, тогда как при внедрении импульсного электрического разряда внутрь породы основными разрушающими усилиями являются усилия растяжения. Эти обстоятельства указывают, что в самом принципе электроимпульсного разрушения горных пород имеются преимущества перед существующими способами. Целью данной работы является разработка и изготовление высоковольтного испытательного стенда, который предназначен для исследования эффективности разрушения горных пород электроимпульсным способом перемещающейся электродной системой и при повышенных температурах. Генератор высоковольтных импульсов (ГИН) позволяет регулировать рабочее напряжение, частоту следования импульсов, запасаемую энергию. Поскольку ГИН с зарядкой через индуктивность обеспечивает весьма малые значения зарядных сопротивлений, он предпочтительней для получения часто следующих импульсов [4]. Для опытов с энергией в импульсе не более 100 Дж использован низкоимпедансный малогабаритный ГИН, фотография которого приведена на рис. 3.

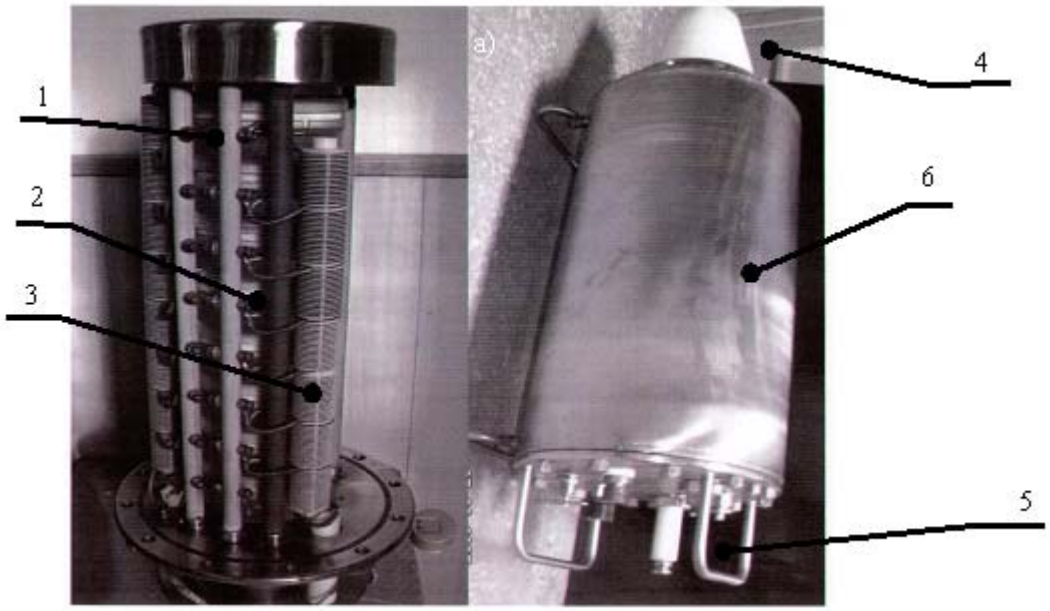


Рис. 3 Генератор импульсных напряжений
а) 1- зарядная индуктивность, 2- искровой разрядник, 3- конденсатор, б) 4- высоковольтный изолятор, 5- высоковольтный ввод, 6- корпус.

ГИН напряжением 240 кВ собран на керамических конденсаторах марки К-15-10(40 кВ, 0,01 мкФ) (3), размещённых вместе с катушками индуктивности (1) и разрядниками (2) в герметичном цилиндрическом металлическом корпусе (6), заполненном азотом под давлением 5-6 атм. На нижнем фланце корпуса расположены разъёмы для присоединения кабелей от зарядного устройства 30 кВ (5) и генератора поджигающих импульсов, шланга от баллона с азотом и манометр для контроля давления внутри корпуса. В верхней части генератора расположен высоковольтный ввод из полиэтилена (4). Корпус ГИН экранирует электромагнитное излучение, что в значительной степени улучшает электромагнитную обстановку и приближает её к требованиям по электромагнитной совместимости.

Разработаны испытательные камеры и устройства для вариации условий перемещения как электродных систем, так и температур. На рисунке 4 представлена фотография испытательной камеры с перемещающейся электродной системой. Привод электродной системы состоит из

асинхронного двигателя (1) соединенного через диэлектрическую муфту с червячным редуктором (2), ремённой передачи и вала (3), к которому крепится электродная система (4). Вал закреплён на каркасе (5), в котором находится образец. Каркас лебёдкой опускается в полиэтиленовый бак с водой, установленный на изоляторах [5].

Рис. 4 Испытательный стенд для резания горных пород и искусственных материалов. 1- двигатель, 2- редуктор, 3- вал, 4- электродная система, 5- каркас, 6- ГИН, 7- высоковольтный делитель напряжения.

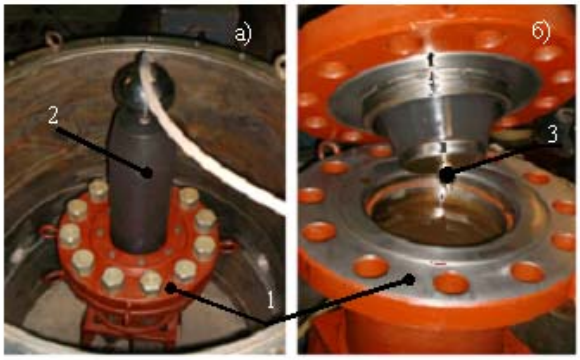


Рис. 5 Камера для проведения экспериментов с изменением температуры. 1- камера, 2- ввод, 3- высоковольтный электрод

На рис.5 представлено устройство для испытания твердых диэлектрических образцов и горных пород при повышенной температуре. Камера (1) изготовлена из легированной стали и выполнена в виде цилиндра с толщиной стенки 40 мм, объем камеры 6,2 литра. Высоковольтный ввод камеры (2) сплошного исполнения сделан из лексана. Для нагревания образцов предусмотрена резистивный нагреватель рис. 6, который монтируется внутри камеры (4), а питание осуществляется от накального автотрансформатора через ввод (5). Температура замеряется с помощью термопары (3). Для этого в дне камеры предусмотрено специальное отверстие.

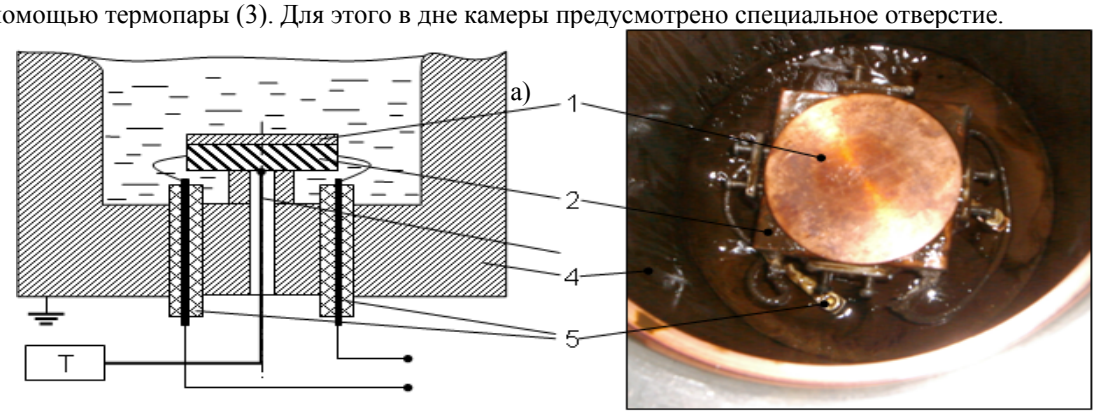


Рис. 6 Схематическое изображение а) и фотография б) нагревателя для подогрева испытуемых образов и жидкости
1 – заземленный электрод, 2 – нагреватель, 3 – термодатчик,
4 – испытательная камера, 5 – вводы из лексана для питания нагревателя

Измерения параметров напряжения и тока при пробое осуществляется молоиндуктивным омическим делителем высокого напряжения и шунтом при помощи осциллографа Tektronics. В качестве образцов для испытания будут использованы гранит, песчаник, бетон и другие материалы.

Список температуры:

1. Семкин Б. В., Усов А. Ф., Курец В. И. Основы электроимпульсного разрушения материалов. – СПб.: Наука, 1993. – 276 с.
2. Семкин Б. В. Электрический взрыв в конденсированных средах. – Томск: Изд-во ТПИ, 1979. – 88с.

3. Эпштейн Е. Ф., Арш Э.И., Виторт Г.К. Новые методы разрушения горных пород - Москва.: Гостоптехиздат, 1960. – 87с.
4. Воробьев Г.А. О работе схемы генератора Аркадьева-Маркса с высокой скважностью // Атомная энергия, 1964 , Т.16, вып 2. – С. 139 – 141.
5. Важов В.Ф., Журков М.Ю. Бурение горных пород электрическими импульсными разрядами подвижной электродной системой // Труды VIII Всероссийской научно-технической конференции «Энергетика: экология, надёжность, безопасность» – Томск: Изд-во ТПУ, 2002, Т. 2. – С. 65 – 68.

Вероятностное эквивалентирование узлов ранга два при расчетах структурной надежности энергосистем с отказами элементов типа «обрыв»

С.А. Гусев, О.М. Котов, И.Л. Кирпикова, В.П. Обоскалов
Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия

Актуальность методологических, методических и расчетных проблем надежности электроэнергетических систем (ЭЭС) в современных условиях определяется, прежде всего, постоянным развитием ЭЭС и изменением условий их функционирования. Несмотря на бурное развитие теории надежности ЭЭС во второй половине XX века, расчеты, связанные с надежностью электро- и энергоснабжения потребителей, еще не находят должного применения в проектной и эксплуатационной практике. Частично это объясняется несовершенством существующих расчетных процедур, вызванным чрезвычайно большим многообразием анализируемых аварийных ситуаций в ЭЭС, большой неопределённостью исходных данных и, безусловно, отсутствием простых по интерфейсу программ, в полной мере учитывающих свойства надежности ЭЭС.

При расчете показателей структурной надежности (СН) считается, что отказа электроснабжения узла нагрузки нет, если существует хотя бы один путь, связывающий данный узел с источником питания. Здесь принимается допущение о бесконечной пропускной способности связей и игнорируются ограничения режимных параметров. Основным математическим аппаратом при анализе СН ЭЭС является общая теория надежности технических систем. В настоящее время упомянутый раздел теории надежности ЭЭС можно считать в большей части изученным. Работы кафедры Автоматизированных электрических систем УрФУ (УПИ) в области анализа СН ЭЭС связаны с применением вероятностного эквивалентирования, основным преимуществом которого является скорость вычислений при несущественной погрешности результирующих показателей. Логическим завершением проведенных в данном направлений теоретических исследований являются диссертационные работы А.С.Дулесова и О.М.Котова. На базе алгоритмов вероятностного эквивалентирования разработан и успешно функционирует программно-вычислительный комплекс (ПК) «Струна». В то же время опыт эксплуатации ПК показал, что некоторые расчетные процедуры требуют дополнительного теоретического анализа. В первую очередь это касается процедур исключения-восстановления узлов ранга два.

Процедура исключения узлов ранга два следует за полным исключением узлов ранга один. В результате предварительно будут исключены все радиальные связи. Дальнейшее исключение узлов ранга два связано с выполнением последовательно-параллельных преобразований, поскольку ранг два указывает на последовательное соединение двух смежных ребер графа. Третьим элементом последовательного соединения является рассматриваемый узел (вершина расчетного графа), который также характеризуется некоторыми показателями надежности.

Пусть узел *i* ранга два связан с узлом *j* через ветвь *i-j* и с узлом *k* через ветвь *i-k*. При исключении узла *i* структура *j-i-k* заменяется на эквивалентную ветвь *w*. Основными расчетными величинами в задачах СН являются интенсивности отказа λ и восстановления μ, на основе которых определяются относительная длительность восстановления $\gamma=\lambda/\mu$, коэффициенты стационарной готовности $K_{\text{н}}=\gamma/(1+\gamma)$ и неготовности $K_{\text{г}}=1/(1+\gamma)$, которые, как правило, идентифицируются с вероятностями отказа (q) и безотказной работы ($p=1-q$) элемента.

При эквивалентировании последовательной цепи (ПЦ) элементов, как правило, и в ПК «Струна» принимается допущение о невозможности одновременного отказа двух или более элементов ПЦ, что соответствует реальной ПЦ из линии электропередачи и выключателей, предназначенных для ее отключения. В результате базовыми соотношениями эквивалентирования ПЦ являются $\lambda_e = \Sigma\lambda_i$ и $\gamma_e = \Sigma\gamma_i$. В то же время в сложнозамкнутой электрической сети в узел

соединения двух последовательных связей, если он является узлом нагрузки, возможна передача электрической энергии со стороны обоих смежных узлов. Отсюда не исключается возможность работы одной связи при отказе и последующем отключении другой инцидентной связи, а следовательно, и одновременного отказа последовательных связей. Здесь базовыми соотношениями становятся $\lambda_э = \Sigma\lambda_i$ и $K_{гэ} = \Pi K_{гi}$. Как показали проверочные расчеты, результирующие показатели надежности (ПН) по двум представленным моделям могут отличаться более чем на 10%. В результате в процессе эквивалентирования ПЦ требуется алгоритмическая проверка на возможность одновременного отказа элементов ПЦ.

Определение результирующих ПН узла i ранга два, связанного с узлами *j, k* , в процессе восстановления расчетной схемы, в самом общем виде представляет довольно сложную процедуру. Для точного определения показателей надежности требуется знание не только показателей надежности узлов *j, k* порознь, но и их совместных вероятностных характеристик, определение которых зачастую чрезвычайно сложно. Поэтому здесь уместно применение оценочных моделей. Сущность приближенного моделирования заключается в том, что расчетная схема на каждом шаге восстановления узла заменяется эквивалентной, удовлетворяющей некоторой совокупности критериев равенства вероятностных показателей. Одной из моделей эквивалентирования сложнозамкнутой электрической сети относительно анализируемого узла *i* является эквивалентная расчетная схема (ромб с диагональю или без), где смежные узлы *j, k* связаны с источником питания (ИП) эквивалентными связями *x, y*, ПН которых определяются из условия равенства ПН узлов *j, k* в расчетной схеме результирующим ПН этих узлов.

Рассмотрим эквивалентирование схемы, целью которого является оценка результирующих показателей надежности восстанавливаемого узла *i* ранга два. Здесь следует выделить три вида электроснабжения узла:

- электроснабжение рассматриваемого узла осуществляется как со стороны смежного узла *j*, так и со стороны другого смежного узла *k* (общий случай). Между узлами *j, k* нет непосредственной связи;
- общий случай, при наличии непосредственной связи между узлами *j, k*;
- электроснабжение рассматриваемого и одного из смежных узлов возможно только со стороны другого смежного узла.

Представление части реальной электрической схемы в виде ветвей *x* и *y* позволяет упростить схему на этапе восстановления узлов второго ранга, то есть привести ее к удобному для расчета ПН последовательно-параллельному виду. На основе критерия равенства полученных ранее показателей надежности узлов *j* и *k* показателям, определённых для этих же узлов с учетом ветвей *x* и *y* по эквивалентной схеме, можно составить систему логических уравнений. Пусть *w* – эквивалентная ветвь, состоящая из последовательно соединенных ветвей *i-j*, *i-k* и узла *i*, отказ которых идентифицируется событиями соответственно A_{ij}, A_{ik}, A_{ii}. Отказ рассматриваемой последовательно структуры (событие A_w) моделируется структурным уравнением:

$$A_w = A_{ii} + A_{ij} + A_{ik} ,$$

тогда отказ узлов *j, k*

$$A_j = A_{jj} + A_x \cdot (A_y + A_{kk} + A_w); \qquad A_k = A_{kk} + A_y \cdot (A_x + A_{jj} + A_w), \tag{1}$$

Данным логическим формулам соответствуют системы алгебраических уравнений, из которых определяются ПН ветвей *x* и *y*. В частности, для вероятности отказа узла *j* условие эквивалентности (при возможности одновременных отказов элементов ПС) будет иметь вид:

$$Q_j = q_{jj} + p_{jj} q_x (q_{kw} + p_{kw} q_y)$$

или

$$\left(Q_j - q_{jj}\right) / \, p_{kwj} = q_x (\gamma_{kw} + q_y)$$

где q_{kw}, q_{kwj} – вероятности отказа цепи из последовательно соединенных элементов – узла *k,* связи *w* и (для q_{kwj}) узла *j*. Прописными буквами обозначены результирующие вероятности отказа узлов. Аналогичные соотношения записываются для узла *k*. В результате для определения q_x, q_y может быть записана следующая система двух нелинейных уравнений

$$aq_x + q_x q_y = A; \quad bq_y + q_x q_y = B,$$

где полученные на базе уже известных результирующих узловых вероятностей величины

$$A = (Q_j - q_{jj}) / \, p_{kwj}; \; B = (Q_k - q_{kk}) / \, p_{kwj};$$

коэффициенты при искомых переменных

$$a = \gamma_{kw} = q_{kw} / p_{kw}; \quad b = \gamma_{jw} = q_{jw} / p_{jw};$$

В результате аналитических преобразований определяется квадратное уравнение

$$(a/b)q_x^2 + q_x[a + (B - A)/b] - A = 0, \tag{2}$$

решение которого не представляет особого труда. Стоит обратить внимание на то, что при Q_j=Q_k разность A-B равна нулю, коэффициенты a и b равны, вероятности отказов эквивалентных ветвей x, y одинаковы, что и следовало ожидать.

Теоретически квадратное уравнение может иметь отрицательные корни, что не соответствует вероятностной сущности, или не иметь решения вообще. В последнем случае произойдет аварийный останов ПК. ***Существование решения*** квадратного уравнения определяется неотрицательностью дискриминанта. Свободный член $A = (Q_j - q_{jj})/p_{kwj} \geq 0$, поскольку, q_{jj} в качестве положительного слагаемого входит в состав Q_j, Коэффициент при квадратном члене в (2) также неотрицателен, поскольку $a = \gamma_{kw} \geq 0; \; b = \gamma_{jw} \geq 0$. Отсюда $Aa/b \geq 0$, а дискриминант $D = [a + (B - A)/b]^2 + 4Aa/b \geq 0$. В результате уравнение (2) для определения вероятности эквивалентных ветвей должно всегда иметь решение и отсутствие решения свидетельствует либо об ошибке программной реализации, либо о неадекватности исходных данных. Аналогичное заключение можно сделать относительно отрицательных решений. Их также не должно быть, поскольку корень из дискриминанта не меньше коэффициента $a + (B - A)/b$ при линейной части. Отсутствие приемлемой по критерию вероятности пары решения, как правило, свидетельствует об ошибке при определении на предыдущих этапах результирующих параметров, Q, Q_k.

Нетрудно показать, что система алгебраических уравнений, основанная на равенстве расчетных и действительных величин ***относительных длительностей отказа*** так же не линейна. При этом существование ее решений может быть следствием существования q_x, q_y, поскольку $\gamma_x = q_x / p_x$, $\gamma_y = q_y / p_y$.

Интенсивности отказов эквивалентных ветвей x, y определяются после расчетов q_x, q_y. Эквивалентная интенсивность отказа параллельного соединения двух элементов a и b определяется исходя из основополагающего соотношения – интенсивность восстановления параллельного соединения элементов равна сумме интенсивностей восстановления составных элементов:

$$\lambda_э p_э = \lambda_a p_a q_b + \lambda_b p_b q_a. \tag{3}$$

Система уравнений, соответствующая логическим формулам и выражению (3) для узла j имеет вид:

$$\lambda_x / \gamma_x + \lambda_y / \gamma_{ykw} = A = L_j^* / \gamma_j^* - (\lambda_{kk} + \lambda_w) / \gamma_{ykw}. \tag{4}$$

По аналогии с (4) записывается второе уравнение

$$\lambda_y / \gamma_y + \lambda_x / \gamma_{xjw} = B = L_k^* / \gamma_k^* - (\lambda_{jj} + \lambda_w) / \gamma_{xjw}. \tag{5}$$

Полученные выражения легко воспринимаются как представление интенсивности восстановления параллельного соединения (сумма интенсивностей восстановления).

В результате решения системы линейных уравнений (4), (5) получаем:

$$\lambda_x = \frac{A\gamma_{ykw} - B\gamma_y}{\gamma_{ykw}/\gamma_x - \gamma_y/\gamma_{xjw}}; \qquad \lambda_y = \frac{B\gamma_{xjw} - A\gamma_x}{\gamma_{xjw}/\gamma_y - \gamma_x/\gamma_{ykw}}. \tag{6}$$

Система уравнений (4, 5) не имеет решения, если $\gamma_{ykw}\gamma_{xjw} = \gamma_y\gamma_x$. Это возможно лишь в том случае, когда

$$(\gamma_y + \gamma_{kw})(\gamma_x + \gamma_{jw}) = \gamma_x\gamma_y + \gamma_y\gamma_{jw} + \gamma_x\gamma_{kw} + \gamma_{kw}\gamma_{jw} = \gamma_x\gamma_y$$

или $\gamma_y\gamma_{jw} + \gamma_x\gamma_{kw} + \gamma_{kw}\gamma_{jw} = 0$, то есть $\gamma_{jj} = \gamma_w = \gamma_{kk} = 0$, что имеет место лишь в том случае, когда связь w является абсолютно надежной. Но если это так, то при эквивалентировании узлы j, i, k замыкаются и в процессе восстановления узлов их ПН принимаются одинаковыми. В

результате система уравнений (4, 5) всегда имеет решения. Однако при этом возможны отрицательные значения интенсивностей отказов, но, как показывает практика расчетов в дальнейшем отрицательные значения компенсируются положительными, и в конечном итоге результаты вероятностного эквивалентирования имеют достаточно высокую точность.

Таким образом, метод вероятностного эквивалентирования обеспечивает устойчивое решение, а отсутствие решения объясняется неадекватностью исходных данных.

УДК 631.3-1/-9

Широкополосный преобразователь частоты для управления однофазными асинхронными электродвигателями

С.Ю. Еремочкин

Алтайский государственный технический им. И.И.Ползунова, г. Барнаул, Россия

E-mail: Vens-1@yandex.ru

В статье рассмотрен преобразователь частоты, ведомый однофазной сетью переменного тока для питания однофазного асинхронного двигателя при помощи векторно-алгоритмической коммутации статорных обмоток.

Однофазные асинхронные электродвигатели мощностью от десятков ватт до нескольких киловатт нашли достаточно широкое применение в различного рода бытовых приборах, в сельскохозяйственных электрифицированных машинах, электрооборудовании туристическо-рекреационных комплексов, а также в приводах вентиляторов бытового и производственного назначения, насосов, компрессоров, транспортеров, а также небольших станков. Их преимущество — возможность использования в таких местах и помещениях, где нет трехфазной источника электроэнергии, но подведена однофазная сеть [1].

Зачастую для электроприводов вышеуказанного электрооборудования требуется обеспечить регулировку скорости. Использование известных частотных преобразователей с явно выраженным звеном постоянного тока в ряде случаев экономически не целесообразно по причине высокой стоимости. Предлагаемый преобразователь частоты имеет более низкую стоимость и повышенную надежность [2].

С помощью преобразователя частоты, ведомого однофазной сетью переменного тока для питания однофазного асинхронного двигателя (рис. 1) [3], возможно осуществить векторно-алгоритмическое управление однофазным асинхронным электродвигателем, создавая несколько типов вращающихся полей статора: прохождением четырех последовательных фиксированных положений вектора магнитного потока кругового вращающегося поля при одновременном включении одной обмотки статора двигателя (рис. 2а), четырех последовательных фиксированных положений вектора магнитного потока кругового вращающегося поля при одновременном включении двух обмоток статора двигателя (рис. 2б), и восьми (рис. 2в) последовательных фиксированных положений вектора магнитного потока кругового вращающегося поля статора двигателя.

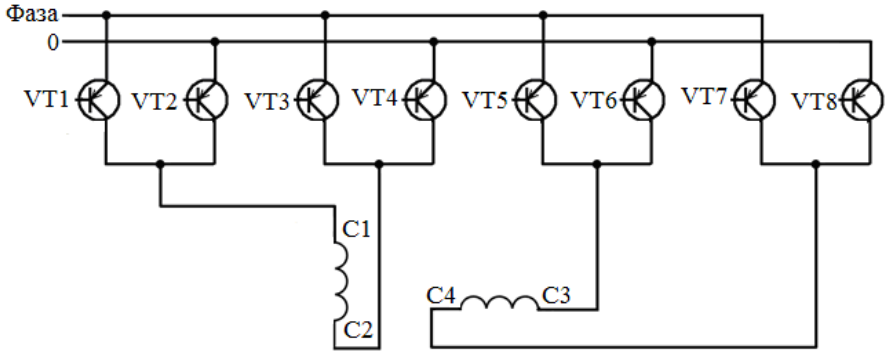
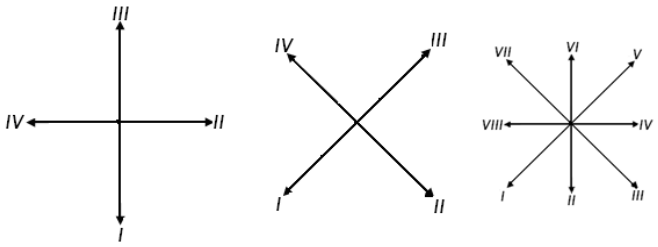


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема преобразователя частоты, ведомого однофазной сетью переменного тока для питания однофазного асинхронного двигателя

Где: - Ф – фаза; - 0 – ноль; - *C1-C4* – выводы статорных обмоток однофазного асинхронного электродвигателя; - *VT1-VT8* – биполярные транзисторы, работающие в ключевом режиме.



а) б) в)

Рис. 2. Фиксированные положения вектора магнитного потока кругового вращающегося поля статора двигателя

Работу преобразователя частоты, ведомого однофазной сетью переменного тока для питания однофазного асинхронного двигателя, рассмотрим на примере обеспечения вращения вектора магнитного потока кругового вращающегося поля статора однофазного асинхронного двигателя в соответствии с векторной диаграммой, показанной на рис. 2а. Алгоритм работы следующий. Необходимо подавать управляющие импульсы на базы транзисторов, работающих в ключевом режиме, в следующем порядке. В положительный полупериод питающего напряжения *Ucemu* подаются управляющие импульсы на базы транзисторов *VT1, VT4* – образуется I фиксированное положение вектора магнитного потока поля статора. В отрицательный полупериод питающего напряжения подаются управляющие импульсы на базы транзисторов *VT6, VT7* – образуется II фиксированное положение вектора магнитного потока поля статора. В следующий положительный полупериод питающего напряжения подаются управляющие импульсы на базы транзисторов *VT3, VT2* – образуется III фиксированное положение вектора магнитного потока поля статора. В следующий отрицательный полупериод питающего напряжения подаются управляющие импульсы на базы транзисторов *VT8, VT5* – образуется IV фиксированное положение вектора магнитного потока поля статора. На рис. 3 представлены осциллограммы напряжений на статорных обмотках электродвигателя и на рис. 4 показаны направления токов протекающих в обмотках при рассматриваемом алгоритме работы.

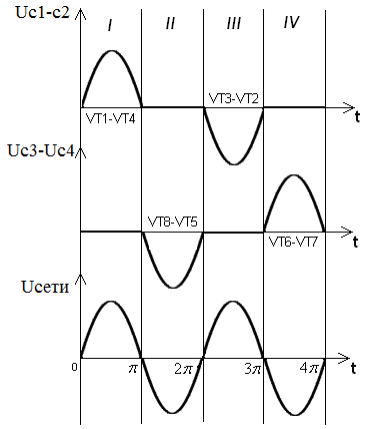


Рис. 3. Осциллограммы напряжений на статорных обмотках электродвигателя

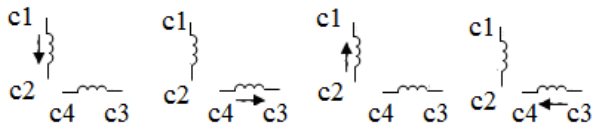


Рис. 4. Направления токов протекающих в статорных обмотках электродвигателя

При вышеописанных последовательностях включения транзисторов, данный преобразователь частоты, ведомого однофазной сетью переменного тока для питания однофазного асинхронного двигателя, позволяет работать двигателю на частоте $\frac{f_{сети}}{2}$.

Регулируя момент подачи управляющего сигнала на базу транзисторов можно осуществлять работу электродвигателя на номинальной или при повышенной частоте питающего напряжения, поступающего на статорные обмотки, а, следовательно, можно обеспечить регулирование скорости электродвигателя. Изменяя момент включения транзисторов, возможно обеспечить вращение вектора магнитного потока кругового вращающегося поля статора однофазного асинхронного двигателя в соответствии с векторными диаграммами, показанными на рис. 2.

Таким образом, преобразователь частоты, ведомый однофазной сетью переменного тока для питания однофазного асинхронного двигателя имеет преимущества по сравнению с известными из-за более высоких показателях надёжности и экономичности.

Список литературы:

1. 1 Копылов И.П. Электрические машины. Учебник для вузов/ И.П. Копылов. – М.: Высшая

школа, 2006. - С.343
2. 2 Khalina T.M., Stalnaya M.I., Eremochkin S.Y. THE RATIONAL USE OF THE THREE PHASE ASYNCHRONOUS SHORT CIRCUITED ELECTRIC MOTORS IN A SINGLE PHASE NETWORK. // ICTPE-2011 Number 22 Code 02EPE10. - 2011. - Pages 105-107.
3. 3 Решение о выдаче патента на полезную модель МПК H02P 27/04 (2006.01), МПК H02P 27/18 (2006.01), МПК H02M 5/275 (2006.01), МПК H02M 5/297 (2006.01). Преобразователь частоты, ведомый однофазной сетью переменного тока для питания однофазного асинхронного двигателя / М.И. Стальная, С.Ю. Еремочкин, Т.А. Халтобина, Д.С. Халтобин; Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. – № 2011120731/07(030633); заявл. 23.05.2011.

УДК 621.311.1

Анализ работы в режимах короткого замыкания выключателей в сетях 110–220 кВ Магнитогорского энергетического узла

Р.Б. Жумабаева, А.В. Малафеев, О.В. Газизова, Е.А. Панова
Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова,
г. Магнитогорск, Россия
E-mail: malapheev_av@mail.ru

В работе сформулирована задача анализа режимов работы коммутационного оборудования при реконструкции сетей напряжением 110-220 кВ предприятий с собственными электростанциями. Предложена методика, позволяющая рассчитать значения вынужденных, свободных и полных токов на основе расчета переходного процесса в системе электроснабжения. На примере крупного металлургического предприятия – ОАО «ММК» – осуществлен анализ условий работы выключателей РУ-110 кВ центральной электростанции.

Черная металлургия является одной из наиболее динамично развивающихся отраслей отечественной экономики. Сооружение новых, реконструкция существующих цехов в сочетании с переходом на технологии электрометаллургии вызывает существенный рост электрической нагрузки. Так, нагрузка Магнитогорского энергетического узла (МЭУ), основным потребителем которого является ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», за последние пять лет возросла примерно в 1,5 раза. Это сопровождается развитием распределительных сетей, наивысший класс напряжения которых достигает на подобных предприятиях 220 кВ, а также ростом установленной мощности собственных электростанций, покрывающих значительную часть нагрузки предприятия. Это обусловливает рост токов короткого замыкания (КЗ) в первую очередь в сетях 110-220 кВ, связывающих собственные электростанции с энергосистемой.

Одна из важнейших задач, с которой при этом приходится сталкиваться, – проверка существующих выключателей по коммутационной способности, термической и электродинамической стойкости к сквозным токам короткого замыкания при различных оперативных состояниях схемы. В связи с тем, что сети 110-220 кВ работают с эффективно заземленной нейтралью, необходима проверка как по условиям трехфазного КЗ, так и однофазного КЗ. Преимущественное использование элегазовых (реже – вакуумных) выключателей с малыми собственными и полными временами отключения приводит к необходимости проверки отключения асимметричного тока. Неоднородность сети, в частности, использование кабельных вставок 35–220 кВ, приводит к невозможности использования усредненных постоянных времени [1] для расчета апериодического тока КЗ, а следовательно, ударного тока и полного тока КЗ в момент размыкания. Т.о., основные требования к программному обеспечению, используемому для этой цели, – возможность расчета периодической, апериодической составляющих и полного тока КЗ любого вида с учетом влияния собственных электростанций.

На кафедре электроснабжения промышленных предприятий МГТУ им. Г.И. Носова разрабатывается и поэтапно внедряется на ОАО «ММК» программный комплекс (ПК) КАТРАН, предусматривающий расчет мгновенных значений периодических и апериодических составляющих токов и напряжений при коротких замыканиях любых видов и отображение результатов в графической и табличной форме. Алгоритм расчета основан на сочетании модифицированного метода последовательного эквивалентирования для расчета установившихся режимов [2] и метода последовательных интервалов для решения уравнений электромеханического переходного процесса [3]. Постоянная времени апериодической слагающей определяется по значениям активной и реактивной составляющей периодического тока для

каждой точки сети. Амплитудные значения периодических слагающих определяются по результатам расчета электромеханического переходного процесса. Результаты расчета позволяют выполнить полную проверку электрических аппаратов и токоведущих частей.

Исследования проводились в условиях МЭУ (рис. 1). Узел имеет сложнозамкнутую распределительную сеть с двумя независимыми контурами напряжением 110-220 кВ, что обусловливает большое количество линий с двусторонним питанием. Наличие кабельных вставок в узле ЦЭС – подстанция №30 (ПС-30) и в узле ПС-77 приводит к значительной неоднородности сети. Суммарная установленная мощность генерирующих источников составляет более 650 МВт при разбросе мощностей отдельных станций от 4 МВт до 330 МВт. Кабельные вставки имеются на линиях связи ПС-30 с ПС-96, ПС-60, ПС-87, ЦЭС и на ряде тупиковых линий.

В разработанном ПК для первого изменения схемы в случае трехфазного короткого замыкания определяются следующие величины.

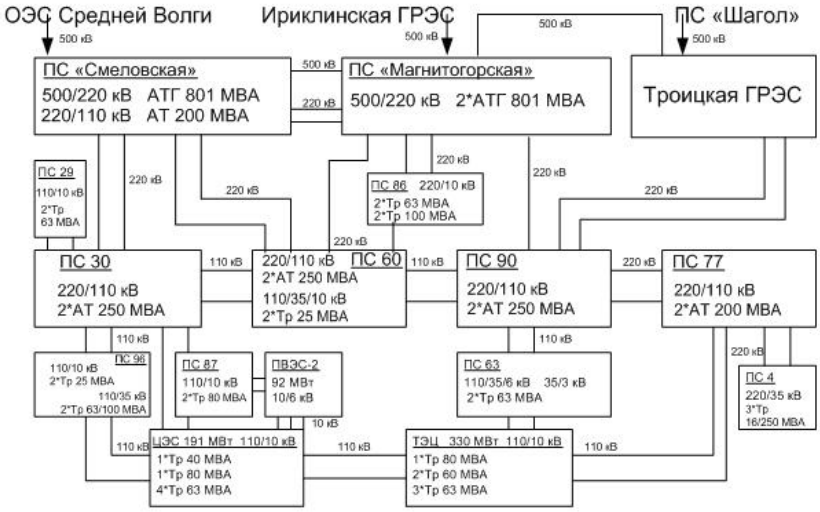


Рис. 1. Упрощенная схема Магнитогорского энергетического узла

Мгновенное значение периодической слагающей тока на ***n***-м интервале: $i_{t(n)} = \sqrt{2} I_{(n)} \sin\left(\omega n \Delta t + \alpha + \varphi_{\text{кз}} - \varphi_{U0,1}\right)$, где $\varphi_{U0,1} = \angle\left(\dot{U}_{(1)}, \dot{U}_{(0)}\right)$ – угол между векторами напряжения до короткого замыкания и в первый момент короткого замыкания; α – фаза тока в момент короткого замыкания. В ПК предусмотрено явное задание этой величины с целью выявления наихудших условий. Далее определяется начальное значение апериодической слагающей $i_{a0} = \sqrt{2}\dot{I}_{(0)} \sin\left(\alpha + \varphi_0\right) - \sqrt{2}\dot{I}_{(1)} \sin\left(\alpha + \varphi_1\right)$, где $\varphi_0 = \angle\left(\dot{U}_{(1)}, \dot{I}_{(0)}\right)$, $\varphi_1 = \varphi_{\text{кз}}$, а также ее постоянная времени $T_a = {\left|\text{Im}\,\dot{\text{i}}_{(1)}\right|}\Big/{\omega\left|\text{Re}\,\dot{\text{i}}_{(1)}\right|}$. Апериодическая слагающая на интервале *(n)* рассчитывается как $i_{at(n)} = i_{a0} e^{-\frac{n\Delta t}{Ta}}$, полный ток в момент времени t – $i_{st(n)} = i_{t(n)} + i_{at(n)}$.

Для несимметричного КЗ рассчитываются $i_{t(n)} = \sqrt{2} I_{1(n)} \sin\left(\omega n \Delta t + \alpha + \varphi_{\text{кз}} - \varphi_{U0,1}\right)$ – периодический ток прямой последовательности; $i_{t2(n)} = \sqrt{2} I_{2(n)} \sin\left(\omega n \Delta t + \alpha + \varphi_{\text{кз}} - \varphi_{U1,2} + \varphi_{1,2}\right)$ –периодический ток обратной последовательности; $i_{t0(n)} = \sqrt{2} I_{0(n)} \sin\left(\omega n \Delta t + \alpha + \varphi_{\text{кз}} - \varphi_{U01,0} + \varphi_{1,0}\right)$ – периодический ток нулевой последовательности; $i_{t1,2,0(n)} = i_{t(n)} + i_{t2(n)} + i_{t0(n)}$ – сумма токов всех последовательностей; $\dot{I}_{\text{сум}} = \dot{I}_{1(1)} + \dot{I}_{2(1)} + \dot{I}_{0(1)}$ – сумма токов в конце 1-го интервала; $i_{a0} = \sqrt{2} I_{(0)} \sin\left(\alpha + \varphi_0\right) - \sqrt{2} I_{\text{сум}} \sin\left(\alpha + \varphi_1\right)$ – начальное значение апериодической слагающей, определяется по разности мгновенного значения начального тока (до КЗ) и мгновенного значения фазного тока особой фазы; $T_a = {\left|\text{Im}\,\dot{\text{i}}_{\text{сум}}\right|}\Big/{\omega\left|\text{Re}\,\dot{\text{i}}_{\text{сум}}\right|}$ – постоянная времени.

Мгновенное значение полного тока определяется как $i_{st(n)} = i_{t1,2,0(n)} + i_{at(n)}$. В приведенных формулах $\varphi_{кз} = \angle\left(\dot{U}_{1(1)}, \dot{I}_{1(1)}\right)$, $\varphi_{U0,1} = \angle\left(\dot{U}_{1(1)}, \dot{U}_{(0)}\right)$, $\varphi_{U01,2} = \angle\left(\dot{U}_{2(1)}, \dot{U}_{(0)}\right)$, $\varphi_{U01,0} = \angle\left(\dot{U}_{0(1)}, \dot{U}_{(0)}\right)$, $\varphi_{1,2} = \angle\left(\dot{I}_{1(1)}, \dot{I}_{2(1)}\right)$, $\varphi_{1,0} = \angle\left(\dot{I}_{1(1)}, \dot{I}_{0(1)}\right)$, $\varphi_0 = \angle\left(\dot{U}_{1(1)}, \dot{I}_{(0)}\right)$, $\varphi_1 = \varphi_{кз}$.

Ударный ток $i_{уд}$ и полный ток короткого замыкания в момент размыкания контактов выключателя $i_{k\tau}$ определяются по кривым переходного процесса, создаваемым разработанным ПК. Окно с результатами расчета имеет следующий вид (см. рис. 2):

Анализ проводился для РУ 110 кВ ЦЭС. При реконструкции выключатели многих присоединений заменены на элегазовые HPL-170B1 с током отключения 50 кА и собственным временем отключения 0,014 с, однако эксплуатируется большое количество У-110-8 с разрывной мощностью 8 МВА (42 кА) и собственным временем отключения 0,05 с. Расчеты проводились для существующей схемы – нормально отключены линии ПС-90–ПС-60 и ЦЭС–ТЭЦ – и схемы замкнутой кольцевой сети 110 кВ; кроме того, определялись токи 3-фазного и 1-фазного КЗ.

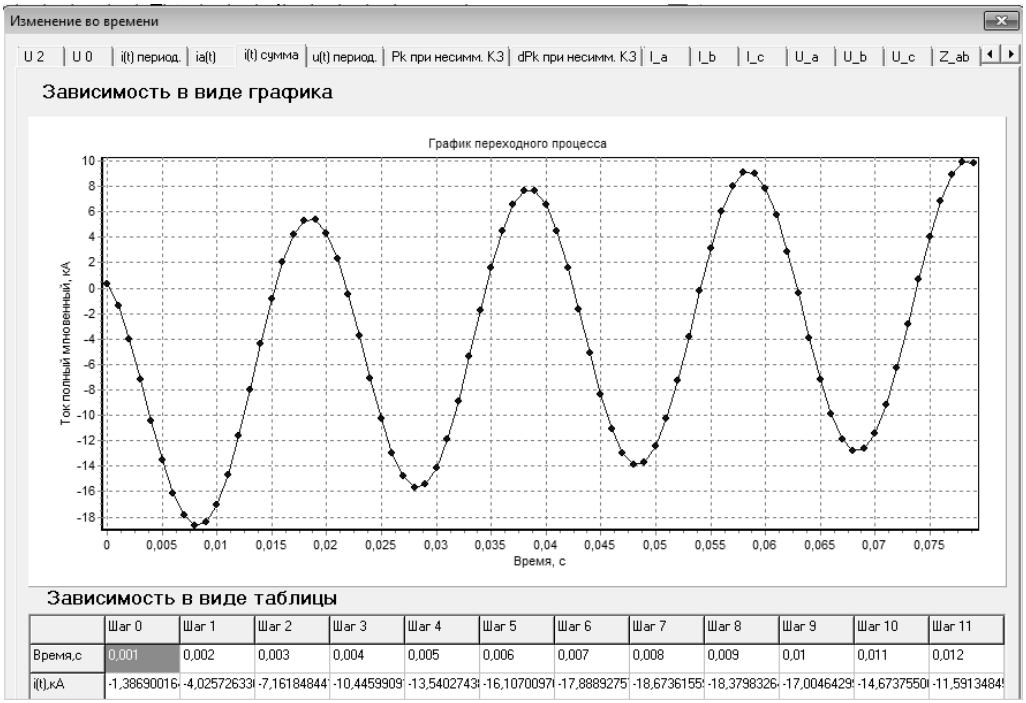


Рис. 2. Окно с зависимостью полного тока КЗ от времени

Как показывают расчеты, во всех режимах для всех выключателей обеспечивается значительный запас по двум параметрам – по тепловому импульсу $I_m^2 t_m$ (наименьший запас 92%) и току электродинамической стойкости $i_{дин}$ (40%). Наихудшие условия – по периодическому и полному токам отключения. При трехфазном КЗ в случае замыкания кольцевой сети ток КЗ достигает 40 кА, при этом запас по $I_{н,откл}$ составляет всего 5% для У-110 и 22% для HPL. В связи с большим собственным временем отключения запас по $\sqrt{2} I_{н,откл}\left(1+\beta\right)$ для У-110 велик, поскольку апериодическая слагающая затухает к моменту размыкания контактов. У HPL-170 в связи с их значительным быстродействием запас по полному току невысокий – 18%. Учитывая, что в погрешность расчета токов КЗ может достигать 10% [1], такой режим можно считать предельным по отключающей способности, в первую очередь масляных выключателей.

Анализ режимов однофазного короткого замыкания показал, что при существующей оперативной конфигурации сетей 110 кВ периодический ток КЗ для ряда фидеров ЦЭС достигает 41 кА, что превышает ток отключения У-110. Для выключателей HPL запас по $I_{н,откл}$ составляет 16%, по полному току – около 10%, что может вызвать определенные проблемы при планируемом увеличении установленной мощности ЦЭС и усилении ее связи с системой за счет сооружения

дополнительных линий 110 кВ. При замыкании кольцевой сети ток $I_{n\tau}$ превышает $I_{н,откл}$ на 34% для У-110, на 13% – для HPL; ток $i_{k\tau}$ превышает $\sqrt{2}I_{н,откл}(1+\beta)$ на 31% для У-110, на 17% – для HPL. Очевидно, что такой режим работы является недопустимым.

Таким образом, разработанные методика и программный модуль позволяют выполнить оценку работы выключателей при КЗ различных видов с учетом влияния местных источников и неоднородности сетей при планировании режимов и при реконструкции систем электроснабжения, а также разработать мероприятия по обеспечению коммутационной способности, термической и электродинамической стойкости выключателей при КЗ.

Список литературы:

1. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования. РД 153-34.0-20.527-98/ Под ред. Б.Н. Неклепаева. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2002. – 152 с.
2. Игуменщев В.А., Заславец Б.И., Малафеев А.В., Буланова О.В., Ротанова Ю.Н. Модифицированный метод последовательного эквивалентирования для расчета режимов сложных систем электроснабжения// Промышленная энергетика. – 2008. – №6. – С. 16-22.
3. Игуменщев В.А., Малафеев А.В., Буланова О.В. Расчет и анализ динамической устойчивости узлов нагрузки промышленных предприятий с собственными электростанциями// Изв. вузов. Электромеханика. – 2006. – №4. – С. 94-98.

УДК 621.398

Вентильный электропривод возвратно-вращательного движения динамически уравновешенного бурового снаряда на грузонесущем кабеле

Э.А. Загривный, Н.С. Губарь

Санкт-Петербургский государственный горный университет, г.Санкт-Петербург, Россия

E-mail: Nikon1205@mail.ru

Показано, что применение вентильных электродвигателей с ротором на постоянных магнитах позволит заметно увеличить эффективность динамически уравновешенного бурового снаряда возвратно-вращательного движения на грузонесущем кабеле.

Известные электротехнические буровые комплексы на основе электромеханических буровых снарядов на грузонесущем кабеле нашли широкое применение для бурения ледников. Разработанным, запатентованным и изготовленным в СПГГУ электромеханическим буровым снарядом на грузонесущем кабеле достигнуты наивысшие мировые результаты при бурении ледника в Антарктиде на станции Восток. В феврале 2011 года глубина скважины 5Г составила 3720 м. Используемые за рубежом для тех же целей буровые снаряды на грузонесущем кабеле принципиально не отличаются от выше указанного. При бурении слабосвязанных пород и интервалов скважин с кавернами эти снаряды становятся неработоспособными из-за потери сцепления распорного устройства со скважиной и возможности компенсировать реактивный момент, возникающий при работе буровой коронки на забое.

Разрабатываемые в СПГГУ динамически уравновешенные буровые снаряды (ДУБС) на грузонесущем кабеле с электроприводом возвратно-вращательного движения лишены указанных недостатков, не требуют применения редукторов и распорных устройств [1, 2, 3, 4] Это позволяет расширить область применения электромеханических буровых снарядов на грузонесущем кабеле и использовать их для взятия донных проб рек, озёр, морей и океанов, вскрытия продуктивных пластов, многорейсового бурения в шельфовых зонах с бортов неспециализированных судов, очистки призабойных зон нефтяных и газовых скважин, а также скважин на пресные и минеральные воды.

Особо следует отметить, что электротехнический буровой комплекс на основе ДУБС может решить задачу взятия донных проб подледникового озера «Восток» в Антарктиде, вскрытие которого сотрудниками СПГГУ предполагается в сезон 2011-2012гг.

ДУБС представляет собой двухмассовую колебательную электромеханическую систему (ЭМС) с электроприводом возвратно-вращательного движения (рис.1). Статорная часть 2, 5, 10 погружного маслозаполненного электродвигателя соединена с роторной частью 4, 8, 9 упругим элементом – пружиной кручения 6 [4].

При постановке снаряда на забой и подаче на статорные обмотки электродвигателя напряжения, формирующего знакопеременный электромагнитный момент, статорная и роторная части совершают возвратно-вращательные движения в противоположных направлениях. Давление

на забой и момент сопротивления на буровой коронке определяется общей массой снаряда. Разработанная система управления электроприводом возвратно-вращательного движения позволяет получать авторезонансные колебания ЭМС ДУБС, инвариантные к изменениям и нелинейностям динамических параметров системы [5].

При работе на резонансной частоте электромеханической системы амплитуды колебаний имеют максимальные значения, а сумма моментов вращения, действующая на эти части, равна нолю, т.е. буровой снаряд является динамически уравновешенным. Авторезонансные колебания электропривода возвратно-вращательного движения для динамически уравновешенного бурового снаряда обеспечиваются путём реверсирования электромагнитного момента электродвигателя на каждом полупериоде синфазно со скоростью в точках перехода её через нулевое значение.

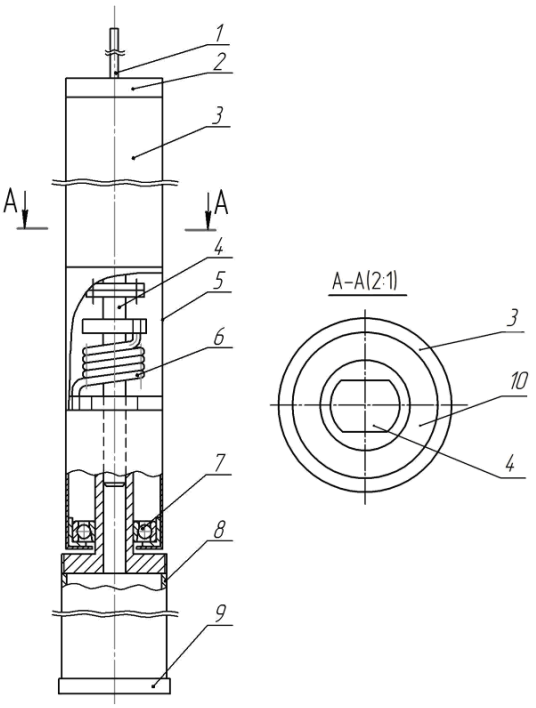


Рис.1. Конструктивная схема ДУБС: 1 – грузонесущий кабель; 2 – кабельный замок; 3 – ЭД с электроотсеком; 4 – ротор ЭД; 5 – Статорная труба; 6 – пружина кручения; 7 – подшипниковый узел; 8 – колонковая труба; 9 – буровая коронка; 10 – статор ЭД

Энергия, потребляемая из сети при работе на резонансной частоте рассматриваемой ЭМС, расходуется на совершение работы с моментом сопротивления на коронке и на покрытие потерь жидкостного трения. На поддержание колебаний на резонансной частоте при высокой добротности колебательной электромеханической системы энергия практически не потребляется, чем и объясняется высокий КПД резонансных машин.

При проведении теоретических и лабораторных исследований использовался специальный электродвигатель, выполненный на основе статора асинхронного электродвигателя с явнополюсным ротором [7,8]. Такой электродвигатель в режиме резонансных колебаний возвратно-вращательного движения обеспечивает заданную энергоэффективность только при размахе колебаний 60 градусов. Средняя линейная скорость буровой коронки диаметром 122 мм, при частоте колебаний 25Гц и размахе колебаний 50 градусов не превышает 3,5м/с, что существенно ниже допустимой линейной скорости при алмазном бурении(7-10м/с). Для очистки призабойных зон скважин с применением резцовых буровых коронок этой скорости достаточно. При морском бурении крепких донных пород её следует увеличить до 7 и более метров в секунду.

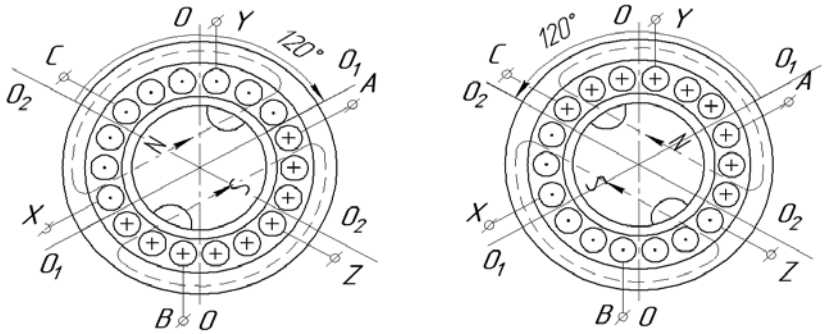


Рис.2.Сечение ВД и распределение токов в обмотках статора в установившихся вынужденных колебания ротора с размахом 120 геометрических градусов

Для создания ДУБС с указанной линейной скоростью предполагается использование специальных трехфазных маслозаполненных погружных вентильных электродвигателей (ВД)

серии ПВЭД 117 в габарите 117 мм. Применение вентильных электродвигателей с ротором на постоянных магнитах позволит заметно снизить габаритные размеры, энергопотребление, повысить КПД ДУБС и реализовать размах колебаний 120 и 180 геометрических градусов.

Так, например, при использовании варианта схемы соединения фазных обмоток ВД (рис.2 и 3) возможно получение размаха колебаний 120 геометрических градусов. В этом случае обмотка " **A-X** " выполняет функции обмотки возбуждения. Статорные обмотки " **B-Y** " и " **C-Z** " – рабочие обмотки. При такой схеме соединения обмоток статора, ротор совершает возвратно-вращательные движения с амплитудой колебаний 60 и размахом колебаний 120 геометрических градусов.

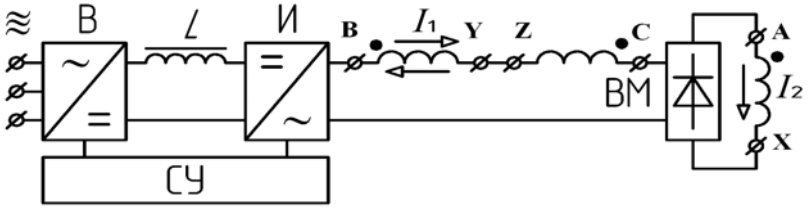


Рис. 3. Функциональная схема электропривода ВВД (120 геом. град.):
В – управляемый трёхфазный выпрямитель, И – однофазный инвертор тока, ВМ – однофазный выпрямительный мост, *L* – дроссель постоянного тока, СУ – система управления; "A-X" – обмотка возбуждения, "B-Y" и "C-Z" – рабочие обмотки.

Теоретический угол поворота буровой коронки (размах колебаний) относительно неподвижных осей, связанных с Землей, определяется выражением:

$$\varphi_K = \varphi_П \cdot \frac{J_1}{J_1 + J_2},$$

где $\varphi_П$ - теоретически допустимый угол поворота ротора (размах колебаний) относительно статора; J_1 - момент инерции статорной части; J_2 - момент инерции роторной части.

Так, например, при $J_1 = 5 \cdot J_2$ угол поворота (размах колебаний) буровой коронки равен не менее 100 геометрических градусов.

Очевидно, что при использовании ВД средние линейные скорости буровой коронки могут быть повышены до семи и более метров в секунду. Следует отметить, что при совмещении оси симметрии ротора с осями результирующего магнитного поля и $O_1 - O_1$ $O_2 - O_2$ электромагнитный момент электродвигателя равен нулю. При переходе оси симметрии через указанные оси (амплитуда больше 60 геометрических градусов) электромагнитный момент меняет знак, формируя тормозной момент.

Отличительной особенностью резонансного возвратно-вращательного движения на основе ВД является наличие на каждом полупериоде тормозного режима при превышении угла (размаха) колебаний свыше допустимого теоретически (120 геометрических градусов). Эта особенность очень важна для резонансных машин и позволит работать ДУБС в режимах с изменяемой технологической нагрузкой без превышения заданных угла колебаний и расчетных механических нагрузок вплоть до режима холостого хода.

Список литературы:

1. А.с. №20028405, Колонковый буровой снаряд с электроприводом. 2004, - Бюл.№1. Загривный Э.А., Соловьёв В.А.
2. Электромеханический колонковый буровой снаряд. Патент Российской Федерации, № 2337225, МПК E21B 4/04 / Э.А. Загривный, В.В. Рудаков, С.С. Стародед, Ю.А. Гаврилов // Бюл. №30, 27.10.2008.
3. Электропривод колебательного движения. / Патент Российской Федерации, № 2401503, МПК H02P25/02 / Э.А. Загривный, Ю.А. Гаврилов, С.С. Стародед // Бюл. №28, 10.10.2010.
4. Электромеханический колонковый буровой снаряд. Патент РФ на полезную модель №95728 / Загривный Э.А., Фоменко А.Н., Иваник В.В. // от 11.12.2009 г.

5. Способ возбуждения и регулирования авторезонансных колебаний в электроприводе возвратно-вращательного движения. Патент Российской Федерации, № 2410826 / Э.А. Загривный, Ю.А. Гаврилов // Бюл. №3, 27.01.2011.
6. Гаврилов Ю.А. Обоснование режимов работы вибрационной щековой дробилки с авторезонансным электроприводом маятниковых вибровозбудителей возвратно-вращательного движения. Автореф. канд. дисс. СПГГИ (ТУ), СПб, 2010, 21 с.
7. Стародед С.С. Авторезонансный электропривод возвратно-вращательного движения динамически уравновешенного бурового снаряда на грузонесущем кабеле. Автореф. канд. дисс. СПГГИ (ТУ), СПб, 2009, 21 с.
8. Фоменко А.Н. Анализ режимов работы электромеханического бурового комплекса на основе динамически уравновешенного бурового снаряда на грузонесущем кабеле. Автореф. канд. дисс. СПГГУ, СПб, 2011, 21с.

УДК 621.3 / 537.5

Определение максимальной коммутационной способности элегазового выключателя высокого напряжения с помощью численного моделирования процессов дугогашения

А.С. Ильин
Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина
г. Екатеринбург, Россия
E-mail: ale-ilyin@yandex.ru

В статье показана возможность применения математического моделирования при расчетах процессов гашения дуги в потоке элегаза в коммутационных аппаратах высокого напряжения. Приведены результаты расчета разработанной автором программой для ЭВМ в части определения максимального отключаемого тока для реального элегазового выключателя высокого напряжения и сравнения с результатами испытаний.

Известно, что ежегодное увеличение потребляемой и генерируемой электрической энергии приводит к необходимости иметь возможность передавать и распределять все большие мощности по пути транзита от генерации к потребителям. Однако, оборудование, находящееся в эксплуатации сегодня в существующих электросетях уже на 50% выработало свой ресурс. По данным с конференции ТРАВЭК 2011 г., в МРСК Юга более 50% сетевого оборудования требуют немедленной замены.

Учитывая непрерывный рост нагрузки, очевидно, что увеличиваются и номинальные токи, и расчетные токи коротких замыканий (КЗ) на шинах подстанций различных классов напряжения. Это накладывает особые требования к коммутационной аппаратуре, в частности к выключателям высокого напряжения. Эти коммутационные аппараты требуются все с более и более высокими показателями номинальных токов и токов отключения КЗ. В связи с этим остро встает вопрос о разработке новых выключателей, в основе которых должно быть современное дугогасительное устройство, способное справиться к таким высоким требованиям.

На сегодняшний день самой эффективной дугогасительной и изоляционной средой выключателей высоко напряжения признан элегаз (гексафторид серы - SF6) и альтернативы ему для классов напряжения 110 кВ и выше пока нет. Разработка нового дугогасительного устройства для выключателя с элегазовой средой дугогашения изоляции ведется преимущественно экспериментальным путем, но такой метод очень дорог, так как каждое испытание отключения тока КЗ в специализированной лаборатории стоит тысячи долларов США. В России на сегодняшний день не осталось ни одного испытательного центра, имеющего возможность проведения коммутационных испытаний в объеме типов испытаний для аппаратов классов напряжения 110 кВ и выше.

Единственным решением может быть применение математического моделирования процессов дугогашения в высоковольтном аппарате с целью сокращения количества проводимых опытов. Именно такая цель ставилась автором статьи в своей научной работе.

Наиболее важными являются вопросы, связанные с методиками оценки коммутационной способности проектируемого выключателя. Сложности возникают при попытке описать данный процесс с физической точки зрения, так как процессы коммутации представляют собой некий узел физико-химических и термо-газодинамических процессов, взаимодействующих с электродинамическими явлениями. Сложность расчета заключается не только в том, что процесс гашения дуги в элегазе (SF_6) включает в себя 19 химических компонентов и более 60 реакций с ними, но и в том, что процессы дугообразования и ионизации являются вероятностными.

В [1] показано, каким образом впервые выполнено описание взаимодействие элементарных объемов плазмообразующего газа в дугогасительной камере в момент отключения тока КЗ.

В данной работе ставится задача создания модели, позволяющей установить успешность гашения дуги конкретным дугогасительным устройством. Искомой функцией является энергия газа, определяемая по параметрам, рассчитанным при рассмотрении газотермодинамических процессов, с дальнейшим определением проводимости, картина скоростей и температур газа. Исходными параметрами являются физико-химические свойства плазмообразующего газа (в модели рассматривается Элегаз), выраженные в виде графиков зависимостей физических свойств от различных физических величин (описаны далее), геометрическая конфигурация дугогасительного устройства, выраженная графически, воздействующее значение и форма ПВН в случае гашения, выраженная графически. Такой подход позволяет облегчить ввод параметров среды, сделав его графическим, получить в результате наглядную картину, совмещающую термогазодинамику и сам процесс гашения дуги.

Таким образом, впервые обоснован и разработан новый метод пошагово-расширяющихся ячеек столба дуги для анализа процесса дугогашения с учетом параметров электрической цепи и геометрии дугогасительной камеры; разработана математическая модель процесса гашения дуги.

Если рассмотреть уравнение энергии (1), уравнение сплошности газового потока (2) и дополним их уравнением импульса (3) и уравнением закона Ома (4) для определения Джоулева тепловыделения в стволе дуги, то можно получить систему уравнений рассматриваемой модели.

$$c_p \cdot \rho \cdot \frac{\partial T}{\partial t} + c_p \cdot \rho \cdot u \cdot \frac{\partial T}{\partial x} = \sigma_э E^2 + \frac{\partial}{y \partial y}\left(y \cdot \lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial y} \right) - P_{из}, \quad (1)$$

Где c_p – теплоемкость элегаза при постоянном давлении, ρ – плотность элегаза в ячейке, u – скорость в данном месте, T – температура в ячейке, $\sigma_э$ – электропроводность элегаза в ячейке, λ – коэффициент теплопроводности элегаза в ячейке, $P_{из}$ – мощность, затраченная дугой на излучение, x,y – координаты, t – время шага, принятый 100 нс, E – напряженность электрического поля.

$$\frac{\partial}{\partial t}\rho + \frac{\partial}{\partial x}(\rho \cdot u) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho \cdot v) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho \cdot w) = 0, \quad (2)$$

где ρ – плотность газа; u, ν, ω – скорости по ординатам..

$$-F \frac{d}{dx} p = M \frac{d}{dx} w + П \cdot \tau_0 + F \cdot g \cdot \rho \cdot \sin(\beta), \quad (3)$$

где: w – скорость; ρ – плотность; F – площадь поперечного сечения канала; П – периметр канала, граничащий с другой средой; τ_0 – касательное напряжение на стенке (напряжение трения на стенке); β – угол наклона канала к горизонту; x – расстояние в направлении движения; M – удельный массовый расход (массовая скорость); g – ускорение свободного падения.

$$W_д = \sigma_э \cdot E^2 - \frac{4\lambda T_0}{R_д^2} - P_{изл}, \quad (4)$$

где $\sigma_э$ – проводимость среды при заданных условиях; λ – теплопроводность; $R_д$ – радиус дуги (или текущий радиус ячейки, как координата); T_0 – начальная температура; $P_{изл}$ – энергия, затраченная на излучение.

В процессе численного моделирования процесса определяются основные параметры каждой ячейки, энергия газа ячейки, что служит новым начальным условием для следующего шага. Проверяется выполнение критерия пробоя. Мощность дуги, рассеянная за счет излучения, вводится коэффициентом излучения в процентах от мощности энергии дуги. Ее значение можно выбрать в соответствии с результатами опытов, отмеченными в работах авторов, например в [2]. После достижения температуры диссоциации элегаза, его плотность падает до минимума и при дальнейшем повышении температуры элегаз разлагается. Таким образом, полностью отражается физическая картина снижения концентрации частиц элегаза и разложения элегаза на компоненты по мере приближения к стволу дуги.

Применяя полученный метод от шага к шагу на всем временном интервале, были проведены расчеты дугогасительного устройства реального элегазового бакового выключателя на устойчивость к тепловому пробою. Данные вычисления были реализованы в рамках созданной программы в среде программирования Delphi 3.0 [3]. Результатом является графическая динамическая интерактивная диаграмма, по которой можно определить значения температуры, тока, напряжения в каждый расчетный шаг времени, а так же проводимость газа – искомую

величину. Полученные данные заносились в таблицу Excel и рассчитывались графики процесса гашения дуги, которые и сравнивались с осциллограммами реальных испытаний из протоколов испытаний.

Пользуясь полученным методом, моделью, программой, ставилась задача определить максимальную коммутационную способность по току отключения выключателя, типа ВГТ-110 производства ЗАО «Энергомаш (Екатеринбург) – Уралэлектротяжмаш».

Методом последовательного приближения были выбраны значения токов отключения 60кА, 50кА, при которых расчеты показали не успешное гашение. Далее было принято значение 45 кА, при котором было получено успешное отключение, однако, значение тока пост-дуги в этом случае составило -5 кА. При значениях тока отключения 47 кА и 46 кА было получено не успешное гашение. Результаты вычислений можно видеть в Таблице 1:

Таблица 1. Результаты вычислений отключения разных токов

Полное время отключения, мс	**40,18**	**60,18**	**50,18**	**45,18**	**47,18**	**46,18**
Принятое сопротивление критическое, МОм	**18**	**18**	**18**	**18**	**18**	**18**
Ток отключения, кА	**40**	**60**	**50**	**45**	**47**	**46**
Ток пост-дуги, кА	**-2,76**	**Пробой**	**Пробой**	**-5,0**	**Пробой**	**Пробой**
Результат: **О** – отключен, **Н** – не отключен	**О**	**Н**	**Н**	**О**	**Н**	**Н**

Реальный выключатель ВГТ-110 сконструирован, испытан на максимальный ток отключения 40кА, учитывая коммутационный ресурс выключателя при отключении подобных токов, который составляет 20 циклов отключения, можно утверждать, что расчетные данные достаточно точные.

Выводы. Разработанная программа позволяет спрогнозировать коммутационный процесс для дугогасительного устройства, заданной геометрии, свойствами дугогасительной среды и оценить эффективность самого гасителя. Для расчета других режимов гашения или другой геометрической конфигурации камеры необходимо делать перерасчет начальных параметров, заводимых в программу описанных в начале статьи. Учитывая большое количество вероятностных явлений в дуговых процессах, можно утверждать, что применение математического моделирования процессов дугогашения не исключает необходимость проведения экспериментальных исследований, однако данные, получаемые в процессе моделирования, значительно облегчают работу исследователя, сокращают число экспериментов, и помогают анализировать полученные результаты, корректируя вводимые данные и физическую модель, сокращают число дорогостоящих экспериментов.

Список литературы:

1. Ильин А.С. Численное моделирование процессов гашения дуги в элегазовом выключателе высокого напряжения и сравнение результатов с реальными испытаниями // Научно-технический вестник Поволжья. – 2011. - №5. – С. 140-146
2. Hermann W., Kogelschatz U., Ragaller K., Shade E. Investigation of cylindrical, axially blown, high-pressure arc // Applied Physics. – 1974. – T.7. – C. 607-619
3. Программа моделирования термогазодинамических процессов гашения дуги в дугогасительной камере заданной геометрии, приминительно к высоковольтной аппаратуре (Программа моделирования процессов дугогашения): Свидетельство об официальной регистрации программы ЭВМ № 2006612254 от 30 июня 2006 года, заявка №2006612047 от 19 июня 2006 г.

УДК 621.313

Эффективное энергопотребление технологическим процессом рудоподготовки горно-металлургической промышленности

О.Х. Ишназаров

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

E-mail: ioybek@gmail.com

В Узбекистане около 2/3 всего объема потребляемой электроэнергии используется для механической работы, выполняемой электроприводом. Наиболее широко в горно-

металлургической промышленности используются электропривода дробилок, мельниц (самоизмельчения и шаровых), конвейеров, насосов откачки пульпы, классификаторов, гидроцикронов (суммарная установленная мощность более 5 МВт на одном блоке), которые является основным оборудованием технологического процесса рудоподготовки к обогащению полезных ископаемых, а также важным элементом технологического процесса переработки руды.

Расход энергозатрат на рудоподготовку составляет более 60% от общих энергозатрат горно-обогатительных фабрик, что определяет необходимость экономии энергоресурсов.

В связи с этим большое внимание уделяется проблеме эффективного энергопотебления и энергосбережения механизмов горнорудной отрасли, в частности, в технологическом процессе рудоподготовки горно-металлургических комбинатах.

Несмотря на достаточно большое количество исследований по данному вопросу, задача эффективного энергопотребления, энергосбережения и управления технологическим процессом рудоподготовки к обогащению полезных ископаемых разработана недостаточно. Это объясняется, прежде всего, разнообразностью, часто противоречивостью требований, предъявляемых к технологии рудоподготовки. С другой стороны, сам объект исследования – технологический процесс рудоподготовки – представляет собой сложную динамическую систему с присущими ей свойствами (физико-механическая особенность руды (насыпная плотность, абразивность, влажность, показатели дробимости и измельчаемости); неравномерность поступления руды в дробилки, тяжелый режим пуска крупных асинхронных и синхронных двигателей дробилок и мельниц, неравномерность загрузки шарами мельниц, повышенный износ деталей насосов, непостоянство плотности откачиваемой пульпы и д.р.).

В современных условиях традиционные задачи управления энергопотреблением — учет, нормирование и планирование — качественно меняются, и появляются новые задачи, связанные с оптимальным управлением режимами энергопотребления и анализом эффективности энергоиспользования по минимуму расхода энергоресурсов и др. Встает задача оптимизации использования энергоресурсов технологическим оборудованием и всем предприятием в целом, т.е. повышения эффективности рационального использования энергоресурсов за счет оптимального управления режимами энергопотребления.

Детальный анализ научно-технических работ в области управления технологическим комплексом рудоподготовки к обогащению полезных ископаемых показал, что на обогатительных фабриках разработаны и внедрены локальные системы стабилизации процессов измельчения, классификации, сепарации, а также разработаны проектные решения в составе АСУТП адаптивных систем управления процессами рудоподготовки на основе методов распознавания образов и интеллектуальных систем.

Однако адаптивные регуляторы с переменной структурой не оправдали в полной мере своего назначения вследствие отсутствия надежных датчиков и исполнительных механизмов, информационных систем сбора информации, надежных систем ввода-вывода информации, каналов связи и компьютерных систем.

В данной работе приводится эффективный метод управления энергопотреблением технологическим процессом рудоподготовки, а также энерго- и ресурсосберегающая технология рудоподготовки к обогащению полезных ископаемых за счет разработки системы с искусственным интеллектом. Использование системы с искусственным интеллектом расширяет возможности управления технологическим процессом в области многоканального управления, перераспределения потоков, параллельного и многостадийного управления технологическим процессом с рециклами в условиях непостоянства подачи исходной руды.

УДК 621.867.2

Пуск ленточных конвейерных установок на базе частотно- регулируемых электроприводов

Т.С. Камалов, О.З. Тоиров

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

E-mail: tkamalov@yandex.ru; olimjon.t@mail.ru

Рассмотрены пусковые режимы ленточных конвейерных установок с частотно-управляемым электроприводом с учетом законов изменения частоты в переходных процессах.

В горнорудной промышленности ленточные конвейеры применяются в основном в составе роторных комплексов для транспортирования вскрышных пород или в качестве магистральных наклонных подъемников из карьеров и глубоких шахт [1].

Режим работы приводных двигателей конвейеров – продолжительный с редкими пусками и остановами. При этом важным общим требованием, предъявляемым к электроприводам механизмов непрерывного транспорта, является обеспечение плавности пуска и торможения с надежным ограничением ускорения и рывка.

В частотно-регулируемых асинхронных электроприводах используются скалярные и векторные системы управления. Для управления асинхронным электроприводом конвейерных установок нами принята скалярная система управления как наиболее простая и дешевая по сравнению с векторной. Формирование пусковых режимов асинхронного двигателя (АД) осуществляется заданием приращения частоты подаваемого на статор двигателя и соответственно напряжения, величина которого определяется пропорциональным законом частотного управления. При этом допускаем, что при каждом дискретном приращении частоты питающего напряжения АД разгоняется в пределах прямолинейной части его механической характеристики.

Получили распространение четыре варианта закона изменения частоты в переходных процессах (пуск - разгон, переход от текущей скорости к более высокой, замедление – переход от текущей скорости к более низкой, а также торможение): линейный, экспоненциальный, *S*-образный и *U*- образный. С целью определения наиболее приемлемых вариантов пусковых режимов рассмотрим каждый из них. Ленточные транспортные конвейерные установки рассматриваем как класс механизмов с постоянством статического момента $M_c=const$. При этом согласно [2], в каждом шаге приращение частоты кривая скорости при разгоне двигателя описывается уравнением

$$\omega = \omega_{ó} \cdot (1 - e^{-\frac{t}{T_m}}) + \omega_1 \cdot e^{-\frac{t}{T_m}} \qquad (1)$$

где ω_y - установившаяся скорость для заданной частоты питающего напряжения статорной обмотки АД; T_m - электромеханическая постоянная электропривода.

При разгоне АД от преобразователя частоты электромеханическая постоянная в основном определяется моментом инерции и значением механической характеристики, соответствующей текущему значению частоты управления. В связи с этим электромеханическая постоянная сохраняет свое значение лишь для определенной частоты управления. При изменении шага дискретизации пропорционально изменяется и электромеханическая постоянная и при этом соответственно увеличивается или уменьшается длительность переходного процесса. Длительность переходного процесса при изменении момента двигателя от $M_{нач}$ до $M_{кон}$ или соответственно скорости, согласно [1], определяется

$$t = T_m \cdot \ln \frac{M_{íà÷} - Ì_{ñ}}{M_{êîí} - Ì_{ñ}}; \qquad (2)$$

где $M_{нач}$ – момент двигателя в начале пуска при трогании; $M_{кон}$ – момент двигателя при достижении заданной промежуточной скорости $\omega_{êîí}$.

При этом время разгона принимаем равным $3T_m$, так как скорость вращения АД за это время достигает $0{,}95\omega_y$ и практически процесс разгона можно считать установившимся. Вычисляя время разгона АД для каждой заданной частоты вращения можно получить полное время пуска двигателя как сумму отдельных времен.

Для определения длительности пуска ленточных конвейерных установок используются формулы [3-5]

$$t \geq \frac{0{,}26 L \vartheta \sum q}{S_{äîï}}; \qquad (3)$$

или

$$t = (3-5) L \sqrt{\frac{Q}{\vartheta \cdot E_{ýôô}}} \qquad (4)$$

где L – полная длина ленты, м; v – скорость движения ленты в установившемся режиме работы, м/с; $\sum q$ – средний вес движущихся и вращающихся частей верхней и нижней ветвей конвейера, Н; $S_{доп}$ – допустимое натяжение ленты; $E_{эфф}$ – эффективный динамический модуль упругости, кг; цифра 5 соответствует горизонтальным конвейерам;

Рассмотрим пусковые режимы конвейерных установок исходя из двух критериев. Первый – это вариант пуска конвейера, когда для каждого шага дискретизации частоты Δf, при котором текущая скорость соответствующая данной частоте Δf_1, устанавливается в течении времени,

равным $3T_m$. После этого осуществляется переход на следующий шаг Δf_2 и так далее, пока скорость АД не достигнет заданного установившегося значения. При этом весь диапазон изменения частоты во времени для четырех вариантов (рис.1) разбиваем на шаги дискретизации Δf, равного в пределах до 5 Гц.

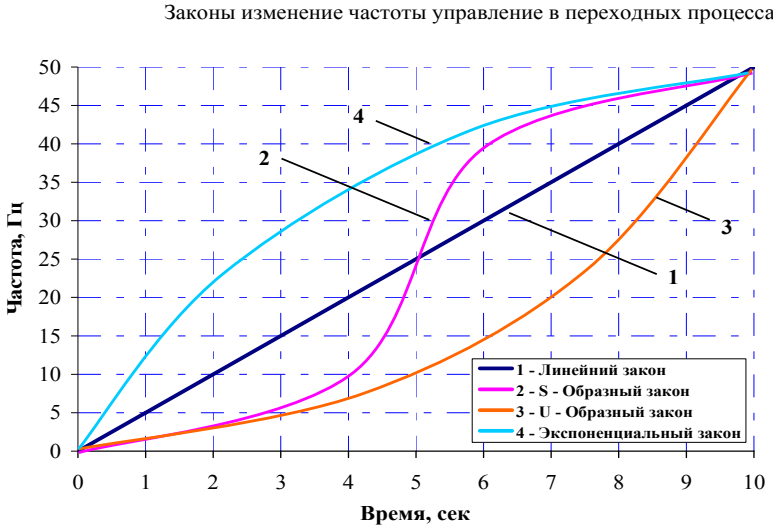


Рис. 1. Законы изменение частоты управление в переходных процессах АД

По второму критерию исходим из условия обеспечения заданного пускового времени конвейерной установки (t_n), определяемые по формулам (3) или (4). При этом весь диапазон заданной частоты во времени разбивается на Δt в пределах которого скорость двигателя может выйти на установившуюся скорость, либо наоборот, – не достигая установившейся скорости АД, переходит на другую механическую характеристику по скорости.

На основе разработанного нами алгоритма расчета пусковых режимов [6,7] произведены расчеты пусковых режимов для конвейерной установки с приводным электроприводом мощностью 30 кВт.

Выводы:

1. Пусковые режимы конвейерных установок по первому критерию удовлетворяют условиям разгона, когда расчетное время t_n меньше или равно полному времени пуска двигателя, как сумма отдельных составляющих соответствующих каждому шагу дискретизации частоты. В данном случае для пуска конвейерных установок более приемлемыми являются *S*- образные и экспоненциальные законы управления частотой электропривода.
2. Наиболее отвечающим условиям разгона конвейерных установок в пусковых режимах является частотный пуск за время, определяемое их параметрами. В данном случае наиболее приемлемыми являются *S*-образный и *U*- образный законы управления частотой электропривода.

Список литературы:

1. Дьяков В.А., Шахмейстер Л.Г., Дмитриев В.Г. и др. Ленточные конвейеры в горной промышленности. Под ред. А.О.Спиваковского. – М.: Недра, 1982. – 349 с.
2. Андреев В.П., Сабинин Ю.А. Основы электропривода. – М.: Госэнергоиздат, 1963. – 772 с.
3. Соловьев А.С., Соловьев В.С. Автоматизированный электропривод конвейеров. – Ленинград: 1977. – 68 с.
4. Островский А.С. Электроприводы поточно-транспортных систем. – М.: Энергия, 1967. – 184 с.
5. Пертен А.Ю. Конвейерные системы. Т.2: Справочник. – Санкт-Петербург: Профессионал, 2008. – 507 с.
6. Камалов Т.С., Тоиров О.З. Энергосберегающий электропривод и вопросы выбора преобразователя частоты // Узбекский журнал «Проблемы информатики и энергетики». – 2009. – №1. – С. 36–42.
7. Камалов Т.С., Тоиров О.З., Сайфуллаева Л.И. Регулируемый электропривод конвейерных установок и алгоритм их выбора // Узбекский журнал. «Проблемы информатики и энергетики». – 2009. – №6. – С. 41–49.

УДК 620.314

Методы диагностики силовых трансформаторов

И.Х. Касимова, А.Р. Рамазанова
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия
E-mail: kasi_ih@mail.ru , alba3110@sibmail.com

В настоящее время в России и странах ближнего зарубежья значительная часть силовых трансформаторов 110 кВ и выше отработала нормативный срок службы. Экономическая ситуация, а также общее количество оборудования с длительным сроком службы не позволяют в ближайшие годы провести их замену. В этой ситуации поддержание требуемой эксплуатационной надежности трансформаторов требует объективного диагностического контроля [1].

Существует множество методов для осуществления мониторинга силового оборудования, как традиционных, чаще всего применяемых при диагностике, так и новых, менее изученных. Традиционные: наружный осмотр, тепловизионный контроль, измерение частичных разрядов, измерение tg δ, вибрационный контроль прессовки, проверка качества масла на примеси и увлажнение, газохроматографический анализ, измерение сопротивления обмоток, учет конструктивных особенностей, акустический метод, определение сопротивления изоляции обмоток, сушка масла. К новым можно отнести метод низковольтных импульсов, метод анализа частотных характеристик, фотоакустическую спектроскопию.

Несмотря на то, что метод хроматографического анализа существует давно, и достаточно хорошо изучен, он остается наиболее часто используемым аналитическим методом, позволяющим прогнозировать развитие дефекта еще на стадии его образования.

В отечественной и мировой практике определяют содержание (концентрацию) следующих газов: углекислого газа CO_2, оксида углерода CO, водорода H_2, кислорода O_2, азота N_2; углеводородов метана CH_4, ацетилена C_2H_2, этилена C_2H_4 этана C_2H_6 и др. Кроме того, определяют соотношение концентраций некоторых наиболее показательных (характерных) газов и рост их концентрации по сравнению с предшествующим регулярным измерением [2].

Нами был проведен анализ трансформаторного масла трансформатора типа ТДТН 63000/110. Причиной отбора пробы масла послужило срабатывание газового реле. Проведенный анализ показал следующие результаты:

Таблица 1. Результаты хроматографического анализа газов, растворенных в масле

Газ	Концентр. об. %	Vотн. об. %/мес.	Газ	Концентр. об. %	Vотн. об. %/мес.
CH_4	0,016	449,06	H_2	0,0481	7608,93
CO_2	0,164	7,7	CO	0,0472	111,53
C_2H_4	0,0328	162,39	O_2	0,0001	
C_2H_2	0,0845	58241,38	N_2	0,0001	
C_2H_6	0,0028	63,74	C_xH_y	0,1361	558,16
Цвет:			t верхних сл.: 0	t воздуха: 0	

Согласно [3] появлением газов в масле трансформатора считается опасным, когда концентрация определенных газов превышает допустимый предел в 5 раз. По относительной скорости нарастания концентрации газов ($V_{отн}$) определяется степень опасности развития дефекта. Если относительная скорость нарастания концентрации газа/газов превышает 10 % в месяц, то это указывает на наличие быстро развивающегося дефекта в трансформаторе.

Из таблицы 1 видно, что содержание основных газов: водорода и ацетилена превышают граничные значения, из чего сделан вывод о дуге в масле в ограниченном объеме, которая может быть следствием образования короткозамкнутых витков в одной из обмоток трансформатора или из-за плохих контактов в соединениях.

Этан и этилен – характерные газы в масле при данном дефекте. Так для "здорового" трансформатора содержание этана обычно около 0,0007, а в исследуемом масле – 0,028 (превышение в 40 раз).

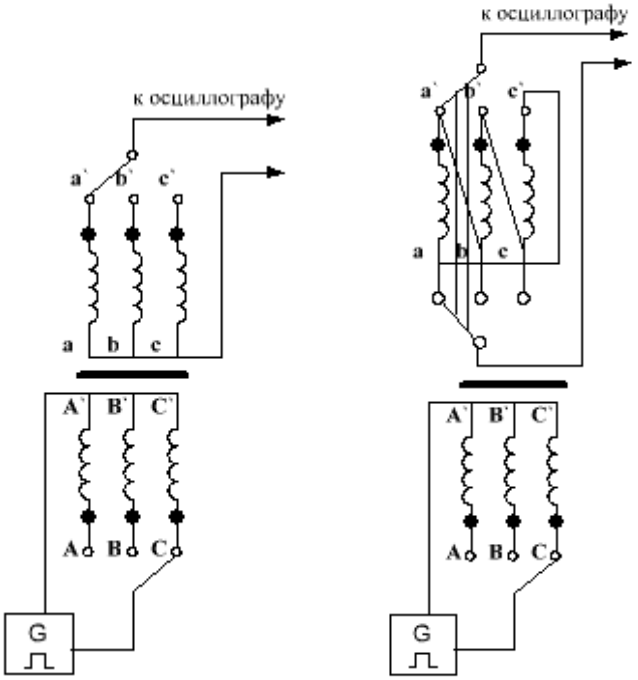
На основании этих фактов было рекомендовано вывести оборудование в ремонт. Разборка показала, что в высоковольтной обмотке обнаружены следы дуги от межвиткового замыкания (рис. 1).

Таким образом, с помощью хроматографического анализа газов в трансформаторном масле выявлен дефект обмотки.

Метод низковольтных импульсов (НВИ), предложенный польскими учеными-электротехниками В. Лехом и Л. Тымински в 1966 году [4], является одним из перспективных методов для выявления начальных повреждений и прогнозирования надежности конструкции трансформатора. Одним из достоинств этого метода является то, что для оценки состояния обмоток трансформатора нет необходимости разбирать трансформатор [5]. Другим достоинством метода НВИ, по мнению авторов, является высокая чувствительность к различного рода изменениям в геометрии обмоток и их элементов.

Рис. 1. Дефект обмотки трансформатора ТДТН-63000/110

Чувствительность этого метода можно увеличить, если использовать импульсы с наносекундным фронтом. Для проверки этого предположения разработан специальный кабельный генератор, который позволяет формировать на согласованной нагрузке импульс длительностью t = 240 нс с фронтом порядка 10 нс амплитудой 132 В.



а) б)

Рис. 2. Схемы соединения обмоток трансформатора и места приложения зондирующего импульса

Исследования проведены на трансформаторе типа *TDBTS*-10, *I*=370 мА, *F*=50 Гц. Импульс с кабельного генератора подавался на одну из обмоток трансформатора. Эти импульсы в дальнейшем будем называть зондирующими.

Регистрация сигналов с других обмоток осуществлялась с помощью осциллографа

Tectronix, эти сигналы обычно называются откликами. Методика исследования заключалась в следующем. Сначала снимались, так называемые, нормограммы, т. е. на одну из обмоток бездефектного трансформатора подавался зондирующий импульс, а с других обмоток снимались отклики. Затем искусственно создавались дефекты обмоток (закорачивались некоторые обмотки или создавались короткозамкнутые витки) и, подавая зондирующие импульсы, снимались отклики, которые будем называть дефектограммами. После этого сравнивались нормограммы и дефектограммы. Отклонения дефектограмм от нормограмм говорят о чувствительности диагностики к соответствующим дефектам обмоток трансформатора.

Исследование проводилось для двух схем соединения обмоток трансформатора: 1) обмотки высокого и низкого напряжения соединялись в "звезду" (рис. 2, а); 2) обмотки высокого напряжения соединялись в "звезду", а обмотки низкого напряжения соединялись в "треугольник" (рис. 2б).

Для сравнительного анализа были сняты нормограммы (трансформатор без дефектов) и дефектограммы (когда на трансформаторе были дефекты), а также проведен их сравнительный анализ для качественной оценки результатов НВИ. Далее на осциллограммах при наложении дефектограмм на нормограммы совмещались по оси времени начала переходного процесса, и определялись максимальные амплитудные отклонения дефектограмм от нормограмм.

На рис. 3 приведены совмещенные нормограммы с дефектограммами, снятые для соединения обмоток трансформатора по схеме рис.2, а.

а) б) в)

Рис. 3. Совмещенные нормограммы с дефектограммами трансформатора (рис. 1, а), у которого закорочены витки обмотки высокого напряжения фазы В: а – отклик на обмотке аа', б – отклик на обмотке bb', в – отклик на обмотке сс'

Данным методом хорошо диагностируются трансформаторы, у которых низковольтные обмотки соединены в "треугольник" (рис. 4). По рис. 4, б видно, что на поврежденной фазе дефектограмма значимо отличается от нормограммы.

Рис. 4. Совмещенные нормограммы с дефектограммами трансформатора (рис. 1, б), у которого закорочены витки обмотки высокого напряжения фазы В: а – отклик на обмотке аа', б – отклик на обмотке bb', в – отклик на обмотке сс'

Таким образом, экспериментально подтверждена возможность диагностирования замыкания витков обмотки посредством наносекундных низковольтных импульсов и выделения обмотки, на которой произошло витковое замыкание, независимо от способа соединения обмоток.

Рассмотренный выше метод низковольтных импульсов с наносекундным фронтом позволяет на ранней стадии выявлять такие дефекты, как деформации, смещения, распрессовки, а

также полегания проводников и межвитковые замыкания, что положительно отличает его от традиционных, и позволяет распознать дефект еще до его появления. Метод хроматографического анализа трансформаторного масла при правильной обработке результатов позволяет выявлять с высокой степенью достоверности замыкания, связанные с дуговыми процессами, например межвитковые замыкания.

Список литературы:

1. Хренников А.Ю. Опыт обнаружения остаточных деформаций обмоток силовых трансформаторов//Энергетик.- №7.- 2003.
2. Алексеев Б.А. Контроль состояния (диагностика) крупных силовых трансформаторов. – М.:Изд-во НЦ ЭНАС, 2002. -216 с.: ил. – (Основное электрооборудование в энергосистемах: обзор отечественного и зарубежного опыта).
3. РД 153-34.0-46.302-00 «Методические указания по диагностике развивающихся дефектов трансформаторного оборудования по результатам хроматографического анализа газов растворенных в масле».
4. Лех В., Тымински Л. Новый метод индикации повреждений при испытании трансформаторов на динамическую прочность // Электричество, 1966. № 1.
5. РД 34.45-51.300-97 (с изм. 1,2 2000). Объем и нормы испытаний электрооборудования. М.: ЭНАС,2000.

УДК 621.311.004.13

Процесс заиление водохранилища Нурекской ГЭС и его влияние на режим работы каскада Вахшских ГЭС

А.К. Киргизов, Л.С. Касобов

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими, г. Душанбе, Республика Таджикистан,
E-mail: loiknstu@mail.ru

К основным характеристикам водохранилища относятся полезный объем $V_{нпу}$ – он соответствует отметке наивысшего проектного уровня (НПУ) в верхнем бьефе, который должен поддерживаться при нормальных условиях эксплуатации гидроузла. Он складывается из двух составляющих: мёртвого и полезного объемов;

Мёртвый объём $V_{умо}$ – постоянный объем водохранилища, который в нормальных условиях эксплуатации не срабатывается и в регулировании стока не участвует. Он представляется как неприкосновенный запас, который может быть израсходован лишь в чрезвычайных условиях (при постоянной засухе или необходимости срочного обеспечения водоснабжения). Мёртвый объём находят расчетным путем с учетом заиления водохранилища различными наносами, санитарно-технических и гидробиологических требований, обеспечения приемлемого качество воды, обеспечения условия для гидроэнергетики, мелиорации и др. Любое водохранилище вносить изменения в гидравлический режим водотока: уменьшаются скорости течения и уклоны свободной поверхности воды, растет глубина потока и т.д. Наносы, которые увлекают за собой поток по дну или во взвешенном состоянии, постепенно осаждаются и откладываются в чаше водохранилища, лишь незначительная часть транзитом проходить в нижний бьеф гидроузла. Процесс заполнения водохранилища наносами называется заилением, он достаточно длителен и зависит от многих факторов: размеров и конфигурации водохранилища, устойчивости берегов, режима стока, состава наносов, режима сработки и наполнения уровня водохранилища и д.р. Продолжительность полного заиления до отметки НПУ носит название «срока заиления». Теоретическое время заиления можно найти по формуле [1]:

$$t_у = V_{НПУ} / V_н = 10{,}5/0{,}085 \cong 123 \text{ лет} \quad (1)$$

где $\mathbf{V_{НПУ}}$ - полный объём водохранилища при НПУ 10,5млрд. $м^3$; $\mathbf{V_н}$ –средний многолетний объем наносов, поступающих в водохранилище, $м^3$ в год. -0,085 млрд. тонн /год.

При расчете также употребляют термин « срок службы водохранилища» - время, в течение, которого наносами заполоняется мертвый объем водохранилища, т.е. срок, в течение которого возможно регулирование санитарно - гидробиологического режима с помощью мертвого объема:

$$t_{сл} = V_{умо} / V_н = 6/0{,}085 \cong 70 \text{ лет}, \quad (2)$$

где $\mathbf{V_{УМО}}$ – мертвый объем, млрд. $м^3$; $\mathbf{V_Н}$ – средний многолетний объем наносов, поступающих в водохранилище.

Средневзвещанные наноси, по реке Вахш согласно [1] составит 4,16 кг/м^3. Исходя, из этого по среднемноголетнему расходу 645 м^3 /сек, приход годовых взвещанных наносов до Нурекского водохранилища составляет 85 млн. тонн.

Объём наносов попадающих в водохранилище, за 37 летний период эксплуатации, составляет 3,13 млрд. тонн. Таким образом, на сегодняшний день исходя из расчетов, общий объем Нурекского водохранилища уменьшился по сравнению с проектным - 10,5 млрд. м^3 и составить 7,37 млрд. м^3. Однако, нормы наносы по реке Вахш различаются друг от друга по разным литературным источникам и авторам. По [1] и [2] даётся 4.16 кг/м^3, а по [3] дается цифра в 5.5 кг/м^3, встречается даже около 10. Заполнение мертвого объема водохранилища наносами может происходить в результате переформирования берегов водохранилища. Переформирование берегов зависит от ветровых волн, изменения уровня воды при сработке и наполнении, состав грунтов и гидрогеологических условий местности. Только по отношению Нурекского водохранилища можем привести пример, что его сработка в последние годы не допустимо идет ниже уровня мертвого объема, которое ускоряет объем заиления. Нами рассматривается два варианта распределения общего значения наноса на полезный и мертвый объемы: 1) 32/68 и 50/50. Таким образом, по предварительным расчетам полезный объем Нурекского водохранилища заилено на 1 млрд. м^3 и составляет 3,5 млрд. м^3, а мертвый объем заилено на 2,13 млрд. м^3 и составляет 3,869 млрд. м3 по первому варианту и на 1,565 соответственно для каждого объёмов по второму варианту. Кривые объема водохранилища Нурекской ГЭС с учетом заиления приведены рис. 1.

Таблица 1. Объем водохранилища, км^3

Отметки, м	**проект.**	**1989 г.**	**1994 г.**	**2001 г.**	**2009 г.**
645	0	0	0	0	0
680	0,0147	0	0	0	0
700	0,0977	0	0	0	0
720	0,32	0,169	0	0	0
740	0,68	0,471	0,255	0,0696	0,1
760	1,22	1,027	0,75	0,355	0,36
780	1,91	1,7	1,41	0,8444	0,8
800	2,724	2,45	2,09	1,5788	1,35
820	3,7	3,35	2,92	2,3518	2,1
840	4,84	4,36	3,86	3,244	3,0342
860	6,17	5,45	4,92	4,393	4,045
880	7,72	6,63	6,025	5,8325	5,25
900	9,464	8,01	7,295	7,5274	6,55
910	10,5	8,66	7,965	8,5439	7,369

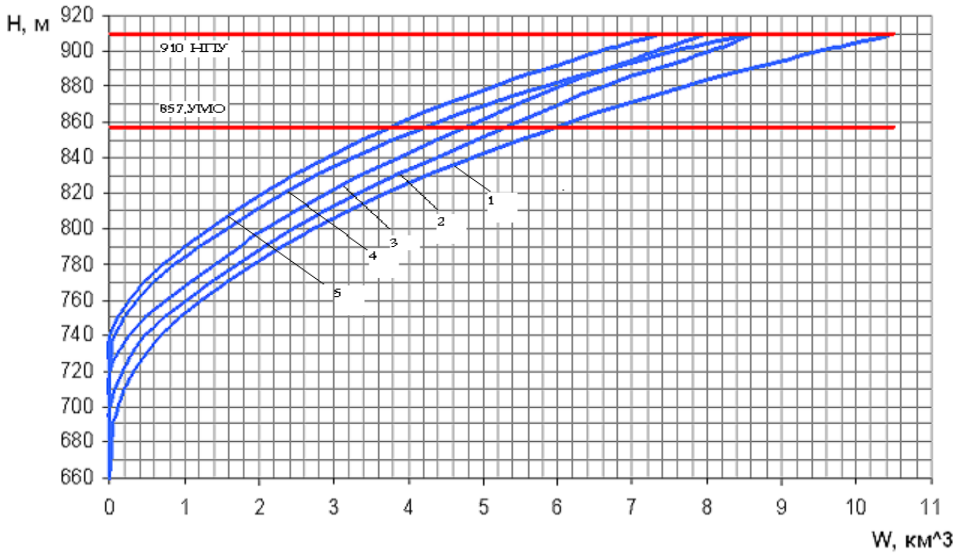


Рис. 1. Кривые объема водохранилища Нурекской ГЭС
1-Проектная, 2- 1989 г., 3-1994 г., 4- 2001 г., 5- 2009 г.

Данный расчет является приблизительным, но для более точного определения объема заиления водохранилища, а это достаточно важно, в настоящее время, необходимо привести научно-исследовательские и проектные работы с привлечением специализированных организаций. Только после этого можно вести подготовки по проведению управления водными ресурсами реки Вахш.

Мы также обращаем ваше внимание на тот факт, что начатое строительство Рогунского гидроузла по нашим расчетам в значительной степени ускоряет процесс заиления Нурекского водохранилища. “Барки Точик” должен выяснить данный вопрос и соответствующим образом поручить своему проектному подразделению, исследовать данный важный вопрос. Пути уменьшения процесса заиления:

Для предотвращения и уменьшения объема заиления водохранилища на практике обычно осуществляют ряд мероприятий, на пример:

-организация рационального природопользования (применение почва защитных севооборотов, залужение и трассирование крутых склонов, облесение и закрепление оврагов, берегов водохранилища и другие агротехнические, культуро-технические и лесомелиоративные мероприятия);

-сооружение в верховьях рек перед регулирующим водохранилищем одного или несколько специальных водоемов для борьбы с наносами и снижение размывающей способности потока. Так как, уже в проекте есть строительство водохранилища Рогунской ГЭС, то надо просто ускорить её строительство для того, чтобы значительно снизить объем заиления водохранилища Нурекской ГЭС.

Выводы: Процесс заиления водохранилища в горных реках в основном происходит очень быстро и главным образом с хвостовой части к тому же - полезная ёмкость. Проведенный анализ сделан по данным, которым были предоставлены нам ПТО Нурекской гидроэлектростанции, однако эти данные взывают сомнение. Используя данных [2] и других характеристик реки Вахш, нами предварительно были определены объемы водохранилища (полезный и мертвый) по состоянию 2009года. С другой стороны процесс заиления может произойти быстрее, так как происходить переформирование берегов в результате сработки мертвого объема. Строительство Рогунского водохранилища также ускоряет процесс заиления на период строительства, так как миллионы тон земляных пород которые используется для сооружения плотины и огромный процент из которых, попадая в реку, заиливается в водохранилище Нурекской ГЭС.

Список литературы:

1. Авакян А.Б., Шарапов В.А. Водохранилища гидроэлектростанций СССР.- М.: Энергия, 1977. – 400 с.
2. Шульц В.Л. Реки Средней Азии.- Л.:2001
3. Большая Советская энциклопедия. (Таджикский ССР) Москва. 1968 г.
4. http://www.our-tajikistan.com

УДК 621.398

Алгоритмы выявления и компенсации высших гармоник активными системами коррекции формы кривых тока и напряжения в электрических сетях нефтедобывающих предприятий

И.С. Кондратьев, Ю.А. Сычев

Санкт-Петербургский государственный горный университет, Санкт-Петербург, Россия

E-mail: vkondr@inbox.ru; Sychev_yura@mail.ru; YA_Sychev@mail.ru

Показана эффективность использования системы фазовой автоподстройки частоты при выявлении и компенсации высших гармоник активными системами коррекции формы кривых тока и напряжения на основе параллельных активных фильтров в электрических сетях нефтедобывающих предприятий.

Результаты многочисленных теоретических и экспериментальных исследований, проведенных в электрических сетях предприятий нефтедобычи, показали, что наиболее эффективным техническим средством компенсации высших гармоник являются активные системы коррекции формы кривых тока и напряжения на основе параллельных активных фильтров [1, 2].

Основной принцип компенсации генерируемых нелинейной нагрузкой высших гармоник активными системами заключается в определении состава гармонического спектра искаженного тока сети и генерации компенсационного тока в сеть, который частично или полностью, в

зависимости от поставленной задачи, устраняет высшие гармоники тока, искажающие форму кривых тока и напряжения сети. При формировании компенсационного тока также учитывается величина компенсируемой реактивной мощности.

Гармонический спектр искаженного тока и напряжения сети определяется датчиками тока и напряжения, сигналы от которых поступают в систему управления параллельного активного фильтра и подвергаются дальнейшей обработке. На основании данных, полученных о гармоническом спектре искаженного тока и напряжения сети, необходимо выявить порядки и величины высших гармоник тока и напряжения, которые необходимо компенсировать.

Одним из ключевых этапов функционирования активных систем коррекции является выявление компенсируемых высших гармоник тока и напряжения и формирование опорного синусоидального тока или напряжения. Существует ряд способов для реализации указанных этапов функционирования, которые являются неотъемлемой частью алгоритмического обеспечения активных систем коррекции формы кривых тока и напряжения.

Численные методы, такие как быстрое преобразование Фурье и дискретное преобразование Фурье, при динамическом характере компенсируемой нелинейной нагрузки обладают определенным уровнем погрешности, делающим их применение в условиях минерально-сырьевого комплекса нецелесообразным и не достаточно эффективным.

Наибольшее применение в алгоритмах функционирования активных систем коррекции формы кривых тока и напряжения для формирования опорного тока или напряжения находят системы фазовой автоподстройки частоты, позволяющие в режиме реального времени отслеживать изменение амплитудного и фазового состава гармонического спектра компенсируемой нелинейной нагрузки, работающей в динамическом режиме. Функционирование системы фазовой автоподстройки частоты может быть основано на различных опорных системах координат α-β, u-v и d-q, в которых выполняются различного типа преобразования для формирования опорного тока или напряжения. Выбор той или иной опорной системы координат определяется наличием несимметрии в компенсируемой нелинейной нагрузке и необходимости компенсации реактивной мощности, создаваемой основной составляющей или высшими гармониками.

Функциональная схема разработанной системы управления активной системой приведена на рис.1., где U_{ab}, U_{bc} – измерительные сигналы линейных напряжений сети; U_α, U_β - сигналы преобразованных линейных напряжений в системе координат $\alpha\beta$; $\cos\varphi'$, $\sin\varphi'$ - соответственно косинус и синус угла между изображающим вектором напряжения и его проекциями на оси α и β; U_c – сигнал заданного напряжения накопительного конденсатора; U_{cf} – измерительный сигнал фактического напряжения накопительного конденсатора; I_{ref} – сигнал задания по току; $I_{f\ abc}$ – измерительные сигналы фактического тока параллельного активного фильтра по фазам; $I_{m\ abc}$ – измерительные сигналы фактического тока компенсируемой сети по фазам; $I_{ref\ abc}$ – сигнал опорного тока по фазам; I_h – сигнал рассогласования по токам [3].

При формировании опорного сигнала тока ($I_{ref\ abc}$) система управления использует преобразования из трехфазной системы a, b, c в двухфазную систему α, β. С помощью датчиков напряжения измеряются линейные напряжения компенсируемой сети U_{ab} и U_{bc}, которые затем преобразовываются в систему координат α, β, с помощью следующих выражений [3]:

$$\begin{aligned} U_\alpha &= (2 \cdot U_{ab} + U_{bc}) / 3; \\ U_\beta &= U_{bc} / \sqrt{3}. \end{aligned} \qquad (1)$$

На схеме (см. рис.1) данные вычисления выполняет преобразователь фаз 3-2, на вход которого поступают измерительные сигналы с датчиков напряжения [3].

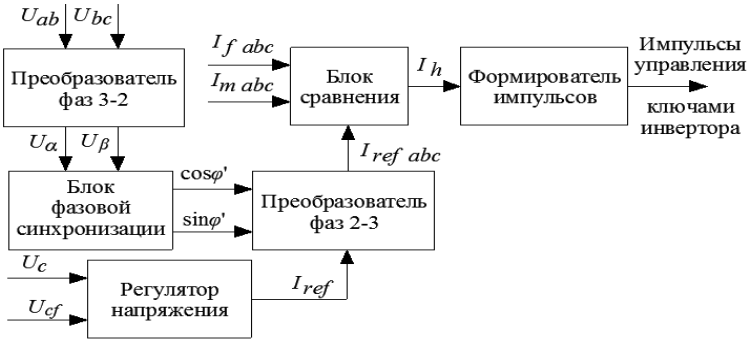


Рис.1. Функциональная схема системы управления активной системой коррекции формы кривых тока и напряжения с использованием фазовых преобразований для компенсации высших гармоник тока и напряжения

Линейные напряжения сети U_{ab} и U_{bc} содержат в себе спектральный состав гармонических искажений, вносимых нелинейной нагрузкой. Для выделения из этих напряжений основной составляющей, необходима система фазовой автоподстройки частоты, которая генерирует два напряжения синусоидальной формы и единичной амплитуды, причем фаза этих сигналов с помощью регулятора подстраивается под фазу входных сигналов искаженных линейных напряжений сети. На основе такой системы фазовой автоподстройки частоты выполнен блок фазовой синхронизации, входные сигналы которого преобразуются в сигналы единичной амплитуды согласно следующим формулам [3]:

$$\begin{aligned} \cos\varphi &= U_{\alpha} / U_{sm}; \\ \sin\varphi &= U_{\beta} / U_{sm}; \\ U_{sm} &= \sqrt{U_{\alpha}^2 + U_{\beta}^2}, \end{aligned} \tag{2}$$

где: угол φ – соответствует углу между вектором напряжения U_{sm} и его составляющими по осям α и β. Угол φ подстраивается блоком фазовой синхронизации до значения $\varphi^{/}$, соответствующего синусоидальной форме кривых напряжения и тока сети.

Напряжение на накопительном конденсаторе поддерживается на заданном уровне с помощью ПИ регулятора, который формирует задание по генерируемому инвертором компенсационному току, на основании информации о фактическом U_{cf} и заданном U_c напряжении конденсатора. Заданный регулятором ток I_{ref} сначала преобразуется в двухфазную систему [3]:

$$\begin{aligned} I_{ref\ \alpha} &= I_{ref}\cos\varphi^{/}; \\ I_{ref\ \beta} &= I_{ref}\sin\varphi^{/} \end{aligned} \tag{3}$$

а затем, из двухфазной системы преобразуется в трехфазную, согласно формулам [3]:

$$\begin{aligned} I_{ref\ a} &= I_{ref\,\alpha}; \\ I_{ref\ b} &= (\sqrt{3}\cdot I_{ref\,\beta} - I_{ref\,\alpha})/2; \\ I_{ref\ c} &= (-\sqrt{3}\cdot I_{ref\,\beta} - I_{ref\,\alpha})/2. \end{aligned} \tag{4}$$

Полученные заданные значения токов $I_{ref\ abc}$ сравниваются с искаженным токами нелинейной нагрузки $I_{m\ abc}$ и фактическим током параллельного активного фильтра $I_{f\ abc}$ блоком сравнения. Сигнал рассогласования по токам I_h на выходе блока сравнения поступает на вход формирователя импульсов, выполненного на основе релейных регуляторов, который генерирует импульсы управления силовыми ключами инвертора.

Эффективность функционирования представленной системы управления подтверждена результатами математического моделирования.

Приведенная система управления защищена патентом на изобретение № 2354025.

Список литературы:

1. Абрамович Б.Н., Медведев А.В., Старостин В.В., Аболемов Е.Н., Полищук В.В., Сычев Ю.А. Промышленные испытания активного фильтра в промысловых сетях ОАО «Оренбургнефть ТНК-ВР» // Промышленная энергетика. – 2008. - № 10 – С. 42-46.
2. Абрамович Б.Н., Медведев А.В., Старостин В.В., Аболемов Е.Н., Полищук В.В., Сычев Ю.А. Коррекция коэффициента мощности в сетях нефтепромыслов с помощью активного фильтра // Нефтяное хозяйство. - 2008. - № 5 – С. 88-90.
3. Способ компенсации высших гармоник и коррекции коэффициента мощности сети: пат. 2354025 Рос. Федерация. № 2008117891/09; заявл. 04.05.08; опубл. 27.04.2009, Бюл. № 12. – 3 с.

УДК 621.311

Применение нетрадиционных возобновляемых источников энергии для электроэнергетики России

З.А. Муталибов, Р.С. Федюк

Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток, Россия

E-mail: roman44@yandex.ru

Рассмотрена история применения нетрадиционных возоблновляемых источников энергии (НВИЭ) в нашей стране. Приведебны перспективы использования НВИЭ в дальнейшем, особое внимание уделено приливной энергетике.

Наружный климат, тепло земли, водные ресурсы, биомасса и т.д. являются источником энергии, поэтому следует предусмотреть возможность его использования при помощи тепловых насосов солнечных коллекторов, ветроэнергетических установок и т.п.

Россия располагает большими потенциальными запасами геотермальной энергии в виде парогидротерм вулканических районов и энергетических термальных вод с температурой 60-200°С в платформенных и предгорных районах. В 1967 г. на южной оконечности Камчатки была создана первая в стране Паужетская ГеоТЭС мощностью 5 МВт, доведенная впоследствии до мощности 11 МВт. Пробуренные в Паужетской геотермальной системе несколько десятков скважин в суммарном объёме производят пароводяную смесь в количестве, достаточном для расширения Паужетской ГеоТЭС до 25 МВт [1].

Недавний экономический кризис сказался и на сфере использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии (НВИЭ). Несмотря на это удалось сохранить научно-технический потенциал и освоить выпуск новой продукции. Так на ОАО «Калужский турбинный завод» производятся конденсационные блок-модульные ГеоТЭС мощностью 4 и 20 МВт. Три таких блока «Туман-4К» по 4 МВт смонтированы на Верхне-Мутновской ГеоТЭС на Камчатке. В качестве теплоносителя используется пар Мутновского месторождения давлением 0,8 МПа. Строительство Верхне-Мутновской ГеоТЭС было начато в 1995 г. и завершено в 1999 г. В настоящее время мощность введенной в эксплуатацию ГеоТЭС составляет 12 МВт.

На Мутновской ГеоТЭС, проектная мощность которой составляет 80 МВт, будут установлены 4 энергомодуля «Камчатка-20» мощностью по 20 МВт. Строительство ГеоТЭС начато в 1992 г. на двух площадках, на каждой из которых располагается главный корпус с двумя энергоблоками.

В 1989 г. на Северном Кавказе была создана опытная Ставропольская ГеоТЭС с использованием двухконтурных энергоустановок. В качестве теплоносителя применяется термальная вода с температурой 165 °С, добываемой с глубины 4,2 км. Технологическая схема ГеоТЭС была разработана в ЭНИН им. Кржижановского.

Кроме указанных геотермальных теплоэлектростанций разработан проект и выполнено технико-экономическое обоснование Океанской ГеоТЭС на о. Итуруп в Сахалинской области суммарной мощностью 1-й и 2-й очередей 30 МВт. Находится в эксплуатации Курильская ГеоТЭС мощностью 0,5 МВт.

Месторождения парогидротерм имеются в России только на Камчатке и Курилах, поэтому геотермальная энергетика не может играть значительную роль в масштабах страны в целом. Но для указанных районов, энергоснабжение которых целиком зависит от привозного топлива, геотермальная энергетика способна радикально решить проблему энергообеспечения.

В свое время в бывшем СССР широкое распространение получили малые ГЭС, которые затем были законсервированы или списаны. Сейчас есть предпосылки возврата к малым ГЭС на новой основе, за счет производства современных гидроагрегатов мощностью от 10 до 5860 кВт. В настоящее время действуют около 50 микроГЭС мощностью от 1,5 до 50 кВт, в том числе каскад ГЭС на р. Толмачева мощностью трех очередей около 45 МВт.

В области ветроэнергетики созданы образцы отечественных ветроэнергетических установок (ВЭУ) мощностью 250 и 1000 кВт, находящиеся в опытной эксплуатации. Налаживается сотрудничество с зарубежными организациями и фирмами, имеющими большой опыт в этой области.

Недалеко от г. Элиста планируется строительство крупной Калмыцкой ВЭС, проектная мощность которой составляет 23 МВт. Первая очередь была построена на базе ВЭУ «Радуга-1» мощностью 1,0 МВт и с июля 1995 г. подключена к энергосистеме Калмыкии. Установка работает в круглосуточном режиме.

В Ростовской области в составе «Ростовэнерго» работает ВЭС, известная как ВЭС-300. В ее составе 10 ВЭУ мощностью по 30 кВт каждая. ВЭУ предоставила немецкая компания HSW в рамках проекта »Эльдорадо Винд».

Заполярная ВЭС мощностью 1,5 МВт (г. Воркута) успешно эксплуатируются с 1993 года. Она построена на базе шести установок АВЭ-250 российско-украинского производства мощностью 200-250 кВт каждая.

В июле 2002 г. при поддержке датской компании «SEAS Energi Service A.S.» состоялось открытие крупной ВЭС возле поселка Куликово Калининградской области. Куликовская ВЭС состоит из 21 ВЭУ датского производства мощностью 225 кВт каждая, суммарная мощность составляет 5,1 МВт. В дальнейшем планируется создание в Калининградской области первой

коммерческой ветроэлектрической станции морского базирования мощностью 50 МВт. Ветропарк будет построен в 500 метрах от берега на шельфе Балтийского моря.

Подготовлено технико-экономическое обоснование Приморской ветровой электростанции общей мощностью 30 МВт. В качестве основного технологического оборудования приняты комплексные автоматизированные ВЭУ фирмы «Радуга» единичной мощностью 250 и 1000 кВт, поставляемые заводом укрупненными блоками максимальной заводской готовности. ВЭС будет размещается на мысе Лукина, где планируется установить 80 ВЭУ мощностью 250 кВт, и на мысе Поворотном – 10 ВЭУ мощностью 1,0 МВт [2].

Кроме перечисленных ВЭС в эксплуатации находятся до 1500 ветроустановок различной мощности (от 0,08 до 30 кВт).

В России в настоящее время работают несколько комплексов с биогазовыми установками, среди них: в Подмосковье – птицефабрика «Новомосковская», животноводческая ферма «Поярково» агрофирмы «Искра» Солнечногорского района Московской области, Сергачевская птицефабрика в Нижегородской области. В Российской отраслевой программе «Энергосбережение в АПК» на 2001-2006 годы, в разных областях, запланировано строительство 126 биогазовых установок. Кроме этого имеются технические разработки по использованию биогаза в качестве автомобильного топлива.

В восьмидесятые годы в Крыму была построена первая экспериментальная солнечная электростанция СЭС-5 мощностью 5 МВт с термодинамическим циклом преобразования энергии, а также экспериментальный комплекс сооружений с солнечным тепло- и хладоснабжением. В 60-70-е годы появились также фотоэлектрические установки автономного электроснабжения. К концу 80-х годов в бывшем СССР в эксплуатации находились солнечные установки горячего водоснабжения с общей площадью около 150 тыс.м ^{2}, а производство солнечных коллекторов доходило до 80 тыс. м^2 в год [2].

В 1968 г. в Кислой губе на побережье Баренцева моря появилась экспериментальная Кислогубская ПЭС мощностью 0,4 МВт, на строительстве которой был впервые использован отечественный прогрессивный метод наплавного строительства плотины. На ПЭС был установлен один обратимый капсульный агрегат французской фирмы «Нейрпик». Кислогубская ПЭС является научной базой ОАО «Научно-исследовательский институт энергетических сооружений». В последние годы станция не эксплуатировалась, но июне 2003 г. руководством Мурманской области и РАО «ЕЭС России» принято совместное решение о ее восстановлении. Гидроагрегаты для восстановления станции и увеличения ее мощности заказаны на предприятии «Звездочка» г. Северодвинск Архангельской области.

В качестве перспектив развития приливной энергетики в России следует отметить проекты Мезенской ПЭС на Белом море (19200 МВт), Тугурской ПЭС на Охотском море (7980 МВт) [3]. Колоссальные мощности проектируемых ПЭС, обусловленные природными условиями, требуют большое число (по нескольку сотен) гидроагрегатов на каждой станции, длительные сроки строительства, огромные капиталовложения как непосредственно в строительство ПЭС, так и в мероприятия по их адаптации в рамках энергосистемы). Все это делает создание этих ПЭС предметом отдаленного будущего.

Список литературы:

1. Баланчевадзе В. И., Барановский А. И. Энергетика сегодня и завтра. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 344 с.
2. Более чем достаточно. Оптимистический взгляд на будущее энергетики мира / Под ред. Р. Кларка: Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1994. – 215 с.
3. Источники энергии. Факты, проблемы, решения. – М.: Наука и техника, 1997. – 110 с.

Планирование графика загрузки электростанции

В.П. Обоскалов, Ф.Ю. Черных, И.В. Карпов
Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина
г. Екатеринбург, Россия

Общими принципами организации экономических отношений и основами государственной политики в сфере электроэнергетики являются использование рыночных отношений и конкуренции в качестве одного из основных инструментов формирования устойчивой системы удовлетворения спроса на электрическую энергию (ЭЭ) при условии обеспечения надлежащего качества и минимизации стоимости ЭЭ [1].

Задача формирования оптимального электроэнергетического режима в энергосистеме относится к классу задач краткосрочного планирования, решаемому ОАО «Системным оператором Единой энергетической системы» (СО). СО осуществляет разработку оптимальных суточных графиков работы электростанций (ЭС) и электрических сетей энергосистемы России. В то же время основой для краткосрочного планирования (КП) выступают заявляемые ЭС или генерирующими компаниями технико-экономические характеристики генерирующего оборудования (состояние оборудования, максимальная и минимальная мощности, ценовые заявки на выработку ЭЭ) [2]. Графики загрузки ЭС и узловые цены, складывающиеся на этапах КП, определяют экономичность режима работы энергосистемы в целом.

Обеспечение экономических интересов ЭС на оптовом рынке электроэнергии и мощности (ОРЭМ) осуществляется через формирование корректных ценовых заявок (ЦЗ), позволяющих получить на этапах КП оптимальный график нагрузки ЭС. В зависимости от степени воздействия ЭС на экономичность режима работы энергосистемы определяется и стратегия её поведения. Выделяются три основных вида воздействия ЭС на экономичность режимов энергосистемы: ЭС не влияет на уровень узловых цен ЭЭ в энергосистеме; ЭС определяет уровень узловых цен ЭЭ в энергосистеме; ЭС влияет на уровень узловых цен ЭЭ в энергосистеме.

Наиболее распространенной является ситуация, когда ЭС не влияет на экономичность режимов энергосистемы. Рассмотрим данную ситуацию, принимая во внимание, что оплата объема произведенной ЭЭ осуществляется по цене ОРЭМ вне зависимости от поданной электростанцией ЦЗ. От подаваемой ЦЗ в данном случае будет зависеть режим работы ЭС. При формировании ЦЗ на этапе КП используется прогноз узловой цены ЭЭ, а также учитывается доход только от реализации ЭЭ и игнорируется доход от реализации системных услуг и иных товаров (мощность, тепловая энергия и т.д.).

Рассматриваемая ситуация характерна для избыточных районов энергосистемы, где отсутствуют активные (вышедшие на предел) сетевые ограничения. Если ЭС не является ценозамыкающей в течение всего расчетного периода, то уровень узловых цен определяется внешними по отношению к участнику ОРЭМ условиями (составом и параметрами иного ГО). В данном случае, как правило, ЭС либо загружается до максимума (при низкой ЦЗ), либо разгружается до минимума (при высокой ЦЗ). Однако при многоступенчатой ЦЗ возможна загрузка ЭС внутри регулировочного диапазона мощности с нагрузкой, определяемой СО.

При определении оптимальной стратегии ЭС ориентируется на прибыль, которая определяется выражением

$$\Pi(P) = CP - B(P) = CP - b(P)P = P\big(C - b(P)\big), \quad (1)$$

где C – цена ЭЭ на ОРЭМ; P – нагрузка электростанции (турбоагрегата), $B(P)$ – характеристика затрат на производство ЭЭ; $b(P) = B(P)/P$ – характеристика удельных затрат. При этом оптимальное (по критерию максимальной прибыли) значение нагрузки ЭС соответствует условию

$$\Pi'(P) = C - B'(P) = C - \varepsilon(P) = 0, \quad (2)$$

где $\varepsilon(P)$ – характеристика относительных приростов затрат на производство ЭЭ.

Анализируя (2), можно говорить о том, что вне зависимости от величины и знака прибыли нагрузка ЭС должна быть такой, чтобы относительный прирост (ОП) стоимости производимой на электростанции ЭЭ был равен прогнозной цене ЭЭ на ОРЭМ ($C = \varepsilon$). Это условие соблюдается при использовании как функциональной (не ступенчатой), так и многоступенчатой в целом для расчетных суток или одноступенчатой в отношении каждого часа расчетных суток ЦЗ. Дополнительный учет технологических ограничений определяет необходимость проверки крайних точек регулировочного диапазона ЭС.

В качестве примера рассмотрим стратегию формирования одноступенчатой ЦЗ электростанции, суммарная расходная характеристика турбоагрегатов которой имеет вид

$$B = 0.007P^2 + 6P + 300,$$

а регулировочный диапазон изменения нагрузки ЭС составляет $130 \le P \le 220$.

В зависимости от параметров расходной характеристики ЭС, регулировочного диапазона и складывающейся рыночной ситуации (цены ЭЭ), будет меняться и нагрузка ЭС. При этом можно выделить следующие оптимальные режимы работы (стратегии поведения) ЭС.

Работа электростанции на минимальной нагрузке. Такой режим работы характерен для случаев, когда ОП, соответствующий минимальной нагрузке, и, следовательно, заявляемая цена, превышает прогнозную цену ЭЭ (например, c=7 у.е./МВтч) на ОРЭМ: $\varepsilon(P_{min}) = 7{,}32 \ge c = 7$. В

рассматриваемой ситуации любая нагрузка ЭС за исключением минимальной не является приемлемой по критерию максимальной прибыли. Как правило, удельные затраты (УЗ) на производство ЭЭ при минимальной мощности ЭС больше ОП. Отсюда цена ЭЭ в энергосистеме не позволяет компенсировать соответствующие затраты (прибыль ЭС является отрицательной). Возникает проблема выбора состояния турбоагрегатов (включен-отключен), которая должна решаться в рамках иной задачи – выбора состава включенного генерирующего оборудования. При этом не исключается возможность работы ЭС в течение некоторого времени с отрицательной прибылью. Для гарантированного обеспечения оптимального режима минимальной нагрузки ЭС, необходимо в ЦЗ указать цену, превышающую прогнозную цену ЭЭ в энергосистеме. В частности, ЭС может заявить в ЦЗ цену ЭЭ, соответствующую удельным затратам на производство ЭЭ при минимальной нагрузке. Двух и более ступенчатые ЦЗ здесь лишены смысла.

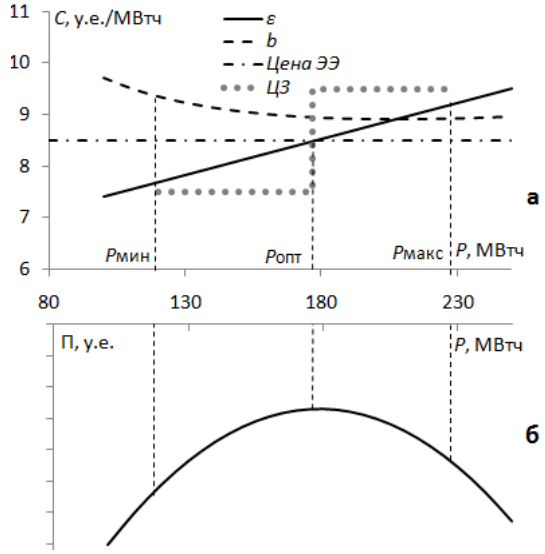


Рис. 1. Стратегия электростанции:
а – характеристики электростанции, цена ЭЭ, ЦЗ;
б – зависимость прибыли электростанции от нагрузки

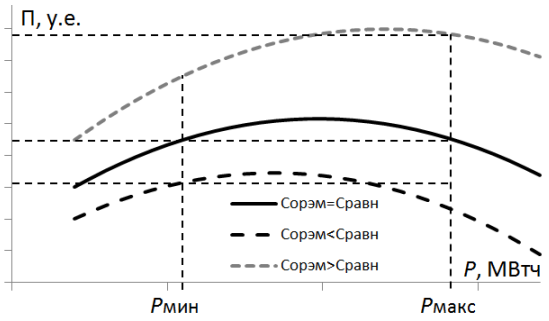


Рис. 2. Зависимость прибыли электростанции от нагрузки и цены ЭЭ в энергосистеме

Работа электростанции в регулировочном диапазоне. Данная ситуация возникает в случае, если цена ЭЭ в энергосистеме лежит в диапазоне ОП, определяемых регулировочным диапазоном ЭС: минимальной и максимальной нагрузками. Оптимальной нагрузкой ЭС в данном случае будет являться нагрузка с относительным приростом, соответствующим прогнозной цене ЭЭ в энергосистеме (рисунок 1, а; цена ЭЭ составляет 8,5 у.е./МВтч). Отклонение от указанной нагрузки будет приводить к снижению значения максимальной прибыли ЭС (рисунок 1, б). Так при ЦЗ, приводящей к меньшей загрузке ЭС, будут увеличиваться УЗ на производство ЭЭ, что совместно с меньшим доходом от реализации меньшего объема продукции приведет к снижению прибыли. При ЦЗ, приводящей к увеличению нагрузки ЭС, суммарные затраты на производство ЭЭ будут расти быстрее, нежели доход и это приведет к снижению прибыли ЭС. Следует отметить, что оптимальная нагрузка ЭС при характеристике затрат $B(P)=\alpha P^2+\beta P+\gamma$ составляет:

$$P_{опт} = \frac{c-\beta}{2\alpha} = P_{вк}\frac{c-\beta}{2\sqrt{\alpha\gamma}},$$

Оптимальной, с точки зрения максимизации прибыли, является работа электростанции с ЦЗ, приводящей к загрузке, соответствующей равенству относительного прироста ЭС и прогнозной цены ЭЭ в энергосистеме. Такая загрузка возможна в случае подачи функциональной или многоступенчатой ЦЗ. Так, например, в двухступенчатой ЦЗ первая ступень ЦЗ должна соответствовать диапазону мощности $\{P_{min}; P_{опт}\}$ с ценой ниже, чем ожидаемая цена на ОРЭМ, а вторая ступень – $\{P_{опт}; P_{max}\}$ с ценой, выше, чем цена на ОРЭМ (см. рисунок 1, а). В этом случае ЭС всегда будет загружаться до значения мощности $P_{опт}$, соответствующей максимальной прибыли ГК при ожидаемой цене.

Данная стратегия не возможна при одноступенчатой ЦЗ, где априори реализуются лишь два значения мощности – P_{min} и P_{max}. Но в частном случае, когда цена ЭЭ в энергосистеме действительно будет равна ЦЗ, определяемая СО мощность при одноступенчатой ЦЗ может быть любой в диапазоне $(P_{min}; P_{max})$. Отсюда единственно возможным способом предопределить величину нагрузки ЭС $P_{min} < P < P_{max}$ является задание многоступенчатой ЦЗ.

Работа электростанции с максимальной нагрузкой. Данный режим характерен для случаев, когда ОП электростанции на всем регулировочном диапазоне ниже прогнозной цены ЭЭ в энергосистеме. Максимальная нагрузка ЭС является оптимальной по критерию максимальной прибыли. Поскольку, как правило, УЗ при максимальной мощности меньше ОП (а, следовательно, и цены в энергосистеме), то данная нагрузка ЭС позволяет не только компенсировать затраты на выработку ЭЭ, но и получить дополнительную прибыль. Работа с максимальной нагрузкой может быть обеспечена при подаче ЦЗ с ценой ниже, чем прогнозная цена ЭЭ в энергосистеме. В частности, ЭС может заявить цену в ЦЗ соответствующую УЗ при максимальной нагрузке. Следует также отметить, что формирование ЦЗ с завышенной ценой приведёт к разгрузке ЭС и снижению прибыли, которая, в ряде случаев, может стать и отрицательной.

Согласно (1) прибыль ЭС будет отрицательной в случае, если цена ЭЭ будет ниже удельных затрат на производство ЭЭ ($C < b(P)$). Такая ситуация характерна для «дорогой» генерации в часы ночного минимума, при покрытии переменной части графика электропотребления, а также в избыточных зонах свободного перетока. Конечно, ЭС может компенсировать стоимость производства ЭЭ через реализацию сопутствующих производству ЭЭ товаров (теплоснабжение, горячее водоснабжение, пар), а также через оказание системных услуг, но в любом случае убыток предприятию должен быть как-то скомпенсирован (возможно, интегрально). Оптимальной стратегией ЭС при отсутствии влияния на уровень цен в энергосистеме, и функциональной (многоступенчатой) ЦЗ будет являться работа с нагрузкой, соответствующей равенству прогнозной цены ЭЭ в энергосистеме относительному приросту затрат на производство ЭЭ электростанции. Однако при выходе мощности ЭС, соответствующей данному равенству, за пределы регулировочного диапазона, оптимальное решение определяется граничными условиями. Таким образом, ЦЗ электростанции по возможности должна соответствовать характеристике ОП. Тогда и только тогда, участник ОРЭМ сможет получить максимальную прибыль от продажи ЭЭ, которая порой может быть и отрицательной.

Как правило, если ЭС не является ценозамыкающей, то нагрузка будет соответствовать, максимальной или минимальной мощности ЭС. Для выбора той или иной стратегии могут использоваться положения, приведенные выше, а также возможность использования для этой цели так называемого «индикатора цены равновесия». Учитывая, что прибыль ЭС, имеет квадратичный характер (рисунок 2), то при одноступенчатой ЦЗ и пограничных решениях для выбора более вероятного оптимального решения необходимо сопоставление затрат при P_{max} и P_{min}. В качестве базовой для выбора оптимальной стратегии ценой может рассматриваться такая цена, при которой прибыль при максимальной и минимальной нагрузках ЭС одинакова:

$$\Pi(P_{min}) = \Pi(P_{max}) \text{ или } C_b P_{min} - B(P_{min}) = C_b P_{max} - B(P_{max}).$$

Этому условию соответствует цена ЭЭ в энергосистеме – «индикатор цены равновесия»:

$$C_b = \frac{B(P_{max}) - B(P_{min})}{P_{max} - P_{min}}.$$

Конечно, еще большая прибыль может быть получена при работе в середине регулировочного диапазона, однако при одноступенчатой ЦЗ ориентироваться на данный вариант не имеет смысла.

Далее возникает вопрос: на какую цену z надо ориентироваться при разработке одноступенчатой ЦЗ, если цена на рынке имеет вероятностное распределение?

Ответ очевиден. Если вероятность цены $P\{c > C_b\} > 0,5$, а при симметричном вероятностном распределении, к которому относится и нормальное, это означает, что если математическое ожидание цены $\overline{C} > C_b$, то оптимальной стратегией является ориентир на P_{max}, то есть цену в ЦЗ необходимо занижать (вплоть до минимальных УЗ), в противном случае – завышать (вплоть до максимальных УЗ). Однако если выбрать в качестве заявки C_b, то это будет удовлетворять и тому и другому условию. Отсюда при формировании одноступенчатой ЦЗ заявлять в качестве цены следует брать средние на диапазоне (P_{min}, P_{max}) удельные затраты на производство ЭЭ.

Список литературы

1. Федеральный закон № 35-ФЗ "Об электроэнергетике".
2. Регламент актуализации расчетной модели. – М: НП «Совет рынка», 2011. 33 с.

УДК 621.311.001.57

Математическое моделирование узлов комплексной нагрузки, содержащих частотнорегулируемый электропривод, в задаче расчета аварийных несимметричных режимов систем промышленного электроснабжения

Е.А. Панова

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова,
г. Магнитогорск, Росия
E-mail: panova.ea@gmail.com

Рассмотрен алгоритм расчета параметров частотнорегулируемого электропривода в несимметричных режимах работы системы электроснабжения. Полученный алгоритм позволяет определить параметры эквивалентного узла комплексной нагрузки с целью расчета несимметричных аварийных режимов.

Частотно-регулируемые синхронные и асинхронные двигатели, получающие питание от преобразователей частоты (ПЧ) различного принципа действия, в настоящее время широко используются для привода технологических механизмов. В условиях системы электроснабжения металлургического предприятия частотно-регулируемый электропривод составляет значительную долю в общем составе электроприемников ряда цехов. Таким образом, для определения параметров узла комплексной нагрузки нельзя пренебречь влиянием двигателей, получающих питание от ПЧ, на общее потребление активной и реактивной мощности узлов нагрузки.

В данной работе рассмотрено влияние несимметрии питающего напряжения на выходное напряжение преобразователя частоты с непосредственной связью (ПЧНС) и преобразователей частоты со звеном постоянного тока с различным видом модуляции выходного напряжения.

Выходное напряжение ПЧНС формируется путем циклического подключения нагрузки к фазам питающей сети. Частота выходного напряжения определяется путем подачи в систему управления ПЧ синусоидального напряжения задания ($U_З$) требуемой частоты. Т.о. кривая выходного напряжения будет состоять из отрезков кривых питающего напряжения, построенных по огибающей кривой напряжения задания.

Так как в состав ПЧ со звеном постоянного тока входит выпрямитель, то для определения кривой выходного напряжения необходимо рассчитать напряжение на выходе выпрямителя, которое в несимметричном режиме определяется следующим образом. Рассчитывается кривая напряжения на выходе выпрямителя:

$$u'_{d.n} = u_{л.\max}$$

где $u_{л.\max}$ - максимальное значение питающего линейного напряжения.

На основании полученных значений определяется среднее напряжение на выходе выпрямителя, как:

$$U_{d.n} = U'_{d.\max} + \left(U'_{d.\max} - U'_{d.\min}\right)/2$$

Среди ПЧ со звеном постоянного тока различают ПЧ с автономным инвертором напряжения (АИН) и ПЧ с автономным инвертором тока (АИТ), причем выходное напряжение АИН может регулироваться двумя способами:

1) изменением напряжения в звене постоянного тока (при управляемом выпрямителе);
2) широтно-импульсным регулированием напряжения в инверторе (при неуправляемом выпрямителе).

Напряжение на выходе АИН с ШИМ регулируется путем изменения соотношения между положительными и отрицательными импульсами напряжения задания по синусоидальному закону. При этом напряжение на нагрузке определяется по выражениям:

$$U_{ф.вых\ n} = \mu \cdot \sin\left(\omega_s t_n\right) \cdot \tau$$

где ω_s - круговая частота модуляции; $\tau = 1/f_s$ - период несущей частоты; f_s - частота модуляции; μ - коэффициент глубины модуляции, характеризующий пределы изменения длительностей интервалов Δt_1 и Δt_2 в течение периода частоты модуляции.

Выходное напряжение АИН с АИМ изменяется путем регулирования напряжения на выходе выпрямителя и определяется следующим образом:

$$U_{ф.вых\ n} = \mu \cdot U_{m1\ n} \cdot \sin\left(2t_n f_{вых}\right) \quad (1)$$

где $U_{m1\,n} = \left(4U_{d\,n}/\pi\right)\cdot\left(\cos\left(\pi - 2\pi/3\right)/2\right)$ - амплитуда выходного напряжения.

При питании двигателя от ПЧ с АИТ формирование кривой выходного напряжения также происходит согласно выражению (1). Отличием является выражение для определения амплитуды напряжения на нагрузке:

$$U_{m1\,n} = \left(\frac{\pi}{3\sqrt{3}}\right)\cdot\frac{U_{d\,n}}{\cos\varphi_{дв.ном}}$$

В системах управления большинства частотно-регулируемых приводов применяется закон управления $U/f = const$, т.е. выходное напряжение ПЧ изменяется пропорционально частоте. Однако существуют ограничения изменения напряжения. Так при выходной частоте, находящейся в пределах $0{,}4f_{дв.ном}<f_{вых}<f_{дв.ном}$ выходное напряжение изменяется прямо пропорционально изменению частоты и, следовательно, $\mu = f_{вых}/f_{ном}$. Если выходная частота $f_{вых}>f_{дв.ном}$, то напряжение на выходе ПЧ не должно превышать номинальное и глубина модуляции принимается равной единице. При снижении выходной частоты ниже уровня $0{,}4f_{дв.ном}$ напряжение будет уменьшаться непропорционально уменьшению частоты согласно следующему выражению:

$$\mu = \frac{0{,}7I_{дв.ном}\cdot R_{дв.ном}}{\sqrt{3}\cdot U_{дв.ном}10^3} + \frac{f_{вых}}{f_{ном}}\frac{0{,}4 - \dfrac{0{,}7I_{дв.ном}\cdot R_{дв.ном}}{\sqrt{3}\cdot U_{дв.ном}10^3}}{0{,}4}$$

С использованием приведенного алгоритма была выполнена серия расчетов выходного напряжения ПЧ в несимметричных режимах. Результаты расчетов показали, что при подаче несимметричного напряжения на ПЧ на его выходе получается симметричное несинусоидальное напряжение. Так как активная мощность, потребляемая двигателем, будет определяться основной гармоникой выходного напряжения ПЧ, то для анализа работы частотнорегулируемого электропривода в несимметричных режимах необходимо определить амплитуду основной гармоники выходного напряжения следующим образом:

$$f_n = F\sin\left(2\pi\cdot f_{вых}t_n + \theta\right)$$

где $F = \sqrt{a_0^2 + b_0^2}$ – амплитуда основной гармоники напряжения; a_0 – косинусная составляющая; b_0 – синусная составляющая; $\theta = arctg\left(a_0/b_0\right)$ – угол фазового сдвига.

$$a_{0\,n} = \sum_{n=1}^{100}\left(\frac{2}{100}\cdot U_{ф.вых\,n}\cdot\cos\left(n-\frac{1}{2}\right)\cdot\frac{2\pi}{100}\right)$$

Полученное значение основной гармоники выходного напряжения ПЧ позволяет вычислить мощность, потребляемую двигателем в несимметричном режиме и, как следствие, рассчитать проводимость элемента «ПЧ-двигатель». Потребляемая мощность определяется в зависимости от типа двигателя, получающего питание от ПЧ. В несимметричных режимах расчет производится отдельно для схем прямой и обратной последовательностей. В схему замещения нулевой последовательности двигатели напряжением 10 кВ и ниже не входят.

В схемах замещения прямой и обратной последовательности активная и реактивная мощности, потребляемые асинхронным двигателем, получающим питание от ПЧНС, определяются следующим образом [1]:

$$P_{ад} = \frac{k_u^2\cdot r_2'\cdot s}{k_f\cdot x_k^2\cdot s + \left(r_2'\right)^2}\cdot P_{ад.ном} \quad (2)$$

$$Q_{ад} = \left(\frac{k_u^2\cdot k_f\cdot x_k\cdot s^2}{k_f\cdot x_k^2\cdot s^2 + \left(r_2'\right)^2} + \frac{k_u^2}{k_f\cdot x_\mu}\left(1-\alpha+\alpha\cdot k_u^2\right)\right)\cdot Q_{ад.ном}$$

где $k_f = f_{вых}/f_{дв.ном}$; α=0,3.

Для схемы замещения прямой последовательности при $s \le s_{кр}$ (все величины в о.е.):

$$k_u = U_1/U_{дв.ном};$$

$$r_2' = r_{20}' = \frac{S_{ном}}{2\cos\varphi_{ном}}\left(1+\sqrt{1-4x_k^2\cos^2\varphi_{ном}}\right); \quad x_k = x_{k0} = \frac{1}{2\cdot\left(M_{\max}/M_{ном}\right)\cos\varphi_{ном}}.$$

Для схемы замещения обратной последовательности при $s \geq (0{,}5 \div 0{,}9)$:

$$k_u = U_2 / U_{дв.ном};$$

$$r_2' = \frac{r_{20}'(1-s)+r_{21}'(s-s_{кр})}{s-s_{кр}}; \qquad r_{21}' = \frac{1-\sqrt{1-4x_{k1}^2\left(M_n/M_{ном}\right)^2\cos^2\varphi_{ном}}}{2\left(M_n/M_{ном}\right)\cos\varphi_{ном}}$$

$$x_k = x_{k1} = \frac{x_\mu}{I_n x_\mu - 1}; \qquad x_\mu = \frac{1}{\sin\varphi_{ном} - \sqrt{1-4x_{k0}^2\cos^2\varphi_{ном}}\,/2x_{ko}}.$$

При работе АД от ПЧНС при расчете реактивной мощности необходимо также учесть циклический коэффициент мощности преобразователя [2]:

$$Q_{ад} = P_{ад} tg\left(\arccos\left(k_{м.ц}\right)\right), \qquad k_{м.ц} = k_p k_{с.ц} k_u / k_ф,$$

где $k_p = \pi/\left(\pi - 2\varphi_{ном} - 2tg\varphi_{ном}\right)$ – коэффициент использования активной мощности; $k_ф = 1{,}11$ – коэффициент формы сетевого тока; $k_u = 0{,}95$ – коэффициент искажения для мостовой схемы преобразователя; $k_{с.ц} = \left(\left(\pi - 2\varphi_{ном}/4\right)\cos\varphi_{ном} - \left(\sin\varphi_{ном}\right)/2\right)$ – циклический коэффициент сдвига.

Реактивная мощность двигателей, получающих питание от ПЧ со звеном постоянного тока, равна нулю. Активная мощность АД в данном случае определяется по выражению (2). Активная мощность, потребляемая синхронным двигателем, вычисляется следующим образом [3]:

$$P_{сд} = k_f M_{стат} P_д.$$

Разработанные алгоритмы определения мощности частотнорегулируемого электропривода реализованы в программном комплексе КАТРАН 6.0, разработанном на кафедре ЭПП МГТУ им. Г.И. Носова, в котором расчет сверхпереходных значений несимметричных аварийных режимов основан на использовании сочетания методом последовательного эквивалентирования и симметричных составляющих. Выражения для определения параметров расчетного эквивалента приведены в таблице 1.

Таблица 1. Определение параметров расчетного эквивалента

ПЧНС – АД	ПЧ с АИН (АИТ) – АД	ПЧ с АИН (АИТ) – СД
$\dot{I}_1 = \dot{S}_1/\dot{U}_1;\ \dot{Y}_1 = \hat{I}_1/\dot{U}_1;$ $\dot{I}_2 = \dot{S}_2/\dot{U}_1;\ \dot{Y}_2 = \hat{I}_2/\dot{U}_1.$	$\dot{I}_1 = \dot{S}_1/\dot{U}_1;\ \dot{Y}_1 = \hat{I}_1/\dot{U}_1;$ $\dot{I}_2 = \dot{S}_2/\dot{U}_{н.вых};\ \dot{Y}_2 = \dfrac{\hat{I}_2}{\dot{U}_{н.вых}}\cdot\dfrac{U_2}{\dot{U}_{н.вых}}$	$\dot{I}_1 = \dot{S}_1/\dot{U}_1;\ \dot{Y}_1 = \hat{I}_1/\dot{U}_1;$ $\dot{I}_2 = \dot{S}_2/\dot{U}_1;\ \dot{Y}_2 = \hat{I}_2/\dot{U}_1.$

Разработанная методика определения параметров частотнорегулируемого электропривода в несимметричных режимах может быть использована при анализе поведения узлов комплексной нагрузки промышленных предприятий, в том числе металлургических, с целью получения зависимостей потребляемой нагрузкой мощности от степени искажения симметрии напряжений питающей сети. При использовании данных зависимостей для моделирования узлов комплексной нагрузки сокращается объем работ, связанный с формированием расчетной схемы. Кроме того расчет аварийных несимметричных режимов с с использованием эквивалентных параметров узлов комплексной нагрузки значительно сокращает затраты машинного времени.

Результаты расчетов несимметричных режимов, выполненных с использованием предлагаемых алгоритмов, могут быть использованы специалистами электротехнических лабораторий промышленных предприятий, а также в работе служб РЗиА.

Список литературы:

1. Гуревич, Ю. Е. Устойчивость нагрузки электрических систем [Текст] / Е.Ю. Гуревич, Л.Е. Либова, Э.А. Хачатрян. — М. : Энергоиздат, 1981. — 208 с., ил.
2. Маевский, О. А. Энергетические показатели вентильных преобразователей [Текст] / О.А. Маевский. — М. : Энергия, 1978. — 320 с., ил.
3. Сыромятников, И. А. Режимы работы асинхронных и синхронных двигателей [Текст] / И.А. Сыромятников; под ред. Л.Г. Мамиконянца. — М. : Энергоатомиздат, 1984. — 240 с., ил.

УДК 622:621.315

Методические принципы создания виртуального лабораторного практикума по дисциплине «Электрификация горных предприятий»

В.И. Петуров, А.В. Пичуев*

Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия
E-mail: peturov-vi@rambler.ru
**Московский государственный горный университет, г. Москва, Россия*
E-mail: allexstone@mail.ru

Рассмотрены основные цели и задачи виртуального лабораторного практикума по дисциплине «Электрификация горных предприятий» для студентов направлений 140400.62 «Электроэнергетика и электротехника» и 130400.65 «Горное дело».

Топливно-энергетический комплекс - базовая отрасль экономики России, обеспечивающая потребности экономики и населения страны в электрической и тепловой энергии, во многом определяющая устойчивое развитие всех отраслей экономики страны. Эффективное использование потенциала отрасли, в том числе горнодобывающего производства, установление приоритетов и параметров их развития создадут необходимые предпосылки для роста экономики и повышения качества жизни населения страны. Процесс опережающего развития всех отраслей топливно-энергетический комплекса является необходимым экономическим фактором успешного инновационного развития России.

Однако в последнее время обострилась проблема безопасной и эффективной эксплуатации сложного технологического оборудования на горнодобывающих предприятиях. Выросли общий травматизм и случаи со смертельным исходом. С одной стороны это связано со специфическими условиями работы электроустановок горнодобывающих предприятий и особенностями их эксплуатации. С другой стороны, одна из главных причин травматизма - несовершенство системы подготовки и переподготовки работников отрасли. Найти эффективные пути подготовки квалифицированных специалистов - значит заложить основу высокопроизводительной и безопасной работы, которая во многом закладывается в период обучения. Один из них - использование в обучении компьютерных тренажеров и виртуальных лабораторных работ.

С каждым днем увеличивается число персональных компьютеров (ПК), используемых человеком. Вследствие этого растет и пополняется круг программного обеспечения используемого при работе с ПК. Для решения задач производственно-технологического и организационно - экономического управления предприятием внедряются сложные автоматизированные системы управления хозяйственной деятельностью. Немаловажную роль при этом играет процесс подготовки эксплуатационного персонала, а также специалистов в учебных заведениях высшего и среднего профессионального образования. Для его облегчения и упрощения создаются различные обучающие программы.

С момента появления ПК и его практического использования возникла одновременно проблема получения значимого эффекта от компьютеризации процесса обучения.

Одним из факторов, позволяющим обеспечить решение указанной задач в рамках образовательного процесса, является использование современных компьютерных технологий: виртуальные лабораторные работы; компьютерные тренажеры; компьютерное математическое и имитационное моделирование.

Практически во всех науках построение и использование моделей является мощным орудием познания. Реальные объекты и процессы бывают столь многогранны и сложны, что лучшим способом их изучения часто является построение модели, отображающей лишь какую-то грань реальности и потому многократно более простой, чем эта реальность, и исследование этой модели. Многовековой опыт развития науки доказал на практике плодотворность такого подхода.

В данной работе средствами компьютерного математического и имитационного моделирования проектируются некоторые типичные задачи, связанные с эксплуатацией электротехнического оборудования систем электроснабжения горнодобывающих предприятий [1]. Данные задачи реализуются в виде виртуального практикума на основе создания соответствующих лабораторных работ (ЛР).

Целями данной работы являются:

– разработка основных принципов построения виртуального лабораторного практикума по дисциплине «Электрификация горных предприятий» для студентов направлений 140400.62

«Электроэнергетика и электротехника» и 130400.65 «Горное дело» и реализация его путем создания прикладного программного обеспечения;

– разработка учебно-методических материалов по разрабатываемым лабораторным работам для студентов всех форм обучения;

В ходе работы были сформулированы цели и задачи деятельности студентов по получению самостоятельных навыков решения задач электрификации горного производства. Приведен к формальному виду порядок расчета электрической нагрузки, подземных кабельных сетей, токов короткого замыкания (КЗ), выбора и проверки защитной и коммутационной аппаратуры в участковых сетях шахт. Изложены методики расчета освещения, определения электрических нагрузок, выбора трансформаторов, проводов и кабелей, расчета токов КЗ, релейной защиты и защитного заземления, определения технико-экономических показателей электрохозяйства горного предприятия.

Целью лабораторного практикума по дисциплине «Электрификация горных предприятий» для студентов направлений 140400.62 «Электроэнергетика и электротехника» и 130400.65 «Горное дело является выработка и закрепление практических навыков в решении задач электрификации шахт и рудников на основе изучения существующих методов расчета.

В рамках реализации виртуального лабораторного практикума по электрификации подземных горных работ разработан программный комплекс, являющийся основой для создания учебно-методических материалов для студентов всех форм обучения [2, 3]. В его состав входит семь ЛР:

– расчет электрического освещения подземных горных выработок;
– расчет электрической нагрузки участка и выбор силового трансформатора передвижной участковой подземной подстанции;
– расчет участковой кабельной сети в нормальном режиме работы электрооборудования;
– расчет участковой кабельной сети в пусковых режимах работы электрооборудования;
– расчет токов КЗ в участковой сети и выбор аппаратуры управления и защиты;
– расчет высоковольтной сети электроснабжения подземных электроустановок;
– расчет основных энергетических показателей шахты (рудника).

Последовательность выполнения ЛР и их содержание соответствует принятому в практике проектирования порядку расчета подземных участковых электрических сетей шахт и рудников.

Основные результаты можно сформулировать следующим образом:

– выполнены разработка, проектирование и создание виртуальных ЛР по дисциплине «Электрификация горных предприятий» для студентов направлений 140400.62 «Электроэнергетика и электротехника» и 130400.65 «Горное дело».
– виртуальный лабораторный практикум, оформленный в виде текстов программ, включен в подготовленное к печати в издательстве «Горная книга», г. Москва учебное пособие «Электрификация горного производства в задачах и примерах»» (авторы: А.В. Пичуев, В.И. Петуров, Н.И. Чеботаев);
– проведение лабораторных работ станет более доступным и менее трудоемким;
– достигается повышение безопасности проведения ЛР;
– возможность выполнения ЛР без использования дорогостоящих стендов;
– снижение затрат на приобретение лабораторного оборудования, его обслуживание и модернизацию;
– на основе данного опыта можно создавать в кратчайшие сроки принципиально новые лабораторные работы и оперативно внедрять их в образовательный процесс;
– повышение роли и значимости самостоятельной работы студентов в процессе обучения, особенно с учетом инновационной парадигмы развития образования;
– лабораторные работы могут представлять интерес для учебных заведений страны, в которых осуществляется подготовка специалистов аналогичного профиля.

Полученные результаты в комплексе с созданием соответствующих учебно-методических материалов позволят разработать программу проведения обучения и контроля знаний по эксплуатации систем электроснабжения горнодобывающих предприятий в нормальном и аварийном режимах. Совокупность работ закроет потребность в лабораторном практикуме по указанной дисциплине.

Таким образом, разработанный виртуальный лабораторный практикум и созданные на его основе учебно-методические материалы будут способствовать обеспечению эффективной и качественной подготовки студентов специальностей электроэнергетического, электротехнического, а также горного профилей. Предполагаемый выход интеллектуальных

результатов проекта на рынок образовательных услуг с потенциальной возможностью их коммерциализации результаты поможет поднять общий уровень и качество образования, а также позволит позиционировать достойное место отечественной высшей школы в образовательном пространстве России.

Список литературы:

1. Непомнящих И.А., Петуров В.И. Применение математического моделирования для разработки виртуальных лабораторных работ по дисциплине «Электрификация горных предприятий» // Ресурсоэффективные технологии для будущих поколений. Сборник трудов II Международной научно-практической конференции молодых ученых. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – С. 425 – 426.
2. Петуров В.И., Непомнящих И.А. Разработка виртуальных лабораторных работ по дисциплине «Электрификация горных предприятий» // Совершенствование технологии строительства шахт и подземных сооружений. Сборник научных трудов. Вып 17 – Донецк: «Норд-Пресс», 2011.– С. 155.
3. Петуров В.И., Непомнящих И.А. Виртуальный лабораторный практикум по дисциплине «Электрификация горного производства». // Проблемы трансферта современных технологий в экономику Забайкалья и железнодорожный транспорт: материалы международной научно-практической конференции. – Чита: ЗабИЖТ, 2011. – Т. 1. – С. 74 – 77.

УДК 621.316.925

Анализ технической эффективности и вариантов настройки ступенчатых токовых защит

А.Ф. Прутик, А.В. Шмойлов

Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

E-mail: lex@tpu.ru

Приводится анализ токов коротких замыканий и ранее разработанного вероятностного алгоритма технической эффективности на структуре электрической сети, метрологически отраженной в виде сопротивления прямой последовательности. На основе данного анализа предложены три варианта построения и настройки ступенчатых токовых релейных защит линий, отличающихся возможностью выбора уставки второй ступени из условия чувствительности.

На протяжении ряда лет разрабатываются вероятностные подходы, алгоритмы и методы для задач электроэнергетики, в том числе для проектирования и настройки релейной защиты и автоматики [1-2]. Последние основаны на работах Смирнова Э.П., Федосеева А.М. [например, 3] в связи с определением понятия эффективности релейной защиты (РЗ), развиты в [4-5] и продолжаются в настоящее время. В указанных материалах данное понятие уточнено как техническая эффективность РЗ и конкретизировано как разность потенциально возможного эффекта в виде вероятности коротких замыканий (КЗ) на защищаемом объекте $p(A)$, для устранения которого предназначена РЗ, и вероятности потерь $p(П)$, отнесенная к потенциально возможному эффекту $p(A)$. Данные потери в виде вероятностей отказов срабатывания $p(О)$ при КЗ на защищаемом объекте, излишних действий $p(И)$ при КЗ на внешних элементах электрической сети и ложных действий $p(Л)$ при отсутствии КЗ должны быть приведены к одним и тем же условиям учета. Ложные действия возможны в рабочих и ненормальных (асинхронных, неполнофазных режимах, бросках тока намагничивания) и их целесообразно рассматривать раздельно, чтобы ранжировать влияние на работу РЗ.

Как показал анализ, современные технические решения при построении аппаратуры РЗ с жестким выделением области действия (дифференциальные защиты, защиты линий с обменом информацией о срабатывании комплектов РЗ на концах) практически полностью устраняют данные потери. Наибольшим числом таких потерь обладают ступенчатые токовые и дистанционные защиты линий.

Поэтому возникает целесообразность количественной оценки качества настройки каждой ступени и такую возможность предоставляют разработанные алгоритмы технической эффективности функционирования этой ступени. Отметим, что с помощью указанных алгоритмов возможен расчет технической эффективности как для заданной (например, по экспертно-руководящему методу (ЭРМ)) уставки, так и определение оптимальной величины последней, при которой достигается минимальная вероятность потерь $p(П)$.

Для расчетов технической эффективности кроме заданных уставок необходимы вероятностные характеристики, режимно-токовые отношения (коэффициенты токораспределения) для перевода электрических величин из собственных координат в координаты соседних предыдущих и смежных элементов сети. Поэтому необходима разработка программы обработки исходных данных и реализации алгоритмов. Такого рода сервисная интерактивная программа для ступенчатых токовых релейных защит сети средней сложности создана и апробирована.

Разработанная программа позволила стимулировать проведение структурно-режимного анализа параметра реагирования, уставок по ним и по времени, технической эффективности при КЗ вдоль пространства защищаемой и внешних линий. Это пространство можно наглядно и однозначно отобразить сопротивлением прямой последовательности линий и трансформаторных элементов (рисунок 1).

Проведенный анализ и предложения по настройке ступенчатых токовых защит иллюстрируется рисунком 1, на котором обозначено:

I – Структура сети: 1) А, Б, В, Г – подстанции сети; 2) защищаемая №, предыдущая п и предыдущая к предыдущей пп линии; 3) 1, 2 – выключатели на концах линий; 4) e_1, …, e_6 – источники; 5) z_1, …, z_4 – сопротивления источников; 6) ОС1, ОС2 – обходные шунтирующие связи соответственно защищаемой и предыдущей п линий.

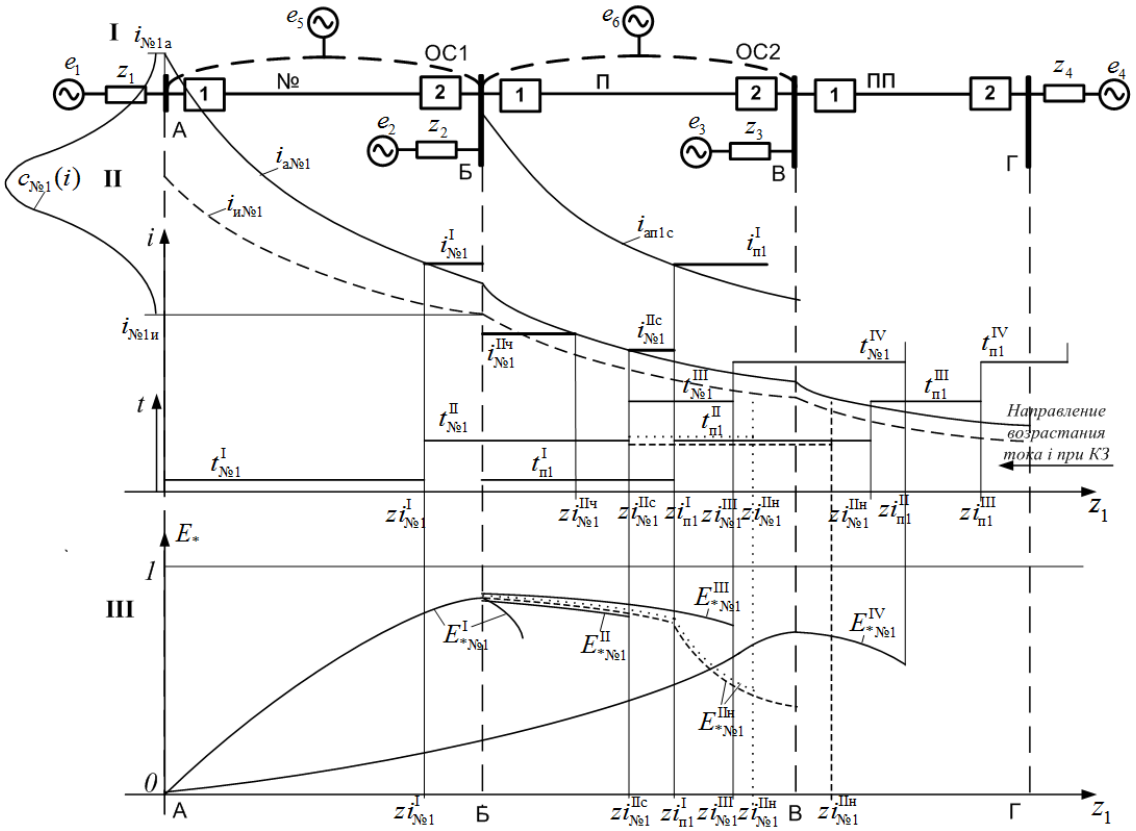


Рис. 1. Фрагмент высоковольтной сети, токи КЗ вдоль линий, токовременные уставки и техническая эффективность для режимно-структурного анализа ступенчатых токовых релейных защит линий

II – Изменения токов (ось ординат i) через защиты №1, п1, пп1 при КЗ вдоль линий сети (ось абсцисс – сопротивление прямой последовательности z_1) и временных характеристик (вторая ось ординат t) ступеней защит вдоль тех же линий при слабых обходных связях ОС1 и ОС2. Обозначено на кривых и прямых: 1) буквой i – токи с нижними индексами:с – для согласования, а – максимальные, и – минимальные через защиты №1, п1, обусловленные режимно-коммутационными состояниями сети; 2) буквой i – уставки по току с нижними индексами: №1, п1 и верхними индексами: I, II, III, IV соответствующих ступеней; 3) буквой t – уставки по времени с такими же нижними индексами: №1, п1 и верхними индексами: I, II, III, IV ступеней; 4) двумя буквами zi с теми же нижними индексами №1, п1 и верхними индексами: I, II, III, IV ступеней – отображения уставок по току в координатах сопротивления прямой последовательности z_1 линий.

Входящие в верхние индексы уставок буква с свидетельствует о процедуре их выбора по условию согласования или селективности, буква ч – о выборе их по чувствительности; буква н обозначает характерные для короткой предыдущей линии п случаи, когда уставка второй ступени защиты №1 является более более чувствительной, чем первая ступень защиты п1; 5) $c_{№1}(t)$ – нормальная плотность распределения вероятностей токов КЗ на линии №1. На оси абсцисс z_1 представлено направление возрастания тока КЗ i, противоположное возрастанию сопротивления z_1.

Кривые в зоне линии № представляют собой распределение тока КЗ в максимальном (индекс «а») и минимальном режиме (индекс «и») для комплекта РЗ 1. Этим кривым соответствуют две кривые в зоне линии п и две кривые в зоне линии пп, которые являются продолжением первых, т.к. найдены в тех же максимальном и минимальном режимах относительно защиты №1.

III – Изменение технической эффективности I, II, III, IV ступеней токовой защиты E_*, отображенных в верхнем индексе.

Сплошными линиями показаны кривые и прямые для ординарных случаев настройки ступеней защит, точками, пунктиром – для случая переноса уставок ординарной настройки второй ступени защиты №1 на короткие предыдущие линии. В сети показаны только линии. Трансформаторы и автотрансформаторы исключены, как принципиально не влияющие на рассматриваемые способы настройки.

Требование ЭРМ обеспечить селективность ступенчатых токовых защит обусловливает наличие отказов первой быстродействующей ступени при КЗ в области противоположного конца линии (такие отказы можно назвать отказами быстродействующего срабатывания), с которыми приходиться мириться, чтобы не допустить излишние действия первой ступени при КЗ в начале внешних (предыдущих в направлении действия РЗ) элементах. В целом ЭРМ обеспечивает проектирование РЗ с преимущественным исключением излишних действий. Область быстродействующих отказов перекрывается более чувствительной, но медленнодействующей второй ступенью. При наличии предыдущих коротких линий или мощных трансформаторов (автотрансформаторов) вторые (третьи) ступени могут оказаться нечувствительными. ЭРМ в этом случае предлагает исключить из рассмотрения согласования с РЗ предыдущих коротких линий путем установки на последних защит с обменом информацией между комплектами аппаратуры по концам линий. С точки зрения технической эффективности наличие обменного канала для первых ступеней линий позволяет изменить уставки до величин, обеспечивающих гарантированнную чувствительность при КЗ на всем пространстве линий и тем самым исключить потери быстродействующего срабатывания. Этот вариант РЗ целесообразно в дальнейшем назвать наилучшим, но дорогим из-за необходимости канала обмена. В связи с этим целесообразно рассмотреть другие менее дорогие варианты построения и настройки РЗ линии без канала обмена, но по свойствам, приближающимся в некоторой степени к наилучшему. Рассмотрение таких менее совершенных вариантов вполне возможно благодаря разработанному аппарату технической эффективности РЗ, позволяющему количественно оценивать качество канала РЗ.

Первый вариант – это намеренное первоначальное выставление величины уставки второй ступени исходя из чувствительности, с последующей проверкой уровня технической эффективности. Первая ступень при этом настраивается как обычно по ЭРМ. При такой настройке второй ступени возможны участки токов и соответствующих сопротивлений прямой последовательности предыдущих линий, при КЗ на пространстве которых возможны равновременные действия вторых ступеней защищаемой и предыдущих линий. Названные равновременные участки обусловливают потери излишних действий второй ступени защищаемой линии (которые являются причиной спада в правой части кривых $E_{*№1}^{\text{IIн}}$ на рисунке 1). Эти потери добавляются к потерям ложных действий данной ступени. Отказов срабатывания у вторых ступеней, настроенных по чувствительности, нет. А потенциально возможным эффектом, как и для канала первой ступени, является вероятность КЗ на защищаемой линии.

Таким образом, преимуществом настройки второй ступени исходя из чувствительности является устранение многочисленных расчетов по отстройкам и согласованиям, особенно при большом количестве предыдущих элементов в сложно-замкнутой сети, переводя эти расчеты из многочисленных и обязательных в менее многочисленные и желательные вероятности потерь излишних действий. Уточнение уставки данной ступени в сторону загрубления с точки зрения требований ЭРМ невозможно, а в сторону чувствительности увеличивает участки равновременности вторых ступеней защищаемой и предыдущих линий и, следовательно, потери излишних действий второй ступени защищаемой линии. Анализ показывает, что при выборе

уставок вторых ступеней исходя из чувствительности участки равновременности формируются на коротких предыдущих линиях, если на них предусмотрены ступенчатые РЗ. На соизмеримых по длине с защищаемой предыдущих линиях участки равновременности маловероятны.

На основании изложенного, первый вариант настройки ступенчатых РЗ без канала обмена и уставкой второй ступени по чувствительности по сравнению с наилучшим вариантом наряду с потерями ложных действий имеет потери быстродействующего срабатывания первой ступени и потери излишних действий второй ступени на коротких предыдущих линиях с установленными ступенчатыми защитами, но сохраняются преимущества устранения многочисленных расчетов, согласований и отстроек вторых ступеней при отсутствии канала обмена. Однако объективное решение по уставке может быть получено путем минимизации вероятности излишних действий второй ступени, что вполне может выполнить разработанная программа расчета технической эффективности.

Второй вариант построения и настройки ступенчатых РЗ без канала обмена определяется выставлением уставки второй ступени исходя из чувствительности, а первой ступени путем оптимизации технической эффективности с учетом всех составляющих потерь, включая метрологические. При этом экспертным или экономическим путем должно быть задано соотношение удельных весов между излишними и ложными действиями, с одной стороны, и отказами срабатывания, с другой. В данном варианте, как и в наилучшем, вторые ступени практически не будут иметь случаев отказов срабатывания и излишних действий, а первые ступени отказов быстродействующего срабатывания.

Уставки резервирующих третьих (четвертых) ступеней по току согласно ЭРМ определяются независимо путем отстройки от рабочих токов, а время действия этих ступеней по встречно-ступенчатому принципу, который в случае усложненной с многократным питанием сети не позволяет однозначно выбрать уставки по времени. Поэтому возникают участки равновременных действий резервных ступеней на пространстве предыдущих к предыдущим линиях или линиях второй периферии и, как следствие, излишние действия. Уставки этих ступеней по параметру реагирования могут быть уточнены путем минимизации излишних действий, если уставка резервирующей ступени защищаемой линии размещается на пространстве всех линий второй периферии. В противном случае, когда уставка резервирующей ступени защищаемой линии попадает на пространство предыдущих линий, т.е. имеют место отказы интересующей ступени в области резервирования, названное уточнение необходимо производить с помощью полного критерия технической эффективности.

Выводы:

1. Использование разработанных алгоритмов и программы определения технической эффективности РЗ позволяют количественно объективно оценить качество каналов ступенчатых токовых РЗ при различном их построении и настройке.

2. Совместный анализ изменений режимного параметра реагирования (тока) и технической эффективности в структуре электрической сети, отраженной в виде сопротивлений прямой последовательности, дал возможность выявить и предложить новые варианты построения и настройки ступенчатых токовых РЗ линий: основанного на использовании наилучшего варианта с каналом обмена информацией между комплектами на концах каждой линии и с уставкой второй ступени, исходя из чувствительности; также двух вариантов без использования обменного канала: с оптимальной настройкой второй ступени, исходя из минимума потерь излишних действий и с оптимальной настройкой первой ступени, исходя из максимума технической эффективности с учетом соотношения между удельными весами отказов срабатывания и излишних действий.

Работа выполнена в рамках реализации ФЦП ««Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007—2013 годы».

Список литературы:

1. Шмойлов А.В. и др. Применение коэффициента взаимосвязи для анализа чувствительности и селективности устройств релейной защиты и автоматики / А.В.Шмойлов, С. А Стародубцева, Н.В. Князева, О.Н. Богданова // Электричество. – 2004. – № 3. – С. 9-22.
2. Шмойлов А.В., Кривова Л.В., Стоянов Е.И., Игнатьев К.В. Вероятностный метод селекции границ интервалов данных для задач электроэнергетики. – Изв. ВУЗов «Проблемы энергетики» . – 2008. – № 7 - 8/1. – С. 144-155.
3. Федосеев А. М. Релейная защита электроэнергетических систем. − М.: Энергоатомиздат, 1984. − 520 С.

4. Прутик А.Ф., Шмойлов А.В. Алгоритм оценки технической эффективности средств релейной защиты и автоматики: Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2009. – Специальный выпуск №1. – С. 192-195.
5. Прутик А.Ф., Шмойлов А.В. Разработка алгоритмов программ для настройки и оценки технической эффективности релейной защиты // Электричество. – 2009. – № 12. – С. 19-26.

УДК 621.316.925

Проектирование компьютерной программы для расчетов технической эффективности релейной защиты

А.Ф. Прутик
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия
E-mail: lex@tpu.ru

Приведен анализ возможных путей создания программы, реализующей математическое обеспечение технической эффективности релейной защиты. На основе данного анализа сделан вывод о целесообразности разработки интерактивного варианта компьютерной программы. Сформулированы пользовательские и технические требования к программе и ее сервису. Представлена структура программных классов, удовлетворяющая данным требованиям.

Разработанное математическое обеспечение для расчета технической эффективности токовых релейных защит (РЗ) [1], в силу существенной сложности и специфики, приобретает практический смысл только при его реализации в виде автоматизированного средства расчета, наиболее целесообразной реализацией которого является компьютерная программы.

Программа может быть реализована в двух вариантах: полностью автоматизированном или интерактивном. Первый вариант предполагает автономный инструмент, второй - активное участие пользователя в процессе анализа технической эффективности РЗ, выбора уставок комплектов РЗ для проектируемого района. Проанализируем оба варианта и остановимся на одном из них.

1. Полностью автоматизированное средство расчета.

В этом случае предполагается разработка программы, которая требует минимального участия проектировщика в достижении оптимальных настроек всех релейных защит для заданного района. Проектировщик взаимодействует с программой только на начальном этапе при установке параметров рассчитываемой сети.

Соответственно, для выбора наилучших уставок исходя из максимума технической эффективности, автономная программа дополнительно к решаемым задачам по разработке алгоритмов определения технической эффективности РЗ должна:

а) для определения максимальных и минимальных режимов содержать алгоритмы анализа топологии сети, учитывая при этом вероятность состояния каждого режима;

б) для определения электрических величин содержать модули расчета установившихся режимов, симметричных и несимметричных коротких замыканий.

Первое требование в настоящий момент реализуется проектировщиком экспертным путем, второе – с помощью цифровых вычислительно-расчетных комплексов, таких как ТКЗ3000, АРМ-СРЗА, Мустанг, Евростаг, Дакар, Растр, а также программно-технических средств моделирования ЭЭС: RTDS, Всережимный моделирующий комплекс реального времени электроэнергетических систем (ВМК РВ ЭЭС) и др.

Разработка такого рода полностью автоматизированной компьютерной программы, не требующей участия проектировщика и сторонних программ расчета электрических величин, теоретически возможна, но требует значительных временных ресурсов и таким образом выходит за рамки настоящей работы.

2. Интерактивная программа.

Данный вариант реализуется согласно структуре рисунка 1, на котором аббревиатурой RPTEC обозначена проектируемая программа Relay Protection Technical Efficiency Calculation (Расчет технической эффективности релейной защиты).

В этом случае, проектировщик использует сторонние продукты для расчета электрических величин, которые затем используются в качестве исходных данных для вероятностных расчетов в программе RPTEC. Последняя помимо этого для реализации разработанных алгоритмов определения технической эффективности использует дополнительную (в основном – статистическую) информацию, которая не дублирует исходные данные сторонних программ,

таким образом, исключая возможные ошибки, связанные с рутинной работой по отслеживанию изменений и согласованию баз данных для различных программ.

Реализация данного варианта требует значительно-меньших временных затрат и позволяет сконцентрироваться на специфичных задачах настоящей работы (которая выполняется в рамках диссертации автора). Недостатком является необходимость наличия соответствующих сторонних программ или программно-технических средств моделирования ЭЭС. Однако, в виду обязательного наличия данных инструментов на предполагаемых местах использования RPTEC (проектные организации, университеты и др.) этот недостаток не является преградой для внедрения создаваемой программы.

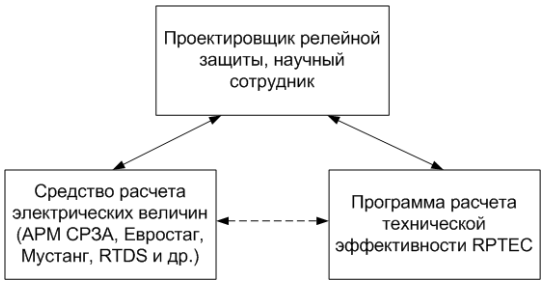


Рис. 1. Структура взаимодействия

Проектируемая программа для широкого использования должна соответствовать следующим пользовательским и техническим требованиям:

1. Иметь интуитивно-понятный профессионально-ориентированный интерфейс пользователя.
2. Ошибки в работе программы или ее аварийное завершение не должны приводить к потере используемой базы данных.
3. Обладать высоким уровнем быстродействия.
4. Работать в наиболее распространенных операционных системах Windows XP, Windows 7 и др.

Выполнение первого требования предполагает наличие в программе специализированного сервиса, обеспечивающего весь необходимый инструментарий для комфортной и эффективной работы пользователя. В целом, сервис разрабатываемой программы должен предоставлять следующие возможности:

1. Создание, сохранение, редактирование, загрузку базы данных и графического изображения рассчитываемой схемы.
2. Расчет технической эффективности для заданной уставки.
3. Определение оптимальной уставки исходя из технической эффективности.
4. Построение графика технической эффективности как функции от уставки.
5. Детализацию результатов расчетов, включающую в себя подробный отчет по всем вероятностным составляющим технической эффективности с графическим комментарием их определения.
6. Инструментарий для исследований технической эффективности релейной защиты.

Программа с указанными возможностями может быть реализована на компиляторных языках программирования C, C++, Pascal, Delphi; межплатформенных языках с промежуточным внутренним представлением C#, Java, .Net и интерпретирующих языках Python, Ruby, php, Java Script.

Среди представленного списка языков полностью удовлетворяет всем указанным выше возможностям и требованиям система программирования Delphi. Выбор данной среды в качестве основного средства разработки программы RPTEC также обусловлен рядом преимуществ над другими системами, в том числе: качеством визуальной среды разработки, скоростью работы компилятора и быстродействием откомпилированных программ, большим количеством поддерживаемых средой разработки шаблонов проектирования.

Таким образом, программа разрабатывается в объектно-ориентированном стиле с использованием механизмов наследования, инкапсуляции и полиморфизма данных. Подобный подход позволяет создать гибкое средство, которое может расширяться (добавление расчета технической эффективности для разных типов РЗ), совершенствоваться и при необходимости модифицироваться с минимальными трудовыми затратами.

В соответствии с разработанным ранее математическим обеспечением определения технической эффективности, изложенными выше требованиями и возможностями к создаваемому средству, на рисунке 2 представлена структура классов RPTEC, на рисунке 3 более подробно – классы расчета технической эффективности.

Назначение представленных на рисунках классов соответствует их англоязычному названию. Прокомментируем основные классы:

TMainForm - класс главной формы программы. Предоставляет пользователю контроль над всем сервисом RPTEC.

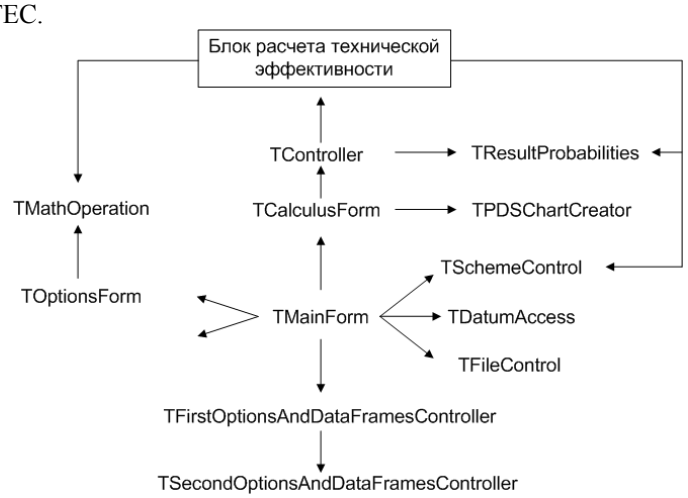


Рис. 2. Структура классов RPTEC

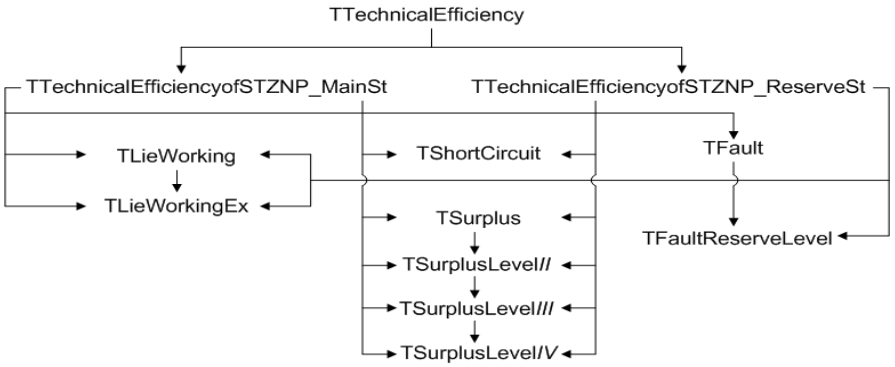


Рис. 3. Структура классов расчета технической эффективности ступенчатой токовой защиты нулевой последовательности

TCalculusForm - класс формы расчетов RPTEC. Посредством данного класса реализуются алгоритмы расчета технической эффективности для выставленной уставки, осуществляется поиск оптимальной уставки и построение графика технической эффективности от уставки, а также характеристик плотностей распределения вероятностей (ПРВ).

TFirstElements-OptionsFrames - реализует заданную топологию схемы рассчитываемого района, включая визуальное представление для пользователя. Осуществляет управление фрэймами элементов первой периферии и элементов второй периферии электрической сети относительно защищаемого объекта. Фрэймы предыдущих элементов содержат совокупность компонентов для управления данными этих элементов (линий и трансформаторов) пользователем.

TTechnicalEfficiency - Абстрактный базовый класс для расчета технической эффективности. Инкапсулирует основные методы и поля, соответствующие условным и безусловным вероятностям математического выражения технической эффективности. Расчет данных составляющих реализуется в наследуемых от данного классах, которые учитывают особенности различных видов РЗ.

TController - Класс для управления процессом расчета технической эффективности, т.е. потомками абстрактного класса TTechnicalEfficiency.

Дальнейшим этапом создания программы является дизайн форм и написание программного кода представленных классов исходя из принципов и паттернов объектно-ориентированного программирования.

Список литературы:

1. Прутик А.Ф., Шмойлов А.В. Алгоритм оценки технической эффективности средств релейной защиты и автоматики: Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2009. – Специальный выпуск №1. – С. 192-195.

УДК 621.316.925

Исследование надежности, технического совершенства и эффективности релейной защиты, как критериев оценки качества функционирования

А.Ф. Прутик
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия
E-mail: lex@tpu.ru

Приведены определения надежности, технического совершенства и эффективности релейной защиты. Проведен исторический обзор данных критериев. Отмечены достоинства и недостатки способов их определения. Показано, что к недостатку можно отнести глобальный характер существующих подходов их вычисления, обуславливающий невысокую объективность и сложность практического использования.

Оценка качества выполнения и функционирования релейной защиты (РЗ) всегда занимала важное место в иерархии электроэнергетических задач. Одним из основных и распространенных способов решения этой задачи являются определения надежности, технического совершенства и эффективности. Вследствие существования различного понимания данных критериев, приведем следующие их определения, которых и будем придерживаться далее:

Техническое совершенство – свойство, объединяющее селективность, быстродействие и устойчивость функционирования. Под устойчивостью функционирования в свою очередь понимается чувствительность к внутренним коротким замыканиям (КЗ), устойчивость быстроты срабатывания при внутренних КЗ, устойчивость несрабатывания при внешних КЗ (т.е. отстроенность от них), устойчивость несрабатывания без КЗ.

Надежность – свойство выполнять заданные функции с заданным техническим совершенством.

Эффективность функционирования следует понимать как отношение реального выходного эффекта системы к ее предельному выходному эффекту, установленному в предположении идеально полных технического совершенства и надежности.

Первое время единственными показателями качества работы РЗ являлись в значительной мере обобщенные показатели количества правильных и неправильных действий РЗ [1] и соответствующий процент правильной работы (1), равный отношению правильных $n_с$ к сумме правильных $n_с$ и неправильных действий $n_н$.

$$\eta = \frac{n_с}{n_с + n_н} \cdot 100 , \qquad (1)$$

С помощью данного показателя оценивалось качество РЗ вплоть до 1965 года. Но такая оценка не позволяла достоверно судить о техническом совершенстве и эффективности функционирования РЗ.

Первыми работами в этой области, направленными на повышение объективности оценки функционирования РЗ, являются публикации В.Л. Фабриканта [2], Ф.А. Кулиева [3] и статья Э.П. Смирнова «Подход к расчету надежности устройств релейной защиты» [4], вышедшие в одном номере журнала «Электричество». Общим элементом названных работ является установление того факта, что целесообразно использовать теорию надежности для оценки устройств РЗ, но с учетом особенностей функционирования РЗ.

Следует наиболее подробно остановиться на работах Смирнова [4, 5], которые получили широкий резонанс в научной общественности, следствием которого стала дискуссия [6-9].

Тема статьи [4], как отмечает сам автор, предложена ему доктором технических наук, профессором А. М. Федосеевым. В своей работе Э.П. Смирнов отмечает особенности оценки надежности релейной защиты, которые требуют развитие методов общей теории надежности. Среди них выделяется необходимость предъявления к РЗ двух требований – надежности срабатывания и надежности несрабатывания. Ненадежность защиты проявляется в отказе срабатывания, излишнем действии и ложном срабатывании. Смирнов Э.П. выделяет два общепринятых показателя из общей теории надежности:

1. Вероятность отсутствия отказов в срабатывании (или вероятность безотказной работы [10]) $R_1(x)$ в течение времени T(x – событие, состоящее в том, что устройство сработало). По отношению к РЗ, данный показатель характеризует совокупную надежность работы защищаемого элемента и устройства защиты.
2. Вероятность безотказного срабатывания (или другое название – готовность устройства к срабатыванию) $R_N(x)$ при последовательности N таких коротких замыканий, при которых

требуется срабатывание устройства (или *N* испытаний на срабатывание). Данный показатель в отличие от первого, является мерой надежности самой РЗ [4].

Однако использование указанных показателей при расчете аппаратной надежности конкретных схем защиты, как отмечает сам автор, приводит к практическим трудностям, связанным с громоздкостью соответствующих расчетных выражений.

В следующей работе [5] Смирнов Э.П. отмечает, что при анализе надежности релейной защиты целесообразно различать отказ устройства и отказ в срабатывании. Первое есть событие утраты устройством способности в отключении любых коротких замыканий, т.е. утрата устройством способности осуществить требуемое срабатывание, что соответствует принятому в теории надежности представлению об отказе. В свою очередь, отказ в срабатывании автор определяет как событие, состоящее в отсутствии на выходе защиты сигнала на отключение при таком КЗ, при котором требуется срабатывание данного устройства РЗ. При этом в качестве причин отказов автором отмечаются возмущения, вызванные резкими изменениями подведенных к устройству электрических величин, ошибки эксплуатирующего персонала, резкие колебания температуры, сотрясения устройства РЗ. Однако автор не отмечает и соответственно не учитывает в дальнейших математических выражениях фактор отказа в срабатывании, связанный с некорректной (или неоптимальной) настройкой параметров срабатывания РЗ, т.е. ее уставок.

В откликах [6-8] на рассмотренные работы Э.П. Смирнова справедливо отмечается незаконченность предложенных решений и их дискуссионность. Кроме того, в работе [7] отмечается неправомерность использования оценки надежности защиты процентом правильных действий (1).

Неправомерность связана с тем, что данный критерий не учитывает количество установленных в энергетической системе защит анализируемого типа, зависит от частоты повреждаемости оборудования, а также наличия других защит установленных вместе с анализируемой. Например, в случае оценки надежности дистанционной защиты, если вместе с ней на линии установлена быстродействующая высокочастотная защита, последняя отключает короткие замыкания настолько быстро, что дистанционная защита не успевает сработать. В этом случае, процент правильной работы дистанционной защиты равен нулю, а неправильной, хотя бы при одном случае ложного действия, - 100 % [7]. В то же время, очевидно, что при оценке надежности автономно работающей дистанционной защиты, при ее неизменном качестве, результаты будут другими. Нецелесообразность использования данного показателя для оценки эффективности функционирования РЗ, как будет показано далее, также отмечается в [12].

По мнению авторов [10], более объективными для сравнения различных типов устройств являются следующие интервальные оценки надежности устройств РЗ и противоаварийной автоматики: параметр потока неправильных срабатываний, параметр потока отказов в срабатывании, параметр потока ложных срабатываний, параметр потока излишних срабатываний (без ложных), вероятность безотказной работы и др., которые задают интервал возможных значений случайной величины с заданным коэффициентом доверия. Данные показатели, позволили авторам на основе обработки статистических материалов для ряда электромеханических РЗА, сделать соответствующие сравнения [10, 13]. Например, было установлено, что интенсивность ложных срабатываний фильтровой высокочастотной направленной защиты типа ПЗ-164 ниже, чем дифференциально-фазной высокочастотной защиты типа ДФЗ-2 с вероятностью не менее 0,95 [10].

С целесообразностью предлагаемых показателей в отклике [11] на [10] согласился Барзам А.Б, в котором часть из них была подробнее рассмотрена. Так, степень надежности РЗ, по мнению Барзама А.Б., может оцениваться вероятностью безотказной работы $p(t)$ за определенный интервал времени t. Данный показатель характеризует уровень качества рассматриваемого устройства в отношении надежности и указывает вероятность того, что полностью исправное устройство за период эксплуатации t под влиянием потока случайных событий не откажет в выполнении функционального назначения. Например, при вероятности безотказной работы за период времени t $p(t)=0,9$ можно ожидать, что в случае возникновения к концу периода t КЗ, из 100 устройств, которые должны подействовать, правильно сработают 90 устройств, 10 устройств откажут; или иначе, если за период от 0 до t произойдет девять КЗ, при которых устройство сработало правильно, на десятом случае КЗ вероятно неправильное действие (отказ) устройства [11].

Однако впоследствии, например в [12], уточняется использования критерия вероятности безотказной работы. Обосновывается, что в качестве критерия надежности функционирования релейной защиты вероятность $p(t)$ непригодна. Приводится контрпример для [11]: «если короткие замыкания редки и устройство защиты вообще срабатывает крайне редко, но при этом чаще всего

излишне, то несмотря на очень высокую вероятность $p(t)$ потери из-за ненадежности могут превысить полезный эффект» (другими словами, данный показатель не учитывает отказы в срабатывании, ложные и излишние действия). Но при этом в [12] не отрицается возможность использования $p(t)$ как показателя аппаратной безотказности изделия, для которого будущие условия функционирования еще не конкретизированы.

Частичное отражение эффективности функционирования РЗ дает процент правильных действий РЗ (1), представляемый согласно (2).

$$\eta = \frac{n_{\text{с}}}{n_{\text{с}} + n_{\text{о.с}} + n_{\text{и.с}} + n_{\text{л.с}}} \cdot 100 , \qquad (2)$$

где $n_{\text{о.с}}$ – число отказов срабатывания; $n_{\text{и.с}}$ – число излишних срабатываний; $n_{\text{л.с}}$ – число ложных срабатываний.

Процент правильных действий РЗ и дополняющий его до ста процентов показатель неправильных действий, применяются как в странах СНГ, так и за рубежом [12, 15]. Данный показатель используется как для оценки эффективности, так и надежности. Однако его использование для оценки эффективности может исказить картину, что было отмечено в [12] и с чем трудно не согласиться, учитывая следующее пояснение.

При измерении с его помощью эффективности функционирования РЗ, полученная оценка может отличаться от (2). Причина в том, что число неэффективных срабатываний ($n_{\text{и.с.}} + n_{\text{л.с.}}$) стоит в знаменателе (9), но эти срабатывания приводят к потерям, которые для получения выходного эффекта защиты следует вычитать из эффекта от требуемых срабатываний, пропорционального $n_{\text{с}}$. Поэтому естественное место члена ($n_{\text{и.с.}} + n_{\text{л.с.}}$) – в числителе со знаком «минус». К тому же, неэффективные срабатывания могут привести к отрицательному выходному эффекту, а это означает отрицательную эффективность функционирования. Из (9) видно, что показатель η не отражает данную особенность защиты. Кроме того, «можно также показать, что «при определенном числе внутренних коротких замыканий ($n_{\text{с}} + n_{\text{о.с}}$) и одном и том же числе отказов функционирования ($n_{\text{о.с}} + n_{\text{и.с}} + n_{\text{л.с}}$) показатель η тем больше, чем большую долю от общего числа отказов функционирования составляют излишние и ложные срабатывания» [12].

Отсюда следует, что оценка эффективности РЗ процентом правильных действий может не соответствовать действительности. Между тем, на основе рассуждений выше, выражения (2) большей определенностью по отношению к эффективности функционирования РЗ по сравнению с процентом правильных действий будет отличаться следующая величина [12]:

$$\nu = \frac{n_{\text{с}} - (n_{\text{и.с}} + n_{\text{л.с}})}{n_{\text{с}} + n_{\text{о.с}}} . \qquad (3)$$

Приведенное выражение (3) – относительно выраженный реальный эффект защиты при неучете различий в последствиях отказов функционирования разного рода. Действительно, в (10) числитель пропорционален реальному выходному эффекту, если не различать указанные последствия отказов функционирования разного рода. Знаменатель (10) представляет собой число внутренних КЗ, пропорциональное предельному выходному эффекту защиты.

Общий недостаток (9) и (10) – неучет различия ущербов из-за отказов срабатывания, излишних и ложных срабатываний, которые можно учесть, например, коэффициентами удельного веса названных событий, рассчитанных экономическим путем.

Для оценки именно эффективности функционирования РЗ также весьма полезными являются показатели периодичности различных действий или отказов РЗ, представляющие собой среднюю продолжительность между повторными действиями одного устройства, определяемую количеством устройств, деленным на число их действий в год [10, 12]. Например, под периодичностью отказов в срабатывании понимается среднее значение времени работы устройства РЗА между отказами в срабатывании. Однако данные показатели в сегодняшнее время широко не используются.

В настоящее время в связи с внедрением микропроцессорных устройств РЗА для оценки эффективности соответствующих мероприятий становится необходимым комплексный учет различных систем РЗА и их особенностей. Для этих целей в [14, 15] предлагается использовать интегральный показатель эффективности, учитывающий все элементы в составе рассматриваемого канала РЗА (измерительные трансформаторы тока и напряжения, кабели, собственно устройства РЗА, цепи оперативного тока, выходные цепи защиты и т.д.) (4).

$$\text{М}[\text{Э}] = \frac{k_1}{T_{\text{о.ср}}} + \sum_{i=1}^{n} k_{\text{ст}.i} q_{\text{РЗ}.i} \Omega_i + \sum_{j=1}^{m} k_{\text{ст}.j} q_{\text{РЗ}j} \Omega_j , \qquad (4)$$

где М[Э] – математическое ожидание снижения эффективности из-за неидеальных характеристик устройств РЗА; k_1, $k_{\text{ст}.i}$, $k_{\text{ст}.j}$ – стоимостные коэффициенты, учитывающие стоимость последствий рассматриваемого отказа в функционировании (в денежном или другом выражении); $q_{\text{РЗ}.i}$, $q_{\text{РЗ}.j}$ – коэффициенты неготовности (или усредненные на расчетном интервале времени значения функций неготовности) системы РЗА, учитывающие как отказы в функционировании из-за неидеального технического уровня, так и отказы из-за неидеальной надежности; Ω_i, Ω_j – параметры потоков повреждений соответственно вне зоны защиты и на защищаемом объекте; $T_{\text{о.ср}}$ – средняя наработка на отказ в режиме дежурства.

По мнению авторов, приведенный показатель (4), позволяет достоверно оценить эффективность инвестиций в мероприятия, направленные на совершенствование систем РЗА ЭЭС, в том числе на внедрение микропроцессорных РЗА.

В свою очередь, в работе [16] для оценки надежности микропроцессорных РЗ предлагается использовать нормализованный показатель отказов (5), учитывающий следующие три типа отказов:

1) отказы реле, не связанные с неправильными действиями РЗ, но требующие ремонта или замены вышедших из строя элементов, блоков и модулей или программного обеспечения (M_S);
2) неправильные действия релейной защиты, т.е. излишние и ложные действия, а также отказы при КЗ внутри области действия (M_D);
3) ошибки персонала, связанные с эксплуатацией, тестированием и программированием реле, влияющие на правильность действия этого реле, но выявленные до наступления неправильного действия РЗ (M_P).

$$M_{\Sigma} = \left(\frac{M_S + M_D + M_P}{N} \right) \cdot 100\% , \qquad ((5)$$

где N – количество реле рассматриваемого типа, находящихся в эксплуатации за принятый период времени.

Все рассмотренные показатели оценивают качество выполнения и функционирования РЗ статистическими методами и включают в себя неправильные действия релейной защиты, обусловленные комплексом факторов: аппаратными ошибками, стихийными явлениями, неидеальной настройкой, ошибками персонала и др. Неправильные действия РЗ, обусловленные данными факторами, не отражают в полной мере именно эффективность функционирования защиты. Как представляется автору, более объективную картину может дать техническая эффективность РЗ [17], определенная в зависимости от режимов источников, видов повреждений и коммутаций в районе электрической сети, где планируется установка РЗ.

Список литературы:

1. Беркович М.А., Мельников М.Ф. Опыт освоения и эксплуатации релейной защиты и линейной автоматики электропередач 400-500 кВ // Электричество. – 1964. – № 12. – С. 1-5.
2. Фабрикант В.Л. О применении теории надежности к оценке устройств релейной защиты // Электричество. – 1965. – № 9. – С. 37-40.
3. Кулиев Ф.А. О надежности работы устройств релейной автоматики электрических сетей // Электричество. – 1965. – № 9. – С. 40-44.
4. Смирнов Э.П. Подход к расчету надежности устройств релейной защиты // Электричество. – 1965. – № 9. – С. 44-49.
5. Смирнов Э.П. Зависимость надежности релейной защиты от условий эксплуатации и надежности защищаемого элемента // Электричество. – 1966. – № 6. – С. 32-37.
6. Рипс Я. А. Зависимость надежности релейной защиты от условий эксплуатации и надежности защищаемого элемента // Электричество. – 1967. – № 8. – С. 81-83.
7. Барзам А. Б. Зависимость надежности релейной защиты от условий эксплуатации и надежности защищаемого элемента // Электричество. – 1967. – № 8. – С. 83-87.
8. Гук Ю.Б., Манов Н.А. Зависимость надежности релейной защиты от условий эксплуатации и надежности защищаемого элемента // Электричество. – 1967. – № 8. – С. 87-89.
9. Смирнов Э.П. Об особенностях техники надежности релейной защиты // Электричество. – 1967. – № 8. – С. 89-93.
10. Гук Ю.Б., Зейлидзон Е.Д., Манов Н.А. О применении основных понятий и критериев теории надежности в релейной защите // Электрические станции. – 1967. – № 8. – С. 67-74.

11. Барзам А.Б. О применении критериев теории надежности к технике РЗ. Электрические станции. – 1969. – № 1. – С. 87-90.
12. Зейлидзон Е.Д., Смирнов Э.П., Федосеев А.М. Основные свойства релейной защиты от коротких замыканий электроэнергетических систем // Электричество. – 1975. – № 4. – С. 1-7.
13. Манов Н.А. Анализ надежности релейной защиты на основе эксплуатационной статистики // Электрические станции. – 1968. – № 3. – С. 56-58.
14. Шалин А.И., Трофимов А.С. Эффективность и надежность релейной защиты энергосистем [Электронный ресурс]: Режим доступа www.energo-info.ru/images/pdf/Rele/Session_7/S7-1.pdf, свободный, 16.07.2011.
15. Нудельман Г.С., Шалин А.И. Микропроцессорные системы РЗА. Оценка эффективности и надежности // Новости электротехники. – 2008. – № 3 (51).
16. Гуревич В.И. О некоторых оценках эффективности и надежности микропроцессорных устройств релейной защиты // Вести в электроэнергетике. – 2009. – № 5. – С. 29-32.
17. Прутик А.Ф., Шмойлов А.В. Разработка алгоритмов и программ для настройки и оценки технической эффективности релейной защиты // Электричество. №12. 2009 г. - с. 19-26.

УДК 658.5:644

Комплексный контроль и мониторинг реализации программ развития энергетического и коммунального сектора муниципалитета

В.Г. Ротарь, А.А. Лукьянец*, А.Г. Чернов*
Институт кибернетики НИ ТПУ, г. Томск, Россия
**Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН, г. Новосибирск, Россия*
rotarvg@yandex.ru

Показана необходимость мониторинга действующих программ развития энергетического сектора. Предложена система индикаторов, учитывающая все основные факторы развития сектора и смежных с ним сфер.

Развитие систем электро- и теплоснабжения, газификация городских и сельских поселений, возможность использования местных топливных ресурсов позволяют в настоящее время рассматривать различные сценарии развития энергетики и коммунального сектора в том числе и на муниципальном уровне. Крайне важно уже на этапе планирования оценить, как планируемые проекты и мероприятия повлияют на функционирование и развитие других отраслей экономики и потребителей. Данные планы и оценка последствий их выполнения находят отражение в соответствующих программах развития отраслей и территорий. Программы развития энергетического и коммунального сектора сейчас существуют практически в каждом муниципалитете. Однако оценке их выполнения и влияния на смежные сектора уделяется достаточно мало внимания. Отчасти это происходит из-за того, что уже при разработке программ не учитывались возможности территории, в результате чего документ развития стал декларативным. Отчасти – из-за отсутствия какого-то обоснованного подхода к таким оценкам, на чём собственно авторы и хотели бы сосредоточиться.

Произошедшая трансформация экономики России и ее интеграция в мировую рыночную экономику вызвали существенные изменения условий функционирования и развития топливно-энергетического комплекса. На эффективность его работы все большее влияние стали оказывать не только традиционные факторы технического характера (безотказность оборудования, надежность и живучесть систем энергетики), но и экономические (инвестиционное обеспечение, финансовая нестабильность), социально-политические (национальные и региональные конфликты, забастовки), внешнеэкономические и внешнеполитические (устойчивость цен на энергоресурсы и мировой финансовой системы, геополитические предпочтения государств) и др.

Для оценки текущего и прогнозного состояния энергетической инфраструктуры региона или муниципального образования могут быть использованы специальные энергетические индикаторы. При этом их можно разделить на несколько основных групп: обеспеченность потребителей электрической и тепловой энергией, первичными ТЭР, структура производства, воспроизводства основных производственных фондов, финансы и экономика предприятий энергетического сектора, экология, энергосбережение, энергоэффективность.

На сегодняшний день развитие крупных электрогенерирующих мощностей и магистральных сетей является в основном объектом внимания субъектов федерального или регионального уровня, и центр принятия решений находится там. Та же ситуация наблюдается при разработке месторождений нефти, газа и угля. В зону ответственности муниципальных властей следует отнести использование местных ресурсов – дров, древесных отходов и торфа для целей теплоснабжения, завоз угля и мазута для котельных и населения, дизтоплива – для местных электростанций, развитие местной электросетевой и газовой инфраструктуры, строительство и модернизация систем теплоснабжения и ряд других. Поэтому оценивание программ на уровне муниципального образования должно отличаться от регионального уровня и производиться с использованием адаптированной системы индикаторов, учитывающей весьма ограниченный перечень полномочий в управлении энергетическим сектором муниципального образования.

Один из возможных наборов индикаторов, который может применяться для оценки выполнения планов по развитию энергетического сектора, приведен далее в таблице.

Таблица 1. Индикаторы контроля и мониторинга реализации программ развития энергетического и коммунального сектора

№ п/п	Наименование показателя	Начальное значение	Критический уровень	Текущее значение	Плановое значение
	Производство и потребление тепловой энергии				
1	Душевое потребление тепловой энергии в коммунально-бытовом хозяйстве, Гкал/чел.				
2	Доля установленной мощности наиболее крупной котельной (для централизованной системы теплоснабжения), %				
3	Отношение установленной мощности котельных к пиковой нагрузке потребителей, %				
	Обеспеченность первичными ТЭР				
4	Доля собственных источников в балансе котельно-печного топлива, %				
5	Доля выполнения планового задания по накоплению угольного топлива предприятиями теплоснабжения, %				
6	Доля доминирующего топливного ресурса в потреблении котельно-печного топлива котельными, %				
	Воспроизводство основных производственных фондов (ОПФ) в теплоэнергетике				
7	Степень износа ОПФ, %				
8	Степень износа тепловых сетей, %				
	Финансы и экономика				
9	Фактический уровень платежей населения (за отчетный период) за тепловую энергию, %				
11	Отношение сальдированной прибыли предприятий теплоснабжения к их годовому объему производства продукции, %				
	Экология				
12	Отношение суммарной величины годовых экологических выплат предприятиями теплоснабжения к их годовому объему производства продукции, %				
13	Выбросы вредных веществ в атмосферу от предприятий теплоснабжения на единицу площади территории, т/км^2				
	Энергосбережение и энергоэффективность				
14	Удельный расход условного топлива на производство теплоэнергии, кг.у.т./Гкал				
15	Относительная величина потерь тепловой энергии в тепловых сетях, %				

Использование предложенной модифицированной системы индикаторов для оценки выполнения программ развития энергетической инфраструктуры позволяет с достаточно высокой детальностью оценить возможные сценарии развития производства, транспортировки и потребления топливно-энергетических ресурсов в муниципальном образовании, что будет способствовать принятию обоснованных управленческих решений.

Список литературы:

1. Экономическая безопасность Свердловской области / Под науч. ред. Г.А. Ковалевой и А.А. Куклина. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2003 – 455 с.
2. Концепция энергетической безопасности субъектов федерации/ В.В. Литвак, В.А. Силич, М.П. Силич, М.И. Яворский // Энергосбережение по-томски: сборник статей, докладов и выступлений / Под ред. В.Н. Уйманова. – Томск: изд-во Том. ун-та, 2001.– С. 93-111.

УДК 621.316

Минимизация уровня высших гармоник в сетях промышленного предприятия

А.Н. Скамьин

Санкт-Петербургский государственный горный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

E-mail: askamin@yandex.ru

В работе предлагается проводить выбор параметров дополнительных реакторов для снижения влияния высших гармоник на конденсаторы в зависимости от природы возникновения гармонических искажений. Разработанная методика выбора параметров реакторов подтверждается результатами экспериментальных исследований на предприятии.

Нерациональное управление потоками реактивной мощности приводит к увеличению затрат на техническое обслуживание и ремонт электрооборудования, ухудшению качества электроэнергии, как в системе, так и в сетях предприятий, а также росту оплаты за электроэнергию.

Дополнительной проблемой, тесно связанной с уровнем реактивной мощности, является наличие высших гармоник, как следствие применения частотно-регулируемых приводов, нагрузок, управляемых тиристорами, и других нелинейных электроприемников. Работа конденсаторных батарей (КБ) в условиях появления высших гармоник, возникающих как со стороны внешнего источника относительно ввода предприятия, так и со стороны самого предприятия, ухудшается, что приводит к неэффективной компенсации реактивной мощности. Возрастает количество отключений конденсаторных установок вследствие перегрузки их токами высших гармоник, сокращается срок их службы, увеличиваются потери мощности и напряжения. Следовательно, снижается эффективность функционирования электротехнического комплекса предприятия в целом.

Таким образом, задачу компенсации реактивной мощности необходимо решать в комплексе с одновременным улучшением качества потребляемой электрической энергии в сетях промышленных предприятий и исключением перегрузок конденсаторов токами высших гармоник.

При выборе способа снижения влияния высших гармоник на КБ необходимо, прежде всего, проанализировать источник и природу их возникновения. Природа возникновения высших гармоник зависит от факторов, обусловленных работой электрооборудования как во внешней сети относительно ввода предприятия, так и в сети самого предприятия. На схеме замещения электрической сети для расчета значений высших гармоник внешний источник искажений относительно ввода предприятия обычно представляется совокупностью источников напряжения частотами от 1 до n (U_0, U_3, …, U_n). Аналогично, источниками тока замещается нелинейная нагрузка самого предприятия, работа которой приводит к возникновению высших гармоник (I_0, I_3, …, I_n). Обобщенная схема замещения, объединяющая представленные выше варианты, показана на рис. 1, где ЛН – эквивалентная линейная нагрузка предприятия, Xc – сопротивление системы.

В зависимости от факторов возникновения высших гармоник должен быть выбран способ снижения влияния высших гармоник на работу КБ. В случае применения активных фильтров и фильтрокомпенсирующих устройств природа возникновения высших гармоник практически не влияет на выбор их параметров.

То же касается способа, разработанного авторами в [1]. Как и в предыдущих способах, безразлично – каким образом образовались высшие гармоники, т.к. решается задача выбора такой мощности КБ при известном спектре высших гармоник в напряжении, при которой будет

выполнена задача компенсации реактивной мощности по заданному критерию без перегрузок КБ. Здесь следует отметить, что такой способ реален, но не всегда выполним.

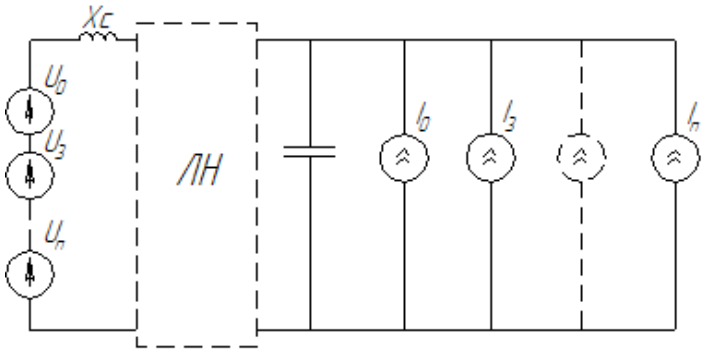


Рис. 1. Обобщенная схема замещения для расчета высших гармоник

В работе [2] предлагается размещать дополнительные реакторы в электрической сети предприятия для снижения влияния высших гармоник на КБ. Способ основан на изменении амплитудно-частотной характеристики узла сети относительно КБ с помощью размещения дополнительных реакторов. При этом важную роль играют факторы возникновения высших гармоник, и соответственно схема замещения сети. Так, при наличии внешнего источника искажений относительно ввода предприятия, предлагается увеличивать сопротивление системы, что приводит к ослаблению высших гармоник, проникающих в сеть предприятия. В случае возникновения искажений при работе нагрузки самого предприятия очевидно, что при увеличении сопротивления системы возникает большее падение напряжения от несинусоидального тока, генерируемого нелинейной нагрузкой. Следовательно, увеличивается несинусоидальность напряжения в сети предприятия. В этом случае предлагается применять ограничивающий реактор непосредственно перед КБ.

Представленные заключения были получены на основе теоретических исследований. Отметим, что разработки, представленные в [1] и [2], существенно экономичнее с точки зрении затрат, чем применение фильтрокомпенсирующих устройств и активных фильтров.

С целью подтверждения выводов, представленных выше, были проведены экспериментальные исследования на производстве. На промышленном предприятии были произведены измерения коэффициента несинусоидальности и определен спектральный состав тока и напряжения. Осциллограммы напряжения и тока КБ представлены соответственно на рис. 2, 3.

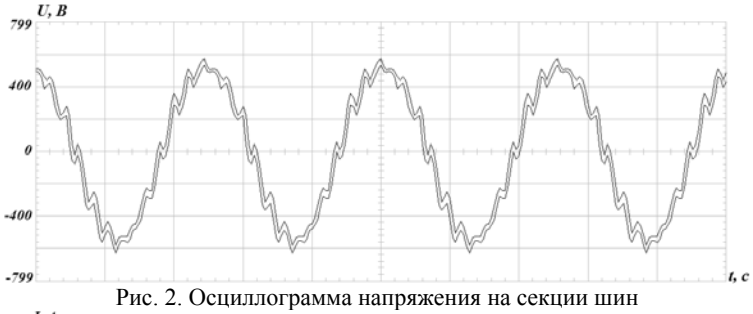


Рис. 2. Осциллограмма напряжения на секции шин

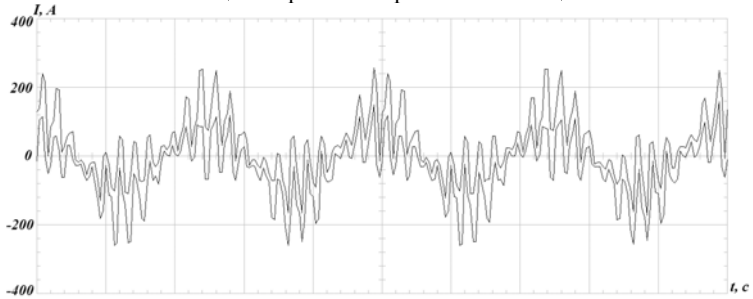


Рис. 3. Осциллограмма тока КБ

Перегрузка КБ токами высших гармоник достигает 70 %, коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения составляет 13 %. Было установлено, что возникновение высших гармоник в сети предприятия обусловлено работой нелинейной нагрузки во внешней сети относительно ввода предприятия. По результатам математического моделирования определено, что установка дополнительных реакторов в электрической сети промышленного предприятия позволяет обеспечить эффективное снижение потребления реактивной мощности и отсутствие перегрузок в сети от высших гармоник, причем реактор необходимо установить с целью увеличения сопротивления системы. Для этого случая были выбраны параметры реактора для инсталляции на предприятии.

При измерении параметров нагрузки и коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения на стороне 10 кВ до и после установки реактора получены осциллограммы тока и напряжения на конденсаторах, представленные на рис. 4, 5.

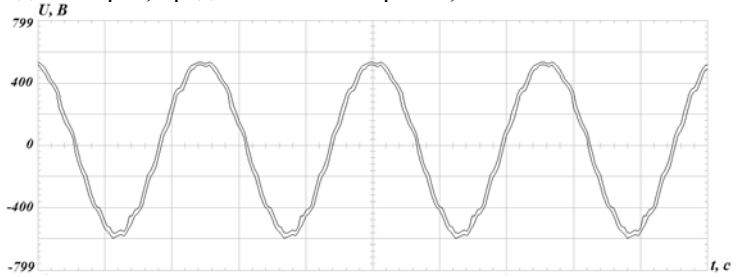


Рис. 4. Осциллограмма напряжения на секции шин

Рис. 5. Осциллограмма тока на конденсаторной батарее

В результате применения дополнительного реактора перегрузка КБ снизилась до 20 %, коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения - 5 %. Таким образом, установка дополнительных реакторов в сети предприятия в зависимости от природы возникновения высших гармоник позволяет снизить уровень гармонических искажений в напряжении и токе, что подтверждается результатами исследований на промышленном производстве.

Список литературы:

1. Шклярский Я.Э., Скамьин А.Н., Круглов А.В. К вопросу о снижении перегрузок конденсаторных батарей токами высших гармоник // Труды 8-ой международной научно-практической конференции: Освоение минеральных ресурсов Севера: проблемы и решения. – 2010. – С. 404-407.
2. Шклярский Я.Э., Скамьин А.Н., Ситников Д.А. Уменьшение влияния высших гармоник на работу электротехнического комплекса горного предприятия // Сб. «Записки Горного института». – 2008. – Т. 178. – С. 162-165.

УДК 621.315

Моделирование уровней эксплуатационной готовности воздушных линий электропередач с использованием Марковских случайных процессов

А.А. Складчиков

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 электропередач в целях прогнозирования основных показателей производственных программ предприятий электрических сетей и обеспечения комплексного учета надежности ВЛ.

Длительная эксплуатационная готовность воздушной линии электропередачи оценивается как вероятность того, что она при определенных условиях будет в полном объеме выполнять свои функции.

Оптимальный уровень эксплуатационной готовности ВЛ обеспечиваются проведением определенных научно-методических, организационно-технических, технологических, нормативно-правовых мероприятий с учетом временных, экономических и других ограничений.

Эксплуатационная готовность должна определяться количественно, поэтому основными показателями производственных программ работы предприятий электрических сетей должны служить: коэффициент технического использования ($K_{ТИ}$), коэффициент технической готовности ВЛ ($K_{ТГ}$), среднее время нахождения ВЛ в нормальном режиме ($t_{НР}$), среднее время нахождения ВЛ в исправном режиме ($t_{ИР}$) и потери электроэнергии на ее транспорт (ΔW).

Коэффициент технической готовности $K_{ТГ}$, определяется вероятностью того, что ВЛ будет находится в работе в произвольно выбранный момент времени. Коэффициент $K_{ТГ}$ за отчетный год можно определить исходя из среднего времени нахождения ВЛ в нормальном режиме ($t_{НР}$), в исправном режиме ($t_{ИР}$) и времени простоя ($t_{ПР}$) [1]:

$$K_{\text{ТГ}} = \frac{t_{\text{ИР}}}{t_{\text{НР}} + t_{\text{ПР}}}$$

Для моделирования коэффициента $K_{ТГ}$ использован аппарат Марковских дискретных случайных процессов с непрерывным временем [2]. ВЛ представлена как некоторая система S с дискретными режимами $S_0, S_1, \ldots, S_i, \ldots, S_n$, которая переходит из режима в режим под влиянием случайных событий (отказов, режимов сети). На стадии планирования режимов работы ВЛ без отпаек целесообразно рассматривать следующие режимы, в которых ВЛ может находиться в процессе эксплуатации: S_0 – нормальный режим, ВЛ исправна, в работе; S_1 – под напряжением со стороны ПС1; S_2 – под напряжением со стороны ПС2; S_3 – в горячем резерве, по режиму сети, схема электропередачи – выключатели отключены и разъединителями включены; S_4 – в холодном резерве, по режиму сети, схема электропередачи – выключатели отключены и разъединителями отключены; S_5 – в работе, автоматическое отключение с успешным АПВ; S_6 – транзит разорван, автоматическое отключение с неуспешным АПВ с одной стороны (ПС1/ПС2); S_7 – простаивает, автоматическое отключение с неуспешным АПВ; S_8 –в ремонте.

Режимы S_1 и S_2 отличаются от режима S_6 тем, что в режимах S_1 и S_2 ВЛ не подвергается внешним воздействиям приводящей её к режиму S_6.

Такие режимы можно анализировать с помощью модели надежности Маркова. Она основана на описании однородных процессов, которое строится на следующих положениях:

1. переход из режима S_i в режим S_n зависит только от режима S_i и не зависит от предыдущих (условие зависимости);
2. в достаточно коротком временно́м интервале $(t,t+D_t)$ переход из одного режима в другой зависит только от момента времени t и не зависит от предыдущего времени;
3. вероятность перехода $P(t,t+D_t)$ зависит при этом только от длительности интервала D_t и не зависит от величины t.

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

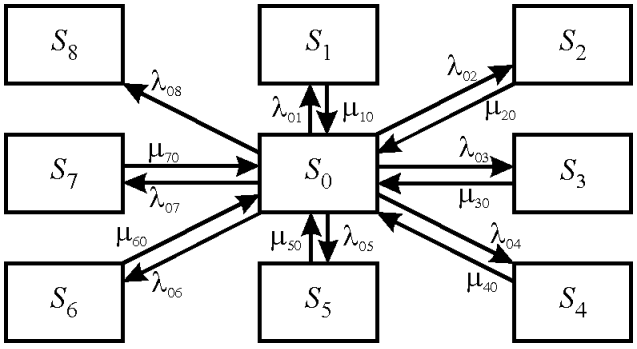


Рис. 1. Граф режимов и переходов ВЛ

Рассматриваемые режимы ВЛ S_i характеризуются средним числом дней D_i пребывания ВЛ за год в каждом из режимов. Тогда вероятность нахождения ВЛ P_i в i-том режиме можно

определить как отношение D_i / D, где D – число дней в году (365 дней).

На базе графов режимов и переходов от одного режима к другому можно составить систему дифференциальных уравнений, при помощи которой с использованием приведенных ранее величин времени выхода из строя и максимальной продолжительности восстановления отказавших ВЛ вычисляется длительность нахождения в нерабочем режиме (эксплуатационная неготовность) этих компонентов системы электроснабжения.

Для определения вероятностей P_0, P_1, ..., P_i, ..., P_n как функции времени t в случае непрерывных Марковских цепей составлена система уравнений (дифференциальных уравнений А.Н. Колмогорова) [2]:

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

где $P_i(t)$ – вероятность нахождения ВЛ в i-том режиме; λ_{0i} – интенсивность перехода ВЛ из номального в i-тый режим; μ_{i0} – интенсивность перехода ВЛ из i-того в нормальный режим. Вероятность нахождения ВЛ в нормальном режиме $P_0(t)$ представляет собой коэффициент технического использования K_{TH}, а сумма вероятностей $P_0(t) + P_7(t)$ – коэффициент технической готовности K_{TG}.

Согласно расчётам, проведённым на основе статистических данных эксплуатации ВЛ [3], все потоки, переводящие ВЛ из режима в режим, являются пуассоновскими 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.

Выводы:

1. Определены основные показатели производственных программ работы предприятий электрических сетей.
2. Описаны режимы работы ВЛ без отпаек, взятые за основу для моделирования с использованием аппарата Марковских дискретных случайных процессов с непрерывным временем.
3. Доказано, что потоки, переводящие ВЛ из режима в режим, являются пуассоновскими или сводятся к ним путём рассмотрения процесса эксплуатации на малых интервалах времени и корректировки исходного потока отказов для исключения последействия.
4. Показано, что применения Марковских случайных процессов для моделирования уровней эксплуатационной готовности ВЛ в целях прогнозирования основных показателей производственных программ предприятий электрических сетей обеспечивает комплексный учет надежности ВЛ.

Список литературы:

1. Гольдштейн В.Г., Гордиенко А.Н., Пухальский А.А., Халилов Ф.Х. Повышение надежности работы электрооборудования и линий 0,4 – 110 кВ нефтяной промышленности при воздействиях перенапряжений. – М.: Энергоатомиздат, 2006. – 216 с.
2. Острейковский В.А. Теория надежности. – М.: Высшая школа, 2003. – 462 с.
3. 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.

УДК 621.315

Классификация и анализ технических рисков при эксплуатации воздушных линий электропередач

А.А. Складчиков

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

E-mail: skladchikov-aa@mail.ru

В работе определены основные положения, позволяющие провести классификацию и методологию оценки технических рисков при эксплуатации воздушных линий электропередач.

Технико-производственные или технические риски – это вероятность отказа технических устройств с последствиями определенного уровня (класса) за определенный период функционирования опасного производственного объекта (для ВЛ – вероятность возникновения технологического нарушения и прекращение транспорта электроэнергии по ней) [1].

Эффективная деятельность предприятий электрических сетей (ПЭС), как правило, сопряжена с освоением новой техники и технологии, поиском резервов, повышением интенсивности производства. Однако внедрение новой техники и технологии ведет к опасности техногенных катастроф, причиняющих значительный ущерб природе, людям, производству. В данном случае речь идет о технических рисках.

Технический риск при эксплуатации ВЛ определяется степенью организации производства, проведением превентивных мероприятий (регулярных осмотров, технического обслуживания и ремонтов при обеспечении мер безопасности), а также оцениванием возможности проведения ремонта и обслуживания ВЛ либо собственными силами ПЭС, либо привлечением подрядных организаций.

Технические риски можно подразделить (отнести):

1. вероятность возникновения технологического нарушения из-за ошибок при проектировании;
2. вероятность возникновения технологического нарушения из-за применения не проектированных материалов;
3. вероятность возникновения технологического нарушения из-за дефектов монтажа и строительства;
4. вероятность возникновения технологического нарушения из-за дефектов конструкции и изготовления;
5. вероятность возникновения технологического нарушения из-за отсутствия возможности освоения результатов новых разработок;
6. вероятность возникновения технологического нарушения из-за недостатков эксплуатации.

Следует отметить, что технический риск относится к группе внутренних рисков, поскольку ПЭС может оказывать на данные риски непосредственное влияние и возникновение их, как правило, зависит от самого ПЭС.

Анализ рисков - процедуры выявления факторов рисков и оценки их значимости, по сути, анализ вероятности того, что произойдут определенные нежелательные события и отрицательно повлияют на достижение целей проекта. Анализ рисков включает оценку рисков и методы снижения рисков или уменьшения связанных с ним неблагоприятных последствий [2]. Оценка рисков - это определение количественным или качественным способом величины (степени) рисков.

Американский эксперт Б. Берлимер [3] предложил при анализе использовать некоторые допущения:

1. Потери от риска независимы друг от друга.
2. Потеря по одному направлению деятельности не обязательно увеличивает вероятность потери по другому (за исключением форс-мажорных обстоятельств).
3. Максимально возможный ущерб не должен превышать финансовых возможностей участника.

Анализ рисков можно подразделить на два взаимно дополняющих друг друга вида: качественный и количественный. Качественный анализ имеет целью определить (идентифицировать) факторы, области и виды рисков. Количественный анализ рисков должен дать возможность численно определить размеры отдельных рисков и риска предприятия в целом.

Итоговые результаты качественного анализа риска, в свою очередь, служат исходной информацией для проведения количественного анализа. Однако осуществление количественной оценки встречает и наибольшие трудности, связанные с тем, что для количественной оценки рисков нужна соответствующая исходная информация.

Вывод: определены основные положения, позволяющие провести классификацию и методологию оценки технических рисков при эксплуатации воздушных линий электропередач.

Список литературы:

1. http://www.risk24.ru
2. 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.
3. Грабовый П. Г., Петрова С. И., Полтавцев С. И. и др. Риски в современном бизнесе. - М.: Алане, 1994. – 200с.

УДК 621.311

Оценка погрешностей расчета режимов распределительных электрических сетей

А.С. Степанов, В.И. Маругин
Северо-Кавказский государственный технический университет, г. Ставрополь, Россия
E-mail: stepas1955@mail.ru

Получены расчетные выражения, позволяющие оценить погрешность расчета режимных параметров сетей 6-35 кВ по известным погрешностям задания исходной схемной и режимной информации

Как показано в монографии [1], исходная информация, необходимая для расчетов режимов электрических сетей (данные о параметрах сети и ее нагрузок), характеризуется значительной неопределенностью: среднеквадратичные ошибки активных мощностей нагрузок составляют 1,5 ÷ 40 %, реактивных нагрузок – в пределах 15 ÷ 80 %. Ошибки определения параметров схем замещения элементов сетей также являются значительными и колеблются в диапазонах от ± 10 % (для активного сопротивления трансформаторов) до 1,5 ÷ 3 раз (для активной проводимости линий электропередачи). Неопределенность информации особенно велика для распределительных электрических сетей (РЭС) 6-35 кВ.

В связи с этим для РЭС актуальной является оценка погрешностей режимных параметров (напряжений и потоков мощности), получаемых в результате расчета установившегося режима, выполненного, например, методом «в два этапа» [2].

Целью настоящей работы является получение математических выражений, обеспечивающих возможность расчета погрешностей определения режимных параметров РЭС.

Основными выражениями, используемыми при расчете режима РЭС с учетом общепринятых допущений [2], являются формулы, описывающие изменения напряжения и мощности в ветви схемы замещения. Для некоторой ветви l схемы замещения с известными активным и индуктивным сопротивлениями R_l и X_l, связывающей между собой узлы i и j, по известному напряжению в узле начала ветви i U_i можно найти напряжение в узле конца j, а по мощности конца ветви $P_{ji}+jQ_{ji}$ – мощность в ее начале:

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

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

Поток реактивной мощности в начале ветви Q_{ij} определяется по формуле, аналогичной (2) путем замены в ней R_l на X_l.

Мощность, потребляемая включенной в узле i проводимостью G_i, определяется выражением

$$P_i = U_i^2 G_i . \tag{3}$$

Из формул (1) – (3) видно, что напряжение U_j является функцией пяти переменных $U_j = \varphi\left(U_i, P_{ij}, Q_{ij}, R_l, X_l\right)$, поток мощности в начале ветви P_{ij} зависит от четырех переменных, а мощность в узле P_i – только от двух переменных.

В соответствии с положениями теории вероятностей [3] для определения статистических характеристик функции вида $y = \varphi(x_1, x_2, \ldots x_n)$ ее следует разложить в ряд Тейлора в окрестности точки математического ожидания $\mathbf{M}x_1, \mathbf{M}x_2, \ldots \mathbf{M}x_n$ с удержанием не менее первых трех членов разложения. Тогда математическое ожидание и дисперсия функции могут быть записаны в следующем виде:

$$\mathbf{M}y = \varphi\left(\mathbf{M}x_1, \mathbf{M}x_2, \ldots \mathbf{M}x_n\right) + \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x_i^2}\right)_m \mathbf{D}x_i + \sum_{i<j}\left(\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x_i \, \partial x_j}\right)_m \mathbf{K}_{ij} , \tag{4}$$

$$\mathbf{D}y = \sum_{i=1}^{n}\left(\frac{\partial\varphi}{\partial x_i}\right)_m^2 \mathbf{D}x_i + \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{\partial^2\varphi}{\partial x_i^2}\right)_m^2 \mathbf{D}^2x_i + \sum_{i<j}\left(\frac{\partial^2\varphi}{\partial x_i\partial x_j}\right)_m^2 \mathbf{D}x_i\mathbf{D}x_j\,, \qquad (5)$$

где индекс m означает, что в выражения частных производных вместо аргументов x_i подставляются их математические ожидания $\mathbf{M}x_i$. $\mathbf{K}_{ij}$ –корреляционный момент переменных x_i и x_j. При этом в [3] делается оговорка о том, что выражение для дисперсии (5) получено при допущении о некоррелированности аргументов и их распределении по закону, близкому к нормальному.

Относительная среднеквадратичная погрешность расчета параметра y в этом случае будет равна

$$\gamma_y = \sqrt{\mathbf{D}y}\,/\mathbf{M}\,y\,.$$

Применяя описанные теоретические положения к рассматриваемым формулам (1) – (3), найдем выражения для частных производных и, подставляя эти выражения в формулы для математического ожидания и дисперсии искомой функции (4) и (5), для вероятностных характеристик напряжения U_j получим:

$$\begin{aligned}\mathbf{M}U_j &= \mathbf{M}U_i\cdot\left[1 - V_{1l}\left(1+\gamma_{Ui}^2\right)\right] + \\ &+ \frac{1}{\mathbf{M}U_i}\left[\mathbf{M}R_l\mathbf{M}P_{ij}\left(\rho_{UR}\gamma_{Ui}\gamma_{Rl} + \rho_{PU}\gamma_{Ui}\gamma_{Pij} - \rho_{PR}\gamma_{Pij}\gamma_{Rl}\right) + \right., \\ &\left. + \mathbf{M}X_l\mathbf{M}Q_{ij}\left(\rho_{UX}\gamma_{Ui}\gamma_{Xl} + \rho_{QU}\gamma_{Ui}\gamma_{Qij} - \rho_{QX}\gamma_{Qij}\gamma_{Xl}\right)\right]\end{aligned} \qquad (6)$$

$$\begin{aligned}\mathbf{D}U_j &= \mathbf{D}U_i\left(1+V_{1l}\right)^2 + 2V_{1l}^2\gamma_{Ui}^4\mathbf{M}^2U_i + V_{2l}\left(1+\gamma_{Ui}^2\right) + \\ &+ \frac{\mathbf{M}^2R_l\,\mathbf{M}^2P_{ij}}{\mathbf{M}^2U_i}\gamma_{Rl}^2\left(1+\gamma_{Ui}^2+\gamma_{Pij}^2\right) + \frac{\mathbf{M}^2X_l\,\mathbf{M}^2Q_{ij}}{\mathbf{M}^2U_i}\gamma_{Xl}^2\left(1+\gamma_{Ui}^2+\gamma_{Qij}^2\right)\end{aligned}, \qquad (7)$$

где

$$V_{1l} = \frac{\mathbf{M}R_l\mathbf{M}P_{ij} + \mathbf{M}X_l\mathbf{M}Q_{ij}}{\mathbf{M}^2U_i}, \quad V_{2l} = \frac{\mathbf{M}^2R_l\,\mathbf{D}P_{ij} + \mathbf{M}^2X_l\,\mathbf{D}Q_{ij}}{\mathbf{M}^2U_i},$$

$\rho_{UR}, \rho_{PU}, \rho_{PR}, \rho_{UX}, \rho_{QU}, \rho_{QX}$ – коэффициенты корреляции между соответствующими величинами; $\gamma_{Rl}, \gamma_{Xl}, \gamma_{Ui}, \gamma_{Pij}, \gamma_{Qij}$ – относительные среднеквадратичные погрешности определения параметров схемы замещения и параметров режима.

Для потока активной мощности в конце ветви в соответствии с выражением (2) можно получить:

$$\begin{aligned}\mathbf{M}P_{ji} &= \mathbf{M}P_{ij} + V_{3l}\left(1+3\gamma_{Ui}^2 - 2\rho_{UR}\gamma_{Ui}\gamma_{Rl}\right) + \\ &+ \frac{\mathbf{M}R_l}{\mathbf{M}^2U_i}\left[\mathbf{D}P_{ij}\left(\gamma_{Pij} + 2\rho_{PR}\gamma_{Rl} - 4\rho_{PU}\gamma_{Ui}\right) + \mathbf{D}Q_{ij}\left(\gamma_{Qij} + 2\rho_{QR}\gamma_{Rl} - 4\rho_{QU}\gamma_{Ui}\right)\right]\end{aligned} \qquad (8)$$

$$\begin{aligned}\mathbf{D}P_{ji} &= \mathbf{D}P_{ij}\left(1 + 4\frac{\mathbf{M}P_{ij}}{\mathbf{M}^2U_i}\mathbf{M}R_l\right) + V_{3l}^2\left[2\gamma_{Ui}^2\left(2+9\gamma_{Ui}^2\right) + \gamma_{Rl}^2\left(1+4\gamma_{Ui}^2\right)\right] + \\ &+ \frac{\mathbf{M}^4P_{ij}\gamma_{Pij}^2}{\mathbf{M}^4U_i}\mathbf{M}^2R_l\left(2+8\gamma_{Ui}^2+2\gamma_{Rl}^2+\gamma_{Pij}^2\right) + \frac{\mathbf{M}^4Q_{ij}\gamma_{Qij}^2}{\mathbf{M}^4U_i}\mathbf{M}^2R_l\left(2+8\gamma_{Ui}^2+2\gamma_{Rl}^2+\gamma_{Qij}^2\right)\end{aligned} \qquad (9)$$

где $V_{3l} = \dfrac{\mathbf{M}^2P_{ij} + \mathbf{M}^2Q_{ij}}{\mathbf{M}^2U_i}\mathbf{M}R_l$.

Для мощности, потребляемой включенной в узле i проводимостью G_i, в соответствии с выражением (3) получим:

$$\mathbf{M}P_i = \mathbf{M}^2U_i \cdot \mathbf{M}G_i \left(1 + \gamma_{Ui}^2 + 2\rho_{UG}\gamma_{Ui}\gamma_{Gi}\right), \quad (10)$$

$$\mathbf{D}P_i = \mathbf{M}^4U_i \cdot \mathbf{M}^2G_i \left[4\gamma_{Ui}^2 + 2\gamma_{Ui}^4 + \left(1 + 4\gamma_{Ui}^2\right)\gamma^2{}_{Gi}\right]. \quad (11)$$

Таким образом, сформированы расчетные выражения (6) – (11), которые в совокупности с аналогичными выражениями для $\mathbf{M}Q_{ji}$, $\mathbf{D}Q_{ji}$, $\mathbf{M}Q_i$ и $\mathbf{D}Q_i$ позволяют оценить погрешности расчета напряжений и потоков мощности в РЭС.

Ряд коэффициентов корреляции в этих выражениях, например $\rho_{UR,}$, $\rho_{UX,}$ $\rho_{UG,}$ ρ_{QX}, можно признать несущественными и исключить из расчета, приняв равными нулю.

Настоящая работа подготовлена по результатам выполнения госконтракта № 16.516.11.6116 от 23.08.2011 в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технического комплекса России на 2007-2013 годы».

Список 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. Вентцель Е.С. Теория вероятностей.- М.: Наука, 1964.- 576с.

УДК 621.398

Гибридные системы коррекции формы кривых тока и напряжения в электрических сетях предприятий минерально-сырьевого комплекса

Ю.А. Сычев

Санкт-Петербургский государственный горный университет, Санкт-Петербург, Россия
E-mail: Sychev_yura@mail.ru; YA_Sychev@mail.ru

Показана целесообразность использования гибридных систем коррекции формы кривых тока и напряжения в электрических сетях предприятий минерально-сырьевого комплекса с территориально-рассредоточенными нелинейными нагрузками.

Анализ результатов многочисленных теоретических и экспериментальных исследований, проведенных в электрических сетях 0.4 кВ объектов минерально-сырьевого комплекса, показали, что коэффициенты искажения синусоидальности формы кривой тока k_I и напряжения k_U непосредственно на зажимах нелинейной нагрузки ниже аналогичных коэффициентов на границе раздела электрических сетей между потребителем и поставщиком электрической энергии, где k_U нормируется ГОСТ 13109-97. В этом случае при нормально допустимой величине k_U у отдельных потребителей нефтедобычи, на границе раздела электрических сетей поставщика и потребителя k_U не соответствует нормам ГОСТ 13109-97 [1].

Нелинейная нагрузка, потребляя несинусоидальный ток, создает высшие гармоники тока, которые, протекая через полные сопротивления участков сети, вызывают падения напряжения на частоте каждой гармоники, что обуславливает, в свою очередь, искажение формы кривой напряжения сети. При удалении нелинейной нагрузки от границы раздела сетей поставщика и потребителя, или от любой выбранной для измерений контрольной точки увеличивается реактивное сопротивление, через которое протекают высшие гармоники тока, при этом растет падение напряжения на каждой частоте и в конечном итоге коэффициент искажения синусоидальности формы кривой напряжения в рассматриваемой контрольной точке, где производятся измерения, будет больше, чем у отдельных потребителей объектов минерально-сырьевого комплекса. Согласно результатам экспериментальных исследований в условиях минерально-сырьевого комплекса величина k_U как правило в 2-3 раза ниже k_I. Таким образом, при наличии территориально-рассредоточенных мощных нелинейных нагрузок, необходимо выбрать точку в электрической сети, где целесообразна установка активных, пассивных или гибридных фильтрокомпенсирующих систем. Также перед выбором типа системы коррекции формы кривых тока и напряжения необходимо провести комплексный анализ спектрального состава высших гармонических составляющих компенсируемой сети.

В качестве примера рассмотрим спектральный состав кривой напряжения на зажимах нелинейной нагрузки в условиях нефтепромыслов (рис.1).

Исходный коэффициент k_U без компенсации составляет 10,1 %, что не соответствует

норме ГОСТ 13109-97 (8 %), при компенсации 5 и 7 высших гармонических составляющих, предполагая включение пассивной системы коррекции, k_U = 6,89 %, что удовлетворяет норме.

Рис. 1. Спектральный состав напряжения сети 0,4 кВ

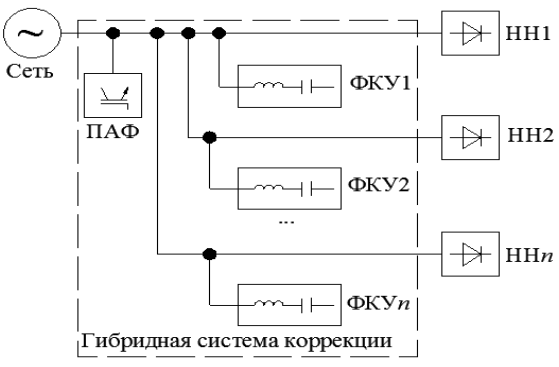
При компенсации только 5 гармоники k_U = 7,15 %, при компенсации только 7 - k_U = 9,89 % [2, 3]. Таким образом, в данном случае основной вклад в искажение синусоидальности формы кривой напряжения вносит 5 гармоника, для устранения которой существует три варианта:

1. установка пассивного фильтрокомпенсирующего устройства, настроенного на подавление 5 гармоники;
2. установка активной системы коррекции формы кривых тока и напряжения в виде параллельного активного фильтра;
3. установка пассивного фильтрокомпенсирующего устройства, настроенного на подавление 5 и 7 гармоник.

Вариант №3 на практике не даст надлежащего результата, так как пассивные фильтрокомпенсирующего устройства, настроенные на подавление нескольких порядков гармоник, при компенсации выдают некоторую погрешность в отличие от фильтров, настроенных на подавление только одной гармоники. Этот факт связан с точностью настройки резонансных цепей пассивного фильтрокомпенсирующего устройства.

Вариант №2 исследован на практике [2, 3] и по результатам его применения k_U = 5,9 %.

Вариант №1 по сравнению с вариантом №2 менее эффективен по критерию минимизации k_U.



Таким образом, по критерию минимума величины k_U наиболее эффективен 2 вариант, но с экономической точки зрения он наиболее затратный.

Рис. 2. Гибридная система коррекции формы кривых тока и напряжения

Результаты теоретических исследований и математического моделирования показали, что наиболее эффективным техническим средством компенсации высших гармоник в рассматриваемом случае являются гибридные системы коррекции формы кривых тока и напряжения, состоящие из пассивных и активных фильтров. Структура гибридной системы коррекции определяется исходя из конфигурации электрической сети, типа компенсируемой нелинейной нагрузки и характера амплитудно-частотной характеристики в месте установки устройства.

В условиях минерально-сырьевого комплекса нелинейные нагрузки территориально-рассредоточены, поэтому непосредственно у отдельных нелинейных потребителей устанавливаются пассивные фильтрокомпенсирующие устройства, настроенные на частоты канонических гармоник, а в узловых точках, от которых питается несколько нелинейных нагрузок, - параллельные активные фильтры. Все это в совокупности представляет собой гибридную систему коррекции формы кривых тока и напряжения, приведенную на рис.2 (ПАФ – параллельный активный фильтр; НН1, НН2, … НН*n* – нелинейные нагрузки; ФКУ1, ФКУ2, … ФКУ*n* – пассивные фильтрокомпенсирующие устройства).

Таким образом, при наличии большого числа территориально-рассредоточенных нелинейных нагрузок в условиях минерально-сырьевого комплекса целесообразно применение гибридных систем коррекции формы кривых тока и напряжения.

Список литературы:

1. Сычев Ю.А. Измерение и анализ показателей качества электрической энергии в сетях нефтедобывающих предприятий // Записки Горного института. – 2007. – Т. 173. – С. 109-111.
2. Абрамович Б.Н., Медведев А.В., Старостин В.В., Аболемов Е.Н., Полищук В.В., Сычев Ю.А. Промышленные испытания активного фильтра в промысловых сетях ОАО «Оренбургнефть ТНК-ВР» // Промышленная энергетика. – 2008. - № 10 – С. 42-46.
3. Абрамович Б.Н., Медведев А.В., Старостин В.В., Аболемов Е.Н., Полищук В.В., Сычев Ю.А. Коррекция коэффициента мощности в сетях нефтепромыслов с помощью активного фильтра // Нефтяное хозяйство. - 2008. - № 5 – С. 88-90.

Повышение эффективности работы децентрализованных систем электроснабжения

Б.Д. Табалдиева, Ю.А. Краснятов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

E-mail: kras@elti.tpu.ru

Сделан анализ низкой энергоэффективности децентрализованных систем электроснабжения, ориентировочно определена величина дотаций муниципального бюджета за оплату электроэнергии на одного жителя, потребляющего электрическую энергию от этой системы, показаны пути повышения энергоэффективности систем электроснабжения и снижения себестоимости электрической энергии

В зоне децентрализованного энергоснабжения России в настоящее время проживает около 10 млн. человек, в том числе на Крайнем Севере — 2,5 млн. человек. Районы децентрализованного электроснабжения распространены также на Дальнем Востоке, в Сибири, на Алтае, в Поволжье и на Северном Кавказе, в горных районах средней Азии. Надежное энергообеспечение населения децентрализованных зон является важнейшей государственной задачей, от успешного решения которой во многом зависит не только социально-экономическое развитие регионов, но и безопасность людей.

Для электроснабжения потребителей децентрализованных зон традиционно используются установки малой энергетики - малые электростанции, работающие на автономную электрическую сеть одного или нескольких близлежащих населенных пунктов. Основу малой энергетики только России составляют дизельные электростанции, общее количество которых превышает 47 тыс., а установленная мощность достигает 15 млн. кВт.

Затраты только на топлива для выработки одного кВт*час электроэнергии составляет 5,2-5,5 руб.(225-250 г. дизельного топлива)[2]. Себестоимость одного кВт*час в зависимости от объема выработки электроэнергии и равна 12,7 – 14 руб. Объем потребления электрической энергии одним жителем таких населенных пунктов составляет 1340 -1686 кВт*час в год. При тарифе на электрическую энергию 1,51 руб. средняя доплата бюджета на одного жителя населенного пункта в год составляет более 17 тыс. рублей. В маленьких населенных пунктах себестоимость электроэнергии значительно выше. Энергетическое экспресс - обследование систем электроснабжения различных населенных пунктов показало, что в них практически одни и те же причины высоких потерь энергоресурсов. Точно определить потенциал энергосбережения и составить план мероприятий по его реализации можно определить только при проведении полного энергетического обследования. Только методически и инструментально достоверное обследование энергопотребления укажет места нерационального использования энергоресурсов, позволит составить достоверный энергетический баланс предприятия, сделать правильный выбор мероприятий по повышению энергоэффективности, разработать бизнес-плана по внедрению этих

мероприятий, сделать выбор контролируемых параметров энергоэффективности. При этом оценку потенциала энергоэффективности необходимо производить не от данных статистической отчетности за предшествующий период, а от расчетов режимов оптимального энергопотребления, сделанных нормативным методом.

Потребление и производство электрической энергии являются связанными технологическими процессами, на себестоимость которой оказывают непосредственное влияние множество самых разнообразных факторов: географические и климатические условия региона, численность населения, структура секторов экономики объектов электроснабжения, собственные и хозяйственные нужды электростанций, потери в электрических сетях, коммерческие потери, износ и эффективность работы основного генерирующего оборудования ДЭС.

Первоочередными задачами повышения эффективности выработки, передачи и распределения электрической энергии, является установка приборов учета потребления первичных энергоресурсов (дизельного топлива) и отпуска электрической энергии потребителям, а также снижение потерь в электрических сетях. Потери в распределительной сети каждой конкретной ДЭС во многом зависят от ее структуры: количества ступеней трансформации, класса напряжений, протяженности, характера нагрузок и т.п.

В соответствии с Законом РФ «Об энергосбережении…» [5] энергоснабжающие компании обязаны проводить раз в 5 лет энергетическое обследование предприятия, на основе которого должны разрабатываться и внедряться мероприятия по повышению энергетической эффективности с целью снижения потерь энергоресурсов и повышения эффективности их использования

В качестве первоочередных мероприятий должны быть следующие:

- установка электросчетчиков коммерческого и технического учета;
- организация равномерного снятия показаний электросчетчиков в строго установленные сроки;
- проведение рейдов по выявлению бездоговорного потребления электроэнергии;
- установка системы учета потребления нефтепродуктов;
- установление норматива потребления нефтепродуктов на выработку одного кВт*ч электрической энергии;
- определение коэффициента загруженности дизельгенераторов;
- усиление пропаганды среди населения по вопросу энергосбережения с разъяснением реальной стоимости электрической энергии и структуры ее оплаты.

Кроме того, необходимо провести энергетические обследования сетей энергопредприятия, с целью определения реального уровня потерь, надежности электроснабжения, качества электрической энергии, которое определяется нормативными документами [6]. На основе сравнительного анализа фактических и расчетных потерь определить для данных предприятий нормативы потерь электрической энергии.

Для определения эффективности работы предприятия в качестве основных технико–экономических показателей работы изолированных систем энергоснабжения можно взять следующие показатели:

- количество выработанной и отпущенной электроэнергии от ДЭС;
- отношение фактической электрической мощности к установленной;
- аварийность, наработка на отказ;
- себестоимость электроэнергии, отпущенной электростанцией;
- прибыль по предприятию;
- удельный расход топлива на отпущенную электроэнергию;
- расход электроэнергии на собственные и хозяйственные нужды энергоснабжающей организации;
- удельная численность рабочего персонала энергетического предприятия.

Повышение эффективности работы систем децентрализованного электроснабжения - важная компонента обеспечения экономии бюджета муниципального образования и повышения надежности электроснабжения потребителей электрической энергией.

Список литературы:

1. Электроэнергия: от получения и распределения до эффективного использования: материалы Всероссийский научно технический конференции/НИТПУ. – Издательство ТПУ, 2010. -351с.
2. htt:www.biz.mk.ua/dieselmah

3. Правила технической эксплуатации дизельных электростанций (ПТЭД)// Утверждены 09/02/1993г.
4. Парников Н.М. Повышение энергетической эффективности комплексов децентрализованного электроснабжения на примере Республики Саха, диссертация. 2009 г.
5. Закон РФ №261-ФЗ от 23.11.2009 «Об энергосбережении и повышения энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».
6. ГОСТ 13109-97 «Показатели качества электрической энергии».

УДК 621.317

Обоснование способа контроля состояния контактов коммутационной аппаратуры

К.Ф. Сахибгареев, И.Ф.Суворов
Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия
E-mail: unc@chita.ru

Приведены обзор характерных групп контактов, основные характеристики и методы контроля состояния. Обосновывается необходимость постоянного автоматического контроля их состояния.

Электрическим контактом называют место перехода тока из одной токоведущей части аппарата или иного токопровода в другую часть. В аппаратах контактом также называют конструктивный элемент, с помощью которого в процессе работы аппарата осуществляется периодическое замыкание и размыкание электрической цепи [1].

Контактные системы электрических аппаратов можно разделить на три характерные группы: 1) контакты аппаратов релейного типа, 2) контакты аппаратов управления и распределительных устройств (рис. 1); контакты аппаратов высокого напряжения [2].

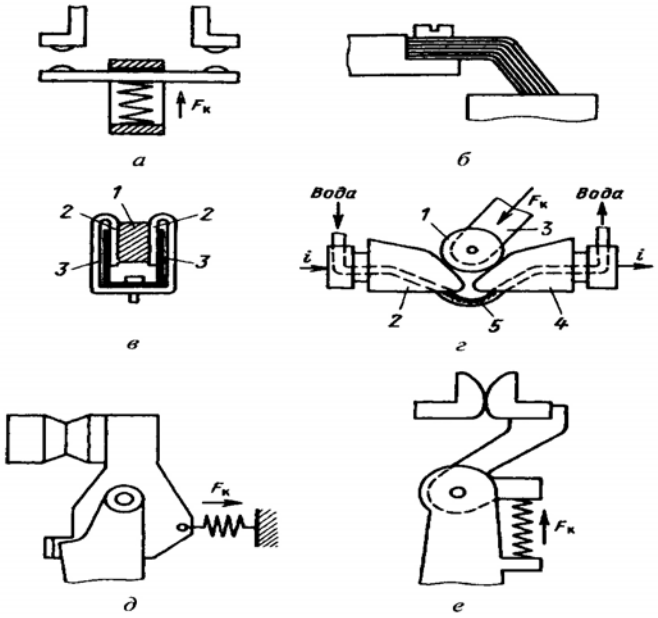


Рис. 1. Контакты управления коммутационных аппаратов и распределительных устройств

Под износом контактов понимают разрушение рабочей поверхности коммутирующих контактов, приводящее к изменению их геометрической формы, размера, массы и т.д. Износ, происходящий под действием электрических факторов, называется электрическим износом – электрической эрозией контактов. Износ под действием механических факторов меньше электрического [3]. Известно, что плохой контакт и неодновременность их размыкания (замыкания) приводит к перенапряжениям [4]. Основной характеристикой любого электрического контакта является его сопротивление, будь то разъемные или не разъемные соединения, которое можно рассматривать как сумму сопротивлений материала контактов и переходного сопротивления между контактами. Переходное сопротивление зависит от материала контактов, площади контакта и разнообразных пленок покрывающих контактирующие поверхности.

Электрические контакты являются слабым звеном в любых системах распределения энергии, управления промышленными процессами и машинами. Поэтому обеспечению их надежности и мониторингу уделяется все возрастающее внимание.

На данный момент существует несколько методов мониторинга состояния контактов.

1. Температурный мониторинг. Подразделяется на две основных группы методов − контактные и бесконтактные. Контактные датчики наиболее распространены в силу малой стоимости. Бесконтактные датчики измеряют энергию инфракрасного излучения объекта. К таким датчикам относятся ИК термометры, пирометры, ИК сканеры изображений, оптоволоконные термометры).

2. Мониторинг сопротивления. Измерители сопротивления представляют собой точные микроомметры на базе микропроцессора, которые могут измерять сопротивления от 1 мкОм до 50 кОм (рис. 2,а), при этом используется четырехпроводный зонд с позолоченными щупами очень малого радиуса (рис. 2,б). Недостаток данных измерителей – применение их только на обесточенных контактах.

а *б*

Рис. 2. Микроомметр (а), четырехпроводный пробник (б)

3. Датчики контактной нагрузки. Мониторинг контактной нагрузки ведется, в основном, для болтовых соединений. В частности, применяют специальные болты со встроенными устройствами контроля затяжки болта, которое выполнено в виде тензодатчика из фольги, установленного внутри болта.

4. Ультразвуковые детекторы. Электрические контакты могут излучать звуковые волны в диапазоне выше 20 кГц в случае нарушения контакта. Модуляция позволяет выделить дифференциальный сигнал звуковой частоты, который слышит оператор[2].

Износ контактов вызывает рост переходного сопротивления контактов, контролируя который можно судить о необходимости проведения планово-предупредительного ремонта либо замене электрического аппарата. Данный контроль можно проводить в режиме реального времени, применяя для измерения переходного сопротивления косвенный метод ампер-вольтметра, с выдачей сигнала предупреждения (отключения) неисправных контактов. Этот метод применяется для измерения сопротивления на постоянном токе. Для адаптации вышеприведенного метода к переменному току, необходимо измерять мгновенные значения напряжения и тока. Для измерения предполагается использовать микроконтроллерную систему (МКС). Реализация измерения падения напряжения на контактах возможна двумя способами: 1) непосредственное измерение падения напряжения на контакте; 2) вычисление падения напряжения на контакте как разницы между напряжениями до контакта и после.

Первый способ реализации можно охарактеризовать как более точный, т.к. падение напряжения на контакте имеет малое значение, при токе через контакт 100 А и сопротивлении контакта 10мОм имеем падение напряжения 1 В. Реализация более сложная, т.к. в разомкнутом состоянии контакта на устройстве измерения будет находиться полное линейное или фазное напряжение, которое будет превышать измеряемое в сотни раз.

Второй способ имеет меньшую точность, ограниченную разрядностью аналого-цифрового преобразователя (АЦП), т.к. необходимо измерять непосредственно линейное или фазное напряжение. При разрядности АЦП равной 10 бит имеем 1024 значения, шаг измерения напряжения составит:

$$U_{ш}=(380*\sqrt{2}) / 1024\approx 0.525(\text{В}) \text{ или } U_{ш}=(220*\sqrt{2}) / 1024\approx 0.304(\text{В})$$

Список литературы:

1. Михайлов О.П., Стоколов В.Е. Электрические аппараты и средства автоматизации. – М.: Машиностроение, 1982. – 125 с.
2. Мышкин Н. К., Кончиц В.В., Браунович М. Электрические контакты. − Долгопрудный: Издательский Дом «Интелект», 2008. – 497 с.
3. Алиев И.И. Электрические аппараты. Справочник. – М.:
4. Суворов И.Ф., Портнягин А.В. Использование адаптивной защиты электродвигателей для обеспечения ЭМС в сети 0,4 кВ // Тезисы докладов девятой Российской научно-технической конференции по электромагнитной совместимости (ЭМС-2006). − С-Петербург: ВИТУ, 2006. − С. 162-165.

УДК 621. 313.3

Разработка алгоритма и способа косвенного контроля электромагнитного момента асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

А.Д. Умурзакова

Инновационный Евразийский Университет, г. Павлодар, Республика Казахстан

granat_72@mail.ru

В статье представлен способ измерения электромагнитного момента трехфазного асинхронного электродвигателя, который позволяет обеспечить требуемую точность результата.

Для определения электромагнитного момента асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором (АДКР) разработан способ косвенного контроля. Электромагнитный момент М АДКР получим с учетом фазных токов i_a, i_b и фазных напряжений u_a, u_b соответственно фаз А и В, известных значений числа пар полюсов p_n и активного сопротивления обмотки статора r_1 из выражения:

$$M = \sqrt{3} * p_n * \left| i_a * \left(\int u_b dt - r_1 \int i_b dt \right) - i_b * \left(\int u_a dt - r_1 \int i_a dt \right) \right|, \quad (1.1)$$

где i_a, i_b - мгновенные значения фазных токов на фазах А и В;

u_a, u_b - мгновенные значения фазных напряжений на фазах А и В.

В соответствии с выражением (1.1) и алгоритмом, представленном на рис. 1 для определения электромагнитного момента АДКР необходимо произвести измерение мгновенных значений фазных напряжений и токов, произвести операции преобразования, перемножения, интегрирования.

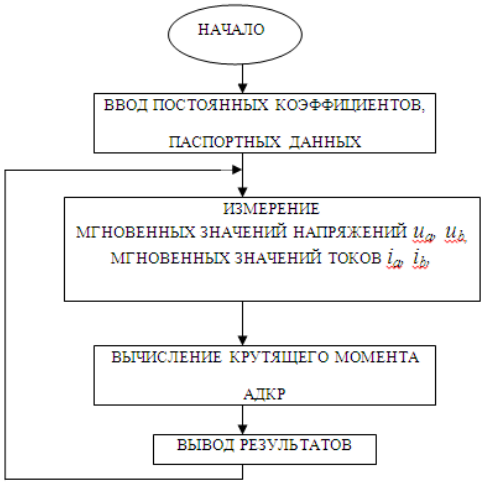


Рис. 1. Алгоритм косвенного контроля электромагнитного момента АДКР

В соответствии с выражением (1.1) построена обобщенная функциональная схема контроля крутящего момента асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором, представленная на рис. 2.

В соответствии с выражением (1.1) для определения крутящего момента асинхронного электродвигателя, с источника питания 1 (рис .3) подают напряжение на асинхронный электродвигатель 2, измеряют мгновенные значения i_a, i_b фазных токов на фазах А и В с помощью датчиков тока 3, 4, измеряют мгновенные значения фазных напряжений u_a, u_b датчиками напряжения 5, 6. Далее с помощью блока вычисления момента 7 получаем сигнал, пропорциональный крутящему моменту, развиваемому асинхронным электродвигателем, и выводим его на блок индикации 8.

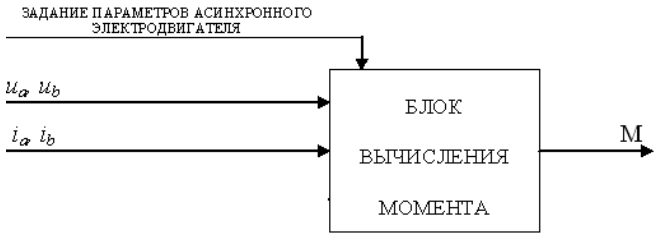


Рис. 2. Обобщенная функциональная схема контроля электромагнитного момента АДКР

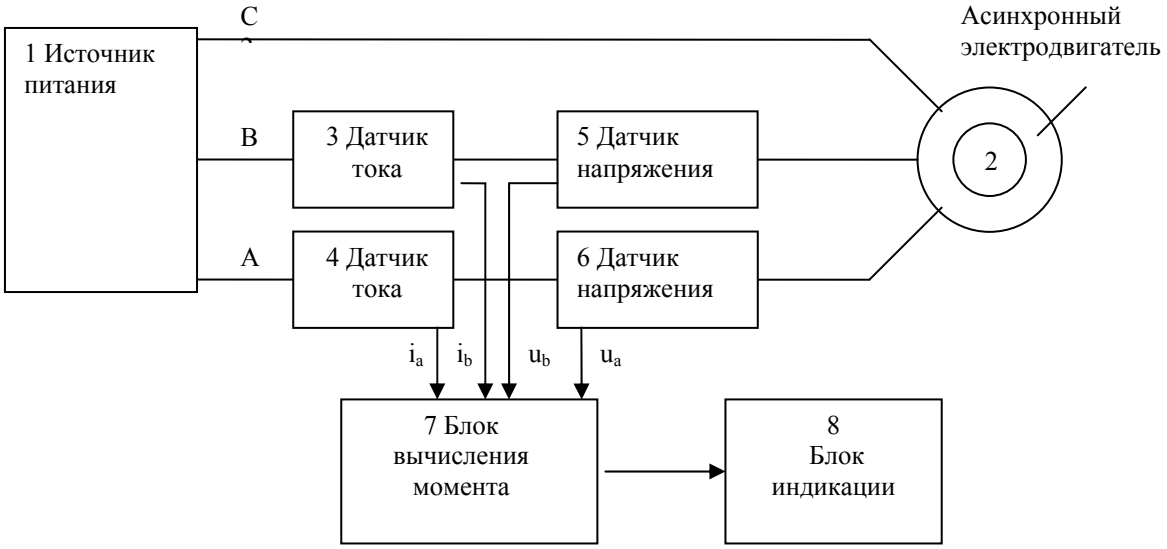


Рис. 3. Общая схема для измерения электромагнитного момента АДКР

Блок вычисления момента может быть реализован на основе структурной схемы, представленной на рис. 4.

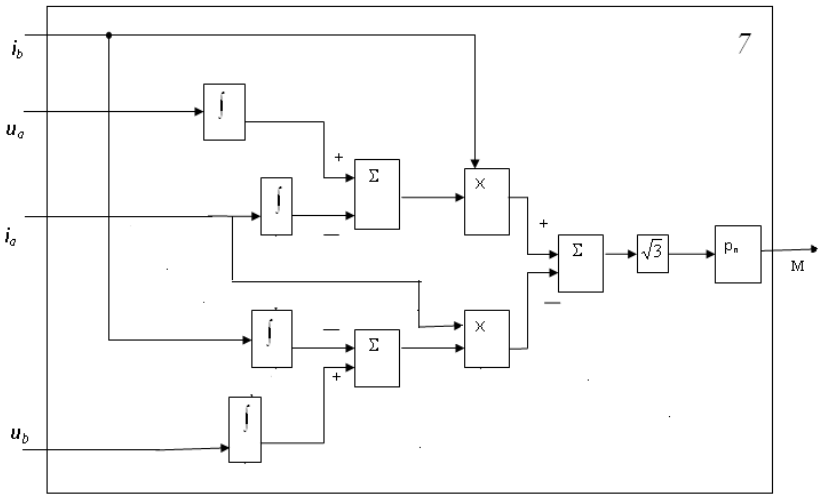


Рис. 4. Блок вычисления момента АДКР

Техническим результатом данного способа является повышение точности измерения электромагнитного момента трехфазного асинхронного электродвигателя в динамических режимах работы электропривода и упрощение способа измерения.

Список литературы:

1. Мельников, В. Ю., Умурзакова, А.Д. Способ измерения крутящегося момента асинхронного электродвигателя: Инновационный Патент РК № 21034, - бюллютень № 3, 2009. – 10 с.

Секция 2 Эффективность теплоэнергетических установок и систем

УДК 519.6

Численное моделирование процессов тепломассопереноса при вулканизации кабельных изделий

Н.А. Аманжолова, Е.В. Иванова
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия
E-mail: zhenya1@tpu.ru

Выполнено численное моделирование комплекса взаимосвязанных процессов тепломассопереноса и полимеризации, протекающих при вулканизации типичного кабельного изделия. Проанализировано влияние конфигурации кабеля, теплообмена с внешней средой за счет конвекции, а также эффекта полимеризации на условия его прогрева. Установлены зависимости времени полной полимеризации оболочки кабельного изделия от температуры воздуха в нагревательной печи и ее характерных размеров.

Вулканизация является одним из основных этапов производства кабельных изделий [1]. В этом процессе определяющую роль играет химическое связывание макромолекул каучука. При этом формирование пространственных структур занимает особое место в проблеме создания резины.

Для получения изделий с оптимальными технологическими параметрами, удовлетворяющими требованиям соответствующих нормативных документов, следует в каждом отдельном случае выбирать наиболее целесообразные сочетания вулканизирующих агентов и оптимальные условия вулканизации. При этом следует учитывать и энергоэффективность технологического процесса [2].

Для изделий больших размеров (6 мм и более) часто трудно установить оптимальные температуры и выдержать требуемое время вулканизации. Так как все изоляционные материалы обладают низкими коэффициентами теплопроводности, то процесс прогрева до полного завершения вулканизации длится от 6 минут и более в зависимости от физических свойств резин.

При вулканизации кабельные изделия, как правило, пропускают через специальные печи с достаточно высокой температурой (до 480 К) воздуха [1]. Эти процессы должны завершиться высокой степенью полимеризации изоляционной оболочки кабеля [2]. При выборе оптимальной температуры горячего воздуха, соответствующей достижению условия завершения полимериизации оболочки, размеров вулканизационных печей и технологических параметров необходимо учитывать теплофизические и термохимические процессы, протекающие в изделии [3, 4].

Сложность экспериментального исследования макроскопических закономерностей отверждения кабельных изделий обусловлена тем, что прогрев до завершения процесса вулканизации даже относительно тонких слоев изоляции кабельных изделий занимает достаточно большие интервалы времени (десятки минут). При этом необходимо контролировать температуру поверхности изоляционного слоя, которая не должна превышать температуры начала термического разложения материала оболочки кабеля.

В таких условиях теоретическое исследование нестационарных температурных полей изоляционных слоев при их вулканизации, на базе моделей, учитывающих сложные взаимосвязанные процессы тепломассопереноса (теплопроводность, конвекция) и химического реагирования (полимеризация), является единственно возможным решением задачи повышения энергоэффективности таких процессов на производствах.

Цель данной работы – численное исследование физико-химических процессов, протекающих при вулканизации типичных кабельных изделий, а также анализ влияния параметров нагревательной камеры вулканизационной печи на условия полимеризации изоляционной оболочки.

Рассматривалась система, представленная на рисунке 1. Кабель состоит [4] из жилы – меди (*1*) и оболочки – резины (*2*). Изделие с начальной температурой T_0 нагревается при существенно более высокой температуре воздуха (*3*) в печи T_v. В результате резиновый слой (оболочка) кабеля вулканизуется. Полнота завершения процесса определяется степенью полимеризации изоляционного материала φ. Время завершения полимеризации (φ ≈ 1 по всей

толщине ($R_1<r<R_2$) оболочки) $t_р$ является одной из важнейших характеристик эффективности рассматриваемого процесса.

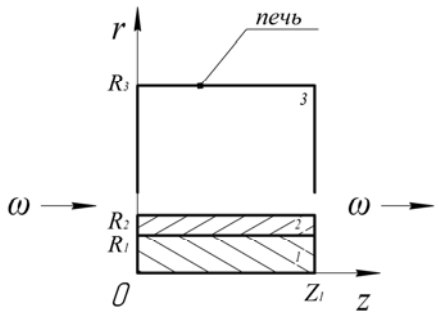


Рис. 1. Схема области решения задачи при $0<t<t_р$: 1 – жила кабеля, 2 – оболочка кабеля, 3 – горячий воздух

При численном моделировании принимались следующие допущения, не накладывающие существенных ограничений на общность постановки задачи:

1. Контакт между жилой и слоем изоляционного материала идеален.
2. Кабель имеет правильную цилиндрическую форму.
3. Коэффициенты теплопроводности жилы, оболочки кабеля и воздуха в нагревательной камере не зависят от температуры.
4. Энергия активации процесса полимеризации не изменяется при изменении температуры.
5. Рассматривается фрагмент кабеля длиной Z_1 с идеально теплоизолированными торцами.

Математическое моделирование исследуемых процессов возможно только при адекватном описании процесса теплообмена кабельного изделия с окружающей средой. Использование при описании рассматриваемого процесса граничных условий третьего рода приводит обычно к решению проблемы определения коэффициента теплообмена на границе раздела сред. Существенное повышение надежности результатов прогностического моделирования температурных полей кабельных изделий возможно при решении задачи теплопереноса в рассматриваемой системе с использованием сопряженной постановки [5]. В настоящей работе учитывалось движение кабеля относительно печи.

Система нестационарных дифференциальных уравнений теплопроводности для системы «печь – воздух – резиновая оболочка – медный провод» (рис. 1), соответствующая сформулированной постановке задачи, имеет следующий вид.

Уравнение теплопроводности для жилы кабеля ($0<r<R1$, $0<z<Z1$):

$$\rho_1 C_1 \frac{\partial T_1}{\partial t} = \lambda_1 \left(\frac{\partial^2 T_1}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial T_1}{\partial r} + \frac{\partial^2 T_1}{\partial z^2} \right). \quad (1)$$

Уравнение энергии для изоляционной оболочки кабеля ($R1<r<R2$, $0<z<Z1$):

$$\rho_2 C_2 \frac{\partial T_2}{\partial t} = \lambda_2 \left(\frac{\partial^2 T_2}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial T_2}{\partial r} + \frac{\partial^2 T_2}{\partial z^2} \right) + q_2 \rho_2 \frac{d\varphi_2}{dt}, \quad (2)$$

где

$$\frac{d\varphi_2}{dt} = (1-\varphi_2) k_2^0 \exp\left(-\frac{E_2}{R_t T_2} \right). \quad (3)$$

Уравнение Пуассона для воздуха ($R2<r<R3$, $0<z<Z1$):

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial r^2} - \frac{1}{r}\frac{\partial \psi}{\partial r} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} = -r\omega. \quad (4)$$

Уравнение завихренности для воздуха ($R2<r<R3$, $0<z<Z1$):

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + u\frac{\partial \omega}{\partial r} + v\frac{\partial \omega}{\partial z} - \frac{\omega u}{r} = \nu_3 \left(\frac{\partial^2 \omega}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial \omega}{\partial r} + \frac{\partial^2 \omega}{\partial z^2} - \frac{\omega}{r^2} \right) + g\beta \frac{\partial T_3}{\partial r}, \quad (5)$$

Уравнение энергии для воздуха ($R2<r<R3$, $0<z<Z1$):

$$\rho_3 C_3 \left(\frac{\partial T_3}{\partial t} + u\frac{\partial T_3}{\partial r} + v\frac{\partial T_3}{\partial z}\right) = \lambda_3\left(\frac{\partial^2 T_3}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial T_3}{\partial r} + \frac{\partial^2 T_3}{\partial z^2}\right). \quad (6)$$

Начальные (t=0) условия:

$T=T_0$ при 0<r<R2, 0<z<Z1; (7)

$T=T_v$, $\psi=\omega=0$ при R3<r<R4, 0<z<Z1; (8)

$\varphi=\varphi_0$ при R1<r<R2, 0<z<Z1. (9)

Граничные условия при 0<t<tp:

$$\frac{\partial T}{\partial z} = 0 \text{ при z=0, 0<r<R4; z=L, 0<r<R3;} \quad (10)$$

$$\psi = \omega = 1 \text{ при z=0, R2<r<R3; z=L, R2<r<R3;} \quad (11)$$

$$\frac{\partial \psi}{\partial z} = 0,\ \frac{\partial \omega}{\partial z} = 0 \text{ при z=0, R3<r<R4; z=L, R3<r<R4} \quad (12)$$

$$\frac{\partial T}{\partial r} = 0 \text{ при r=0, 0<z<Z1; r=R3, 0<z<Z1;} \quad (13)$$

$$-\lambda_1\frac{\partial T_1}{\partial r} = -\lambda_2\frac{\partial T_2}{\partial r},\ T_1 = T_2 \text{ при r=R1, 0<z<Z1;} \quad (14)$$

$$-\lambda_2\frac{\partial T_2}{\partial r} = -\lambda_3\frac{\partial T_3}{\partial r},\ T_2 = T_3 \text{ при r=R2, 0<z<Z1;} \quad (15)$$

$$\frac{\partial \psi}{\partial r} = 0,\ \frac{\partial \omega}{\partial r} = 0,\ T = T_v \text{ при r=R3, 0<z<Z1.} \quad (16)$$

Здесь ρ – плотность, кг/м^3; C – теплоемкость, Дж/(кг·К); T – температура, К; t – время, с; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К); r, z – координаты цилиндрической системы; q - теплота химической реакции полимеризации, Дж/кг; φ – степень полимеризации; k0 – предэкспонент химической реакции, с$^{-1}$; E – энергия активации химической реакции, Дж/моль; Rt – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К); ψ – функция тока, м^3/с; ω – вихрь скорости, с$^{-1}$; u, v – компоненты скорости воздушных потоков в камере, м/с; ν – кинематическая вязкость, м^2/с; g – ускорение свободного падения, м/с^2; β – коэффициент термического расширения, К$^{-1}$; T0 – начальная температура жилы и оболочки кабеля, К; Tv – температура поверхности вулканизационной камеры, К; индексы «1», «2», «3» соответствуют жиле, оболочке кабеля, воздуху.

Уравнения движения и неразрывности (3), (4) записаны в переменных «функция тока – вихрь скорости». При этом функция тока ψ и вихрь скорости ω заданы следующим образом [7]:

$$u = \frac{1}{r}\frac{\partial \psi}{\partial z},\ v = -\frac{1}{r}\frac{\partial \psi}{\partial r},\ \omega = \frac{\partial v}{\partial r} - \frac{\partial u}{\partial z}.$$

Численное моделирование выполнено при следующих значениях параметров [5–10]: ρ_1=8700 кг/м^3; λ_1=400 Вт/(м·К); C_1=385 Дж/(кг·К); ρ_2=1200 кг/м^3; λ_2=0,16 Вт/(м·К); C_2=1380 Дж/(кг·К); ρ_3=1,161 кг/м^3; λ_3=0,026 Вт/(м·К); C_3=1190 Дж/(кг·К); $\nu_3=2{,}5\cdot10^{-5}$ м^2/с; T_0=303 К; T_v=350÷550 К; φ_0=0; $k_0=5\cdot10^5$ с$^{-1}$; $E=5\cdot10^4$ Дж/моль; $q=10^3$ Дж; φ_0=0,4; R_1=0,002 м; R_2=0,004 м; R_3=0,01÷0,035 м; Z_1=0,1 м.

Задача решена методом конечных разностей с использованием локально-однородного метода для решения системы разностных уравнений. Аппроксимация граничных условий для уравнений Пуассона и завихренности проводилось аналогично [8, 9]. Итерационный процесс для системы (1) – (14) организовывался по методике [9, 10].

Типичное температурное поле в рассматриваемой системе (рис. 1) по завершению процесса вулканизации в момент полной полимеризации оболочки кабеля (t_p=345 с) при T_v=450 К, R_3=0,01 м приведено на рисунке 2.

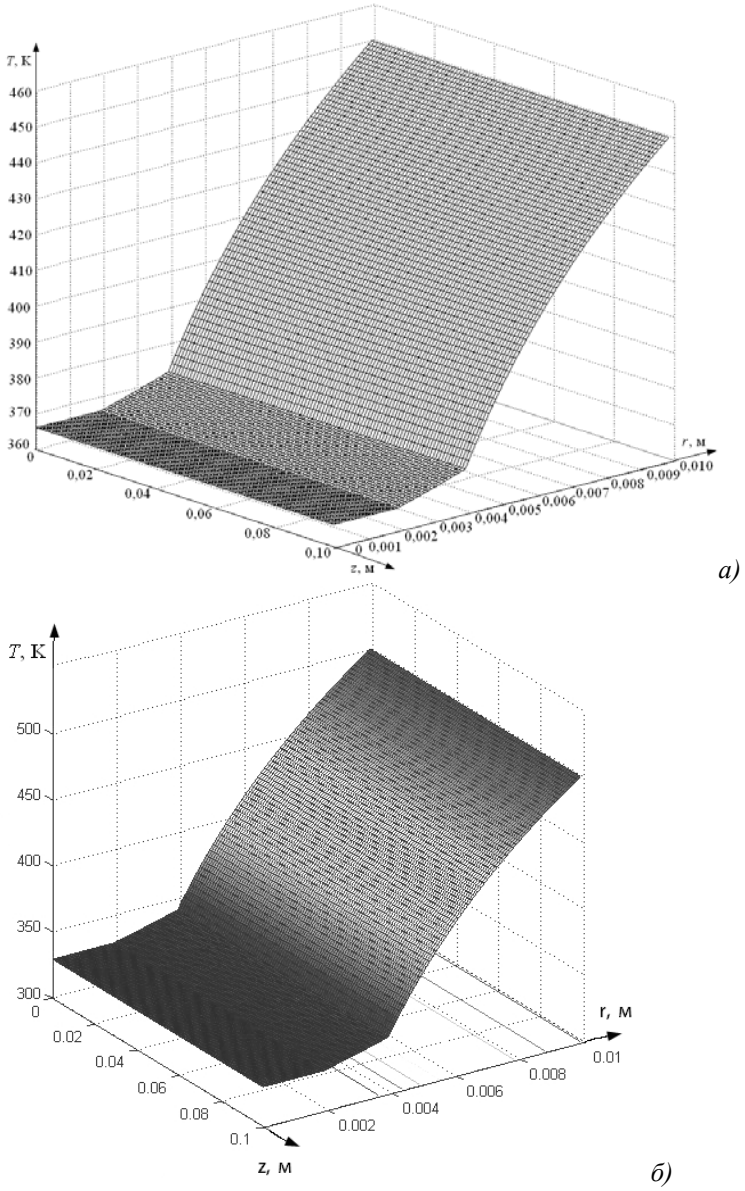


Рис. 2. Температурное поле в системе «кабель – горячий воздух» при $t=t_p$:
а) без учета влияния воздуха, б) с учетом влияния воздуха на входе и выходе из печи

Установлено, что влияние воздуха на входе и выходе из печи значительно уменьшает температуру нагрева кабельного изделия при вулканизации (более 20 К), что повлечет за собой увеличение времени полимеризации резиновой оболочки.

Полученные результаты теоретического исследования и представленную модель тепломассопереноса с химическим реагированием можно использовать для численного анализа энергоэффективности процессов вулканизации типичных кабельных изделий на производствах.

Список литературы:

1. Кошелев Ф.Ф., Корнев А.Е., Климов Н.С. Общая технология резины. – М.: Химия, 1968. – 560 с.
2. Лукомская А.И., Баденков П.Ф., Кеперша Л.М. Тепловые основы вулканизации резиновых изделий. – М.: Химия, 1972. – 359 с.
3. Шеин В.С., Шутилин Ю.Ф., Гриб А.П. Основные процессы резинового производства. – Л.: Химия, 1988. – 159 с.
4. Леонов В.М., Пешков И.Б., Рязанов И.Б., Холодный С.Д. Основы кабельной техники – М.: Издат. центр «Академия», 2006. – 432 с.
5. Тепломассообмен: Справочник / Под ред. А.В. Лыкова. – М.: Энергия, 1978. – 479 с.

6. Джалурия Й. Естественная конвекция: тепло– и массообмен. – М.: Мир, 1983. – 399 с.
7. Роуч П.Дж. Вычислительная гидродинамика. – М.: Мир, 1980. – 616 с.
8. 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.
9. Кузнецов Г.В., Шеремет М.А. Сопряженный тепломассоперенос в замкнутой области с локально сосредоточенным источником тепловыделения. Инженерно-физический журнал, 2006. – Т. 79. - №1. – с. 56-63.
10. Kuznetsov G.V., Sheremet M.A. Conjugate natural convection with radiation in an enclosure // International Journal of Heat and Mass Transfer (ИФ 1.500), 2009 - V. 52, - № 10. - P. 2215-2223
11. Kuznetsov G.V., Sheremet M.A. Conjugate heat transfer in an enclosure under the condition of internal mass transfer and in the presence of the local heat source // International Journal of Heat and Mass Transfer (ИФ 1.500), 2009 - V. 52, - № 1. - P. 1-8
12. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. – М.: ООО «Старс», 2006. – 720 с.
13. Теплотехнический справочник / Под ред. В.Н. Юренева, П.Д. Лебедева. – М.: Энергия, 1975. – Т. 1. – 743 с.
14. Бабичев А.П., Бабушкина Н.А., Братковский А.М. Физические величины: Справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 1232 с.

УДК 621.039

Методические положения расчета безотказности парогенераторов ПГУ

М.С. Анкудинова, Е.А. Ларин, Л.А.Сандалова
Саратовский государственный технический университет, г. Саратов, Россия
E-mail: larin@sstu.ru

Разработаны методические положения расчета вероятности безотказной работы парогенераторов парогазовых установок

Управление надежностью при проектировании энергетического оборудования с целью оптимизации конструктивных, технологических, схемных и эксплуатационных решений требует разработки моделей и методов расчета единичных показателей надежности (ПН) элементов энергооборудования. Модели надежности элементов энергооборудования и энергоустановок в целом создаются на основе анализа их функционального назначения с учетом действительных факторов и условий работы, достоверности исходной информации, требуемой точности результата оценки надежности. Детерминированные методы расчета ПН элементов энергооборудования, получившие достаточно широкое применение и основанные на расчете относительных или абсолютных запасов прочности и долговечности, не учитывают ряда реальных эксплуатационных факторов. В действительных условиях эксплуатации значения служебных характеристик металла (предел длительной прочности, предел усталости и др.) и действующих напряжений носят случайный характер из-за случайных нарушений стационарных режимов работы и отклонений характерных размеров элементов вследствие производственных, технологических и эксплуатационных факторов. Поэтому расчет ПН элементов энергооборудования должен базироваться на основе вероятностных методов, позволяющих учесть статистическое рассеяние характеристик прочности и нагруженности с использованием теории случайных величин и случайных функций.

Надёжность парогенераторов (ПГ) парогазовых установок (ПГУ) определяется:

-термонапряжённым состоянием трубного пучка, температурный режим которого зависит от параметров теплоносителя, конструктивных особенностей, конструкционных материалов, режимов эксплуатации и ряда других факторов;

-в отдельных зонах ПГ возникают пульсации температур, вызванные особенностями генерации пара и нестационарностью расходов, давлений и температур теплоносителей. Одним из самых опасных с точки зрения разрушения является участок ухудшенного теплообмена испарительной зоны ПГ. Причиной пульсаций температуры стенки труб ПГ является изменение локальных коэффициентов теплоотдачи из-за высыхания микроплёнки жидкости на внутренней образующей труб испарительной части. Пульсации температур вызывают соответствующие пульсации термических напряжений, которые, суммируясь со стационарными напряжениями, снижают надёжность ПГ. Так как пульсации температур и напряжений носят случайный характер,

а служебные характеристики материалов имеют статистическую природу, то расчёт показателей надёжности должен базироваться на использовании вероятностных подходов.

В основу математической модели расчета одного из важнейших единичных показателей надёжности ПГ, его безотказности, положено следующее:

- ПГ делится на зоны, каждая из которых вносит свой вклад в вероятность отказа. При этом экономайзерная зона содержит четыре участка, испарительная имеет участки развитого кипения и ухудшенного теплообмена, перегревательная зона состоит из двух участков;

- действующие напряжения являются случайными величинами, разброс которых относительно математического ожидания определяется глобальными и локальными факторами. Глобальные неопределённости характерны для всех зон ПГ, определяются местными условиями и связаны с уменьшением толщин стенки из-за технологических факторов, эрозии, коррозии и т.д. Все локальные неопределённости статистически независимы, поэтому для получения общего закона распределения случайной величины напряжений могут быть использованы свёртки отдельных функций;

- служебные характеристики применяемых материалов (предел длительной прочности и предел выносливости) являются случайными величинами, распределёнными по нормальному или логарифмически нормальному законам;

- оценка безотказности проводится из условия определения вероятности непревышения действующих напряжений над допустимыми на каждом расчётном участке. Для определения этого условия используются свёртки дифференциальных функций распределения действующих напряжений и их предельных значений.

В соответствии с феноменологичеким подходом к расчету надежности элементов энергооборудования [1] под безотказностью элемента следует понимать вероятность непревышения величины нагружения $X(t)=\{x_1,\ ...,x_i,...,x_{\hat{i}},t\}$ прочности $Y(t)=\{y_1,\ ...,y_i,...,y_{\hat{i}},t\}$, то есть попадания случайной функции работоспособности (ФР) Z(t)= Y(t) - X(t) в область отрицательных значений. Значения аргументов функции X(t) и Y(t) в общем случае определяются их номинальными значениями x_i^H и y_j^H, а также постоянными Δx_i и Δy_i и переменными во времени δx_i и δy_j отклонениями. Если в ПГ выделено $m(m=I,\ \hat{m})$ элементов, а безотказность каждого из них характеризуется $n(n=I,\ \hat{n})$ ФР, то условие безотказности запишется в виде

$$Z_{n,m}(t)=\{\min[Y_{nk}(t)-X_{nk}(t)]\}_m>0,\ m\in\hat{m};n\in\hat{n},$$

где k-количество анализируемых зон ПГ.

Таким образом, функция работоспособности $Z_{n,m}(t)$ является случайной функцией, колеблющейся около некоторого случайного стационарного уровня $Z_{n,m}^{cm}(t)$, положение которого определяется постоянными во времени отклонениями аргументов Δx_i и Δy_i от математического ожидания $\overline{Z}_{n,m}(t)$, рассчитываемого по номинальным значениям x_i^H и y_j^H.

Случайные колебания ФР $Z_{n,m}(t)$ около $Z_{n,m}^{cm}(t)$ определяются стационарными случайными функциями изменения расхода $\partial G(t)$, давления $\partial P(t)$, температуры $\partial T(t)$ и описываются законом

$$F\{Z_{n,m}(t)/Z_{n,m}^{cm}(t)\}=(\sqrt{2\pi}\tilde{\sigma}_z)^{-1}\exp\{-[Z_{n,m}(t)-Z_{n,m}^{cm}/2\tilde{\sigma}_z^2\},$$

где $\tilde{\sigma}_z^2=(\tilde{\sigma}_z^{л})^2+(\tilde{\sigma}_z^{г})^2$, $\tilde{\sigma}_z^{л}$, $\tilde{\sigma}_z^{г}$ - среднеквадратичные отклонения ФР $Z_{n,m}(t)$ из-за переменных во времени локальных и глобальных отклонений.

В общем случае, когда несколько ФР определяют безотказность, то есть при $\hat{n}>I$, вероятность безотказной работы запишется в виде

$$P(t)=P\{Z_{n,m}(t)>0\}_m,\ m\in\hat{m}. \qquad (1)$$

Если ФР $Z_{n,m}(t)$ зависимы, то формула (1) принимает вид

$$P(t) = P\{Z_{1m}(t) > 0\}\prod_{n=2}^{\hat{n}} P\{Z_{n,m}(t) > 0 / Z_{1m}(t) > 0,..., Z_{n-1,m}(t) > 0\}.$$

Если ФР $Z_{n,m}(t)$ независимы, то

$$P(t) = \prod_{m=1}^{\hat{m}}\prod_{n=1}^{\hat{n}} P_{nm}\{Z_{n,m}(t) > 0\}.$$

Математическое ожидание действующих эквивалентных напряжений трубного пучка парогенератора, в том числе для оребренных труб, определяется перепадом давлений теплоносителей и температур на стенке и рассчитывается по методике, изложенной в [2].

Вероятность того, что для m - го участка ПГ (опуская индекс m) действующие напряжения $\sigma(t)$ превысят допустимые $\overline{\sigma}(t)$, то есть $Z(t) \geq 0$, определится как

$$F[\sigma(t) > \overline{\sigma}(t)] = \iint f(\sigma, \overline{\sigma}, t)\, d\sigma\, d\overline{\sigma}, \qquad (2)$$

где $f(\sigma, \overline{\sigma}, t)$ - совместная дифференциальная функция распределения вероятностей приведённых напряжений и длительной прочности.

Так как условие работоспособности участка ПГ имеет вид $\xi(t) = \sigma(t) - \overline{\sigma}(t) < 0$, то используя его для определения областей интегрирования (2), получим

$$P\{\sigma(t) < \overline{\sigma}(t)\} = 1 - F[\xi(t)] = \int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\xi+\overline{\sigma}} f(\sigma, \overline{\sigma}, t) d\sigma\, d\overline{\sigma},$$

Наряду со стационарными напряжениями трубный пучок испарительной зоны ПГ испытывает переменные термические напряжения, обусловленные пульсациями температур. Наибольший размах температурных пульсаций достигается на участке ухудшенного теплообмена и обусловлен поочередным омыванием внутренней стенки трубки ПГ кипящей водой и паром. Максимальное значение температурных пульсаций не превышает значения $\Delta t_{\max} = t_{\Gamma} - t_s$, где t_{Γ} - температура греющей среды (продуктов сгорания после газовой турбины) в соответствующей зоне ПГ, ^{o}C; t_S - температура насыщения, ^{o}C . Размах температурных пульсаций определяется условиями теплопередачи и рассчитывается по формуле

$$\Delta t_{\Pi} = \frac{\Delta t_{\max}(\alpha_2^* - \alpha_2)(R_1 + R_{cm})}{1 + (\alpha_2^* + \alpha_2)(R_1 + R_{cm}) + \alpha_2^*\alpha_2(R_1 + R_{cm})^2},$$

где α_2^* , α_2 - коэффициенты теплоотдачи при ухудшенном теплообмене и режиме развитого кипения, Вт/(м^2.гр); R_1, R_{cm} - термические сопротивления теплоотдачи от газа к стенке и сопротивление стенки, (м^2.гр)/Вт.

Так как величина $\Delta t_{\Pi} < \Delta t_{\max}$, то амплитуда температурных напряжений $\sigma_a < \sigma_a^{\max}$, значения которых определяются как

$$\sigma_a = \frac{\alpha E}{1-\nu}\frac{\Delta t_{\Pi}}{2}; \quad \sigma_{\max} = \frac{\alpha E}{1-\nu}\frac{\Delta t_{\max}}{2}.$$

Учитывая, что $0 < \sigma_a < \sigma_a^{\max}$, можно считать, что случайная величина σ_a распределена по усечённому закону Рэлея с параметрами ε и ε_{σ_2}, то есть

$$f(\sigma_a) = \frac{\varepsilon\sigma_a}{S_{\sigma_a}^2} \exp[-\frac{1}{2}(\frac{\sigma_a}{S_{\sigma_a}})^2],$$

где $\varepsilon = [1 - \exp(-\sigma_{a\max}^2 / 2S_{\sigma_a}^2)]_{\sigma_{a\max}}$ - параметр усечения, определяемый из условия нормировки

$$\int_0^{\sigma_{a\max}} f(\sigma_a) d\sigma_a = 1.$$

Расчёт на усталость проводится из условия сравнения эквивалентных амплитуд $\sigma_Э$, приведённых к симметричному циклу, с пределом выносливости или путём сравнения рабочих амплитуд напряжений σ_a с предельными значениями. Воспользуемся вторым подходом. При этом предельная амплитуда напряжений $\sigma_{ad} = \sigma_{-1} + \psi\overline{\sigma}$. Приняв величины σ_{-1} и $\overline{\sigma}$ случайными и распределёнными по нормальным законам, параметры распределения предельной амплитуды напряжений определяется как

$$< \sigma_{ad} >=< \sigma_{-1} > +\psi < \overline{\sigma} >; S_{\sigma_{ad}} = [S^2_{\sigma_{-1}} - \psi^2 S^2_{\overline{\sigma}}],$$

где $< \sigma_{-1} >$, $< \overline{\sigma} >$, $S^2_{\sigma_{-1}}$, $S^2_{\overline{\sigma}}$ - соответственно математические ожидания и дисперсии соответствующих случайных величин.

Расчёт вероятности безотказной работы при усталостном нагружении участка поверхности теплообмена ПГ сводится к определению вероятности непревышения амплитуды рабочих напряжений σ_a допустимых значений σ_{ad}. Для получения этой вероятности проинтегрируем плотность вероятности совместной функции распределения случайных величин σ_a и σ_{ad}, умноженную на дифференциалы аргументов по областям их изменения, определяемым неравенствами $-\infty < \sigma_{ad} < \sigma_{a\max}$ и $\sigma_{ad} < \sigma_a < \sigma_{a\max}$

$$P\{\sigma_a < \sigma_{ad}\} = \int_{-\infty}^{\sigma_{a\max}} f(\sigma_{ad})[\int_{\sigma_{ad}}^{\sigma_{a\max}} f(\sigma_a) d\sigma_{ad} .$$

Учитывая вклад каждого змеевика в общую надёжность, вероятность безотказной работы ПГ определится как

$$P(t) = \{P(\sigma < \overline{\sigma}, t)\, P(\sigma_a < \sigma_{ad}, t)\}^m,$$

где m - количество змеевиков в парогенераторе.

Разработанная вероятностная модель расчёта безотказности ПГ позволяет выявить влияние термодинамических параметров рабочего тела энергоустановки и конструктивных характеристик ПГ на показатели надёжности ПГ.

Список литературы:

1. надежность теплоэнергетического оборудования ТЭС и АЭС. /Под ред. А.И. Андрющенко. М.: Высшая школа, 1991. – 240 с.
2. Расчет и рекомендации по проектированию поперечно-оребренных конвективных поверхностей нагрева стационарных котлов. РТМ 108.030.140-87. М.:1988. – С.30

УДК 66.974.434

Метод выпаривания стоков нефтеперерабатывающего завода

К.Ю. Афанасьев
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия
E-mail: afalina1@sibmail.com

Показана возможность применения аппаратов погружного горения (АПГ) для упаривания сточных вод электрообессоливающих установок нефтеперерабатывающего завода. Установлено, что использование АПГ позволит получить высококонцентрированный сульфат натрия, а конденсат будет далее использован в системе оборотного водоснабжения.

Сточные воды предприятий нефтепереработки и нефтехимии высокотоксичны и при существующих объемах водоотведения представляют собой серьезную экологическую опасность. Очистка этих стоков до параметров, предусмотренных действующими в настоящее время нормативными требованиями, традиционными способами ведет к использованию крупномасштабных физико-химических и биолого-химических очистных сооружений, при этом некоторые стоки все равно не удается экономически эффективно очистить до уровня, при котором становится возможным их использование в системах оборотного водоснабжения. 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.

Учитывая, что нефтеперерабатывающие заводы (НПЗ) являются крупными объектами водопотребления и одновременно сбрасывают большой объем сточных вод в городские или районные системы канализации, можно сказать, что перспективным направлением совершенствования систем очистки сточных вод является разработка так называемых бессточных систем водоснабжения и канализации.

Сточные воды, содержащие эмульгированную нефть и большое количество растворенных солей (по преимуществу хлористый натрий) поступают от электрообессоливающих установок (ЭЛОУ) и сырьевых парков. Содержание нефти в этих стоках сильно колеблется и достигает до 30–40 г/л, что связано с негерметичностью технологического оборудования и недостаточно квалифицированной эксплуатацией технологических установок. Содержание хлоридов составляет 10–15 г/л. Высокий солевой состав этих вод не позволяет использовать их в оборотном водоснабжении [1].

Если избавление от эмульгированной нефти путем механического и физико-химического методов не представляет труда, то снижение концентрации истинно-растворенных примесей должно сводиться к биолого-химическим методам с последующей доочисткой, что приводит к резкому увеличению затрат и времени на очистку, а также площади очистных сооружений.

Из анализа стало ясно, что при обессоливании сточных вод, в которых содержание анионов сильных кислот превышает 5 мг экв/кг, термическое обессоливание экономически выгоднее химического обессоливания.

Рассматривая проблемы экологии и энерго-ресурсосбережения в едином ракурсе, возникает вопрос о выборе наиболее эффективной схемы упаривания сточных вод ЭЛОУ нефтеперерабатывающего завода.

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.

В результате чего была выбрана схема с использованием аппарата погружного горения (АПГ), который позволит не только обессоливать воду, но и получать высококонцентрированный хлорид натрия.

В этих аппаратах создаются хорошие условия теплообмена между нагретыми газами и жидкостью, так как при барботаже нагретые газы распыляются в виде пузырьков и образуют большую межфазную поверхность. Интенсивное перемешивание раствора ускоряет процесс нагрева.

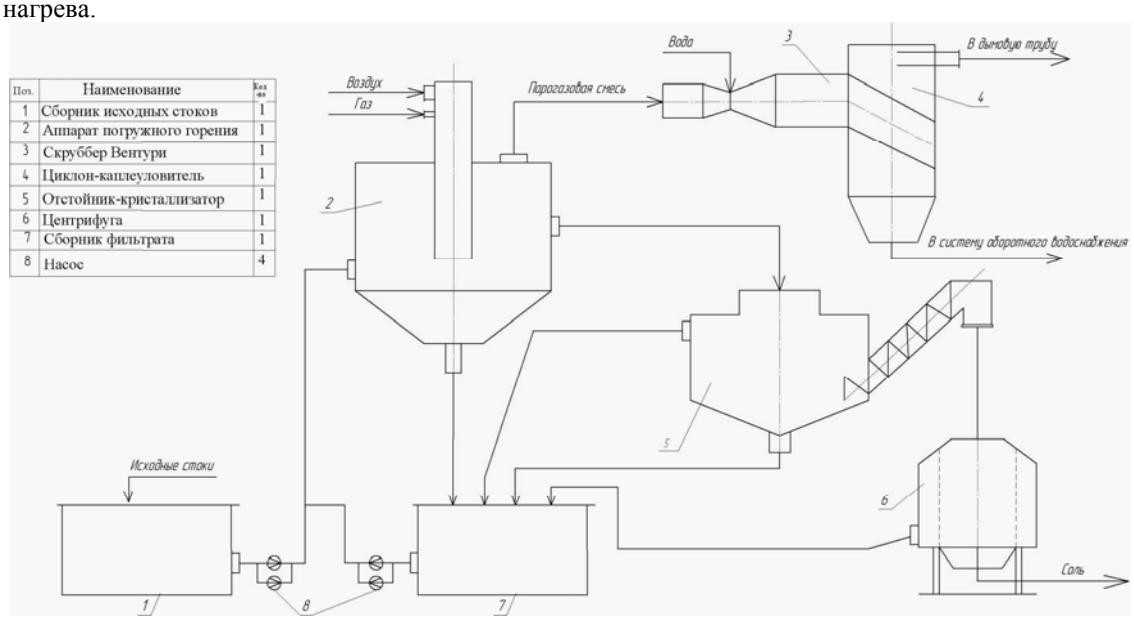


Рис.1. Принципиальная технологическая схема извлечения солей из стоков ЭЛОУ нефтеперерабатывающего завода

Включение АПГ в состав оборудования технологической схемы НПГ позволит кардинально решить такие задачи как:

- Полностью прекратить сброс загрязненных сточных вод ЭЛОУ в природные водоемы;
- Сократить потребление свежей воды из природных источников;
- Создать благоприятные санитарно-гигиенические условия на электростанции;
- Регулировать расход воды в системах оборотного водоснабжения за счет стабильности параметров;
- Снизить капитальные затраты на установку очистных сооружений;
- Получить экономический эффект при утилизации сточных вод [2].

Для упаривания хлорида натрия из сточных вод ЭЛОУ была предложена схема с использованием АПГ, представленная на рисунке 1.

Исходный раствор поступает в АПГ 2, где в процессе упаривания образуется насыщенный раствор и кристаллы NaCI, которые вместе с концентратом направляются в отстойник 5. Здесь при охлаждении и некоторой выдержке происходит рост кристаллов, которые при достижении максимальных размеров выгружаются с помощью винтового шнека.

Выгружаемая пульпа попадает в центрифугу 6 для выделения твердой фазы, а маточник поступает в сборник 7 для последующего упаривания в АПГ второй ступени [2].

Таким образом, применение АПГ позволит получить высококонцентрированный хлорид натрия, который будет соответствовать требованиям производства хлора и других продуктов химической промышленности, при этом очищенная вода сможет использоваться в системе оборотного водоснабжения, тем самым повысятся экологические и технико-экономические показатели нефтеперерабатывающего завода.

Список литературы:

1. Методические указания по санитарной охране водоемов от загрязнения нефтью № 141776.
2. Аппараты погружного горения: учебное пособие для вузов / А. Н. Алабовский, П. Г. Удыма. М.: Изд-во МЭИ, 1994. – 255 с.
3. 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.
4. Аппараты с погружными горелками / П. Г. Удыма. — 2-е изд., доп. и перераб. М: Машиностроение, 1973. – 271 с.
5. Таубман Е.И. Термическое обезвреживание минерализованных промышленных сточных вод. — Л.: Химия, 1975. — 208 с.

УДК 621.1

Сравнительный анализ кожухотрубных и пластинчатых теплообменных аппаратов

К.Ю. Афанасьев

Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

E-mail: afalina1@sibmail.com

Показана сравнительная оценка кожухотрубных и пластинчатых теплообменных аппаратов (ТА) с использованием энергетических критериев, критерия компактности, а также напряженных состояний отдельных элементов ТА в программе Ansys. Установлено, что современные кожухотрубные ТА практически не уступают пластинчатым по компактности и коэффициенту теплопередачи, а по экономичности и способности к сопротивлению избыточным давлениям превосходят их.

При рассмотрении различных схем рекуперации теплоты существенную роль начинает играть выбор эффективного теплообменного оборудования, которое сможет обеспечить наилучшую теплопередачу, компактность и простоту эксплуатации.

В качестве рекуператоров теплоты возможно применение как хожухотрубных, так и пластинчатых теплообменных аппаратов (ТА). К преимуществам пластинчатых ТА обычно относят небольшой вес, небольшой габаритный объем, тонкостенность теплопередающих пластин и высокий коэффициент теплопередачи, повышенный срок службы и легкость технического обслуживания.

Для более подробного рассмотрения кожухотрубных и пластинчатых ТА сравним два современных теплообменника используемых для нагрева воды от 5 до 55 ^{0}C в количестве 5 т/ч за счет воды с температурой 100 ^{0}C.

Наиболее часто используемым энергетическим критерием оптимизация является – энергетический критерий Кирпичева, определяемый как отношение теплоты Q, переданной через данную поверхность нагрева, к работе L, затраченной на преодоление сопротивлению движению. Также используется критерий геометрической компактности, определяемый как отношение площади теплообменной поверхности F, к объему теплообменного аппарата V.

Исходя из проведенных расчетов вышеописанных критериев, а также расчета теплопередачи, можно сказать, что преимущество пластинчатого ТА не превысило 20%. При этом его стоимость значительно выше конкурента.

Основным недостатком пластинчатых ТА является ограничение по давлению из-за необходимости применения достаточно мощного болтового крепежа, стягивающего наружные стенки блоков, а также худшего противостояния избыточным давлениям плоской стенки по сравнению с цилиндрической оболочкой.

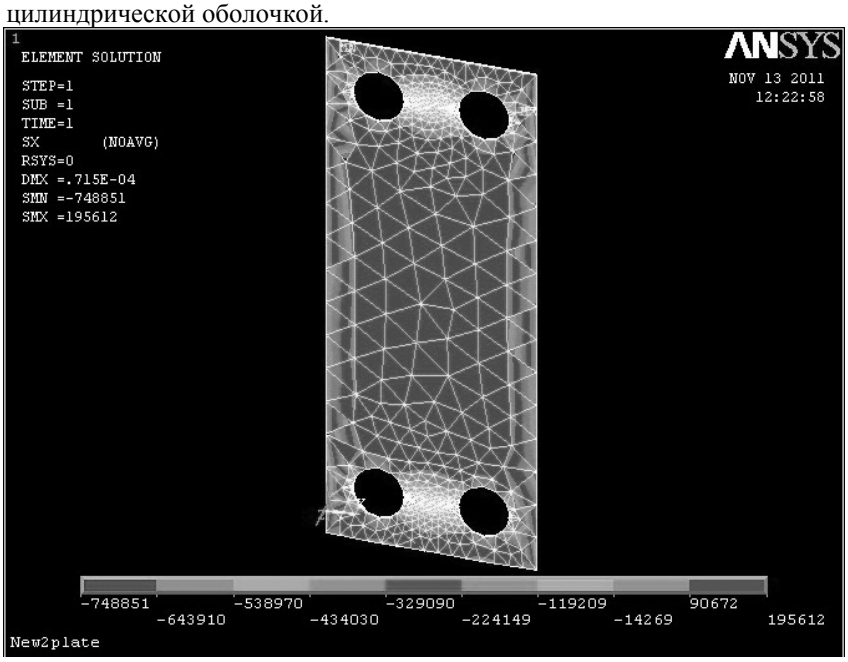


Рис. 1. Изображение напряжений пластины

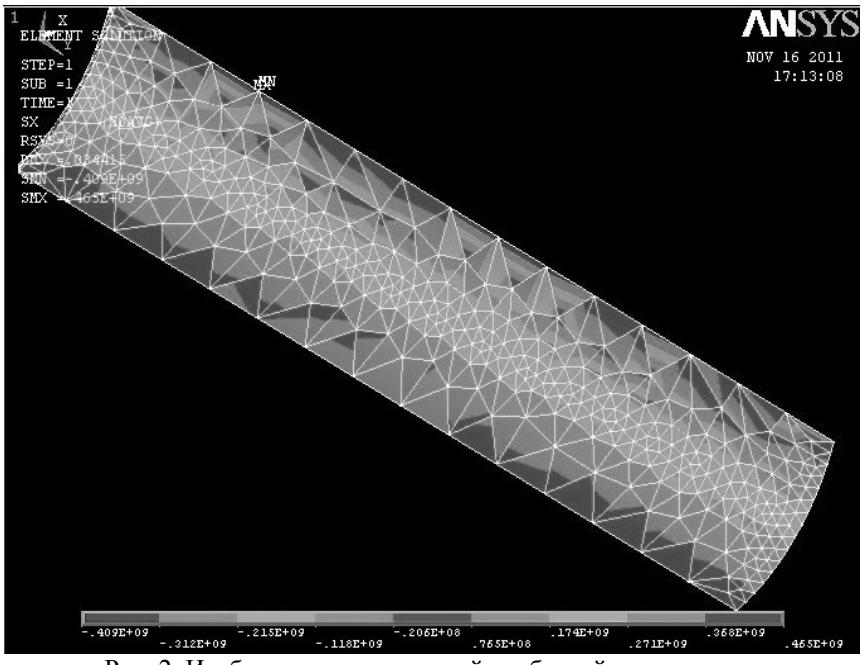


Рис. 2. Изображение напряжений трубчатой поверхности

Для оценки прочности ТА были созданы модели элементов рассматриваемых теплообменников в программе Ansys. Для пластинчатого ТА это была пластина размерами 1000*400*1 мм с четырьмя сквозными отверстиями диаметром 100 мм для патрубков, а для кожухотрубного – четверть трубы диаметром 25.4 мм и такой же толщиной.

После создания давления 10 МПа на обе конструкции стало видно, что на пластине создаются опасные зоны в центральной части, а в районе отверстий для патрубков, в то время как появление опасных зон на трубчатой поверхности, при том же давлении, не выявлено. Результаты представлены на рисунках 1 и 2.

Таким образом, можно сделать вывод, что характеристики кожухотрубных ТА практически не уступают пластинчатым, кроме того недостатком при использовании пластинчатых ТА является ограничение по давлению из-за необходимости применения достаточно мощного болтового крепежа, стягивающего наружные стенки блоков, и худшего противостояния плоской стенки избыточным давлениям по сравнению с цилиндрической поверхностью.

Исходя из этого, применение современных кожухотрубных ТА является приемлемым и эффективным в качестве рекуператоров в разных отраслях энергетики и промышленности. При этом, благодаря современным методам автоматизированного оребрения труб, можно будет добиться еще больших коэффициентов теплопроводности со стороны газовой среды и повышения компактности теплообменного оборудования.

Список литературы:

1. Фраас, А. Расчет и конструирование теплообменников. – Атомиздат, 1971. — 358 с.
2. Голдаев С.В. Практикум по надежности и оптимизации систем теплоэнергоснабжения – Изд-во ТПУ, 2005. — 100 с.
3. Пермяков В.А. К вопросу выбора типа водо-водяных подогревателей для систем теплоснабжения, «Промышленная энергетика», М., 2000г., №4,стр. 37-44.
4. Барон В.Г. Тонкостенные теплообменные интенсифицированные аппараты – альтернатива пластинчатым теплообменникам, «Теплоэнергоэффективные технологии», Санкт-Петербург, 2003г., №4, стр.52-55.

УДК 620.9:662.92; 658.264

Эффективность работы котельных агрегатов малой и средней мощности в Забайкальском крае

М.С. Басс, С.А. Требунских

Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия

E-mail: bms77@mail.ru

В статье рассмотрены вопросы эффективности и надежности работы котельных агрегатов малой и средней мощности. Проведена технико-экономическая оценка проведения режимно-наладочных работ.

В Забайкальском крае в различных отраслях и ведомствах, по данным Забайкалкрайстат [1], эксплуатируется порядка 1107 котельных тепловой мощностью от 0,5 до 20 Гкал/ч. Кроме того, более 22 котельных имеют теплопроизводительность выше 20 Гкал. На котельных установлено 2701 котлоагрегатов. Доля потребления бурого угля 98,15 % (6878769 т), а каменного 1,85 % (129645 т).

Проведенные обследования большого числа котельных выявили, что реальных их КПД лежит в пределах 49-64 %, при норме 70-75 %. Для предварительной оценки низкой экономичности работы котельного агрегата возьмем 1 котел мощностью Q=1,16 МВт (1 Гкал/ч) работающий на Харанорском угле с теплотой сгорания $Q^{н}_{р}$=11467 кДж/кг (≈ 2730 ккал/кг) с паспортным КПД 75 %. Цена топлива 700 руб./т. Если фактический КПД (после испытания) составляет 60 %, то документально необоснованный пережог топлива составляет **87,4 тонн** в месяц или **свыше 60 тыс. рублей в месяц с одного котла.**

$$\Delta B = \frac{Q}{\Delta\eta_к \cdot Q^н_р} = \frac{1{,}16 \cdot 10^6}{0{,}15 \cdot 11{,}467 \cdot 10^6} = 0{,}135 \text{ кг/с } (\approx 87{,}4 \text{ т/месяц}).$$

Основные выявленные недостатки работы котлоагрегатов

1. Ни один котел не несет номинальную нагрузку (нагрузка меньше на 30-90 %).

2. У всех котлов на всех режимах завышены расходы воздуха, что приводит к снижению нагрузки и к увеличению потерь с уходящими газами.
3. По причине неудовлетворительного режима горения наряду с повышенным расходом воздуха фиксировались значительные концентрации монооксида углерода. С одной стороны воздуха много, а с другой его не хватает для полного сгорания топлива по причине плохого перемешивания.
4. В ряде случаев выявлено неудовлетворительное состояние обмуровок котлов.
6. Отсутствие топливоподготовки.
7. Отсутствие водоподготовки, что отрицательно сказывается как на поверхностях нагрева котлоагрегатов, так и на состоянии тепловых сетей и внутренних коммуникациях зданий.

Известно, что тепловые потери котельной установки бывают пяти видов. Потери теплоты через ограждающие конструкции и с теплотой шлака для котлов малой мощности в сумме не достигают 1 %. Потери с химическим недожогом, обусловленные наличием в уходящих газах горючих компонентов (как правило, CO), сильно зависят от условий эксплуатации и состояния котла и могут колебаться от 0,5 % до 15 %. Основными составляющими потерь являются потери с теплотой уходящих газов и с механическим недожогом, каждая из которых может принимать значения до 50 % в общем тепловом балансе. Эти три составляющие потерь зависят от одних и тех же режимных параметров и поэтому должны рассматриваться одновременно.

Потери с теплотой уходящих газов определяются температурой газов и коэффициентом избытка воздуха. Основными факторами высоких коэффициентов избытка воздуха являются неплотность котельной обмуровки, особенно возле топочных дверец, неоптимальная работа тягодутьевого оборудования и неравномерное распределение топлива на колосниковой решётке в случае слоевого сжигания. Из-за неравномерного распределения много воздуха покидает слой, не участвуя в горении. В то же время через увеличенную толщу слоя продувается недостаточное количество кислорода, вследствие чего значительная часть топлива сгорает химически не полностью или вообще не сгорает. При совместном сжигании крупных кусков угля и мелочи на решетке происходит кратерное горение. Мелкое топливо создает большое сопротивление проходу воздуха через слой. В отдельных местах мелочь выносится из слоя и образует прогар, через который воздух уходит транзитом, не участвуя в горении. В это время в других местах горение протекает с недостатком воздуха. Именно такое кратерное горение и характеризуется большими потерями с механическим и химическим недожогом топлива и в то же время способствует высоким коэффициентам избытка воздуха. Сильное разбавление продуктов сгорания холодным воздухом снижает температуру в топке, а значит, и температуру теплоносителя. Недостаточно высокая температура в топке дополнительно способствует потерям теплоты с механическим и химическим недожогом. Высокий коэффициент избытка воздуха также означает высокий объёмный расход дымовых газов и, как следствие, дополнительную нагрузку на тягодутьевое оборудование. Неудовлетворительная подача воздуха в топку, снижая максимальную температуру горения, способствует тепловому газовому перекосу: радиационные поверхности нагрева получают меньшее количество теплоты излучением, и более горячие, чем необходимо, дымовые газы поступают в конвективную часть, теплосъёма которых не хватает для более полного охлаждения продуктов сгорания. Результатом такого перекоса становится снижение тепловой мощности котла и снижение его КПД из-за повышения температуры уходящих газов. Особенно тепловому перекосу подвержены неправильно эксплуатируемые топки с секционным дутьём.

При эксплуатации котла может возникнуть ситуация, когда температура уходящих газов будет приблизительно равна или ниже, чем температура точки росы. Обычно это происходит при работе на малых нагрузках, когда особенно трудно обеспечить удовлетворительный режим горения, температура в топке невелика из-за низкого расхода топлива, а расход воздуха существенно превышает требуемый. На температуру точки росы оказывает существенное влияние парциальное давление водяных паров в газе и содержание серы в исходном топливе. При снижении температуры ниже точки росы водяные пары конденсируются на хвостовых поверхностях нагрева, внутри газоходов, циклонов, дымососов, дымовой трубы. При этом металлические участки подвергаются кислородной коррозии, которая дополнительно усиливается коррозией сернокислотной.

Мероприятия по повышению КПД можно условно разделить на: режимно-наладочные, реконструкционные и модернизационные. Последние два вида сложно оценить, так как данные работы существенно зависят от конкретного котельного оборудования. Для оценки эффективности работ по наладке котлоагрегатов вначале необходимо определить отпуск тепла с коллекторов котельной, Гкал

$$Q_{от} = Q_{янв}^{ср} \cdot (\frac{Q_{\text{месяц}}}{Q_{год}})_{янв} \cdot \tau_{янв},$$

где $Q_{янв}^{ср}$ - средняя нагрузка в январе, Гкал/ч;

$(\frac{Q_{\text{месяц}}}{Q_{год}})_{янв}$ - относительный расход приходящийся на январь;

$\tau_{янв}$ - число часов работы оборудования в январе (744 ч).

Экономия денежных средств при изменении КПД котлоагрегата в тыс. руб

$$Э=419 \cdot Цт \cdot \frac{Q_{от}}{Q_P^H} \cdot (\frac{1}{\eta_{к.а}^{бр}} - \frac{1}{(\eta_{к.а}^{бр})'}),$$

где Цт – стоимость топлива, руб/т;

Q_P^H - низшая теплота сгорания топлива, кДж/кг;

$\eta_{к.а}^{бр}$, $(\eta_{к.а}^{бр})'$ - КПД котла (котельной) до и после внедренных мероприятий в %.

Зависимость теплоты от времени для любого объекта можно описать следующей формулой [2]:

$$\frac{Q_{месяц}}{Q_{год}} = \left[\cos^a \left(\frac{\tau - \tau_{\max}}{T} 2 \cdot \pi \right) + 1 + q_{гвс} \right] \cdot \frac{Q_{\max}}{2 \cdot b \cdot Q_{год}},$$

где $\tau_{\max}$ – момент времени к которому достигается наибольшая нагрузка $Q_{\max}$, T – продолжительность года, $q_{гвс}$ – доля выработанной теплоты, идущей на горячее водоснабжение, a и b – эмпирические коэффициенты.

Достаточная точность при работе источника теплоснабжения на угле достигается при a=3/2 и b=1,35.

Достаточная точность на мазуте достигается при a=1,4 и b=1,47.

Размерность времени может быть любая – месяцы, дни, часы.

Зная снижение тепловых потерь через ограждающую конструкцию соответствующей расчетной для отопления температуре наружного воздуха, находятся ежемесячные значения отпуска тепловой энергии $\Delta Q_{\text{месяц}} = \frac{Q_{\text{месяц}}}{Q_{год}} \cdot \Delta Q$.

Данные значения суммируются, и получается значение снижения тепловых потерь в течение года.

Зная стоимость 1 Гкал или 1 кВт, легко определяется экономия в денежном эквиваленте.

Была произведена оценка режимно-наладочных работ применительно к котлоагрегатам, работающим на буром, каменном углях и на мазуте. Было принято, что режимно-наладочные работы позволят повысить КПД котла на 5%, результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1. Общий ресурс экономии ТЭР на котельных Забайкальского края

Величина	Ед. измерения	до 3 Гкал/ч	от 3 до 20 Гкал/ч	свыше 20 Гкал/ч	Всего
Число источников теплоснабжения	шт	948	159	22	1129
Стоимость наладочных работ	млн. руб	91,9	18,2	2,9	113,0
Суммарная мощность источников теплоснабжения	Гкал/ч	1131,3	1130,2	865,4	3126,9
Экономия топлива при увеличении КПД на 5 %	тыс. тут/год	56,6	56,5	43,3	156,4
Экономия денежных средств при увеличении КПД на 5 %	млн. руб	108,7	108,6	83,1	300,4
Срок окупаемости	лет	0,846	0,167	0,035	0,376
	месяц	10,15	2,01	0,42	4,51

Исходя из данной таблицы, можно сделать вывод, что в первую очередь наиболее выгодным при проведении наладочных работ являются котлы с большой мощностью.

Чем ниже изначальное КПД котла работающего на одном виде топлива, тем больше эффективность от мероприятий направленных на повышение экономичности его работы. Скажем, при увеличении КПД на 5 % при изначальном его значении 50 % экономия топлива для котла мощностью 1 Гкал/ч будет 71 тут/год, при 60 % - 50 тут/год, при 70 % - 37,2 тут/год. То есть чем хуже изначально работает котел, тем эффективнее проводит на нем работы по повышению его работы.

Котлы одной мощности, работающие на различных видах топлива, имеют различные технико-экономические показатели при внедрении мероприятий направленных на повышение их КПД наиболее выгодно внедрять их при работе на мазуте, затем на буром угле и на последнем месте, на каменном угле. Это связано в основном со стоимостью топлива, самым дорогим является мазут, и даже незначительная его экономия приводит к резкому снижению срока окупаемости выполняемых работ. Стоимость же каменного и бурого угля относительно одинакова притом, что изначальный КПД котлоагрегатов работающих на каменном угле выше.

Список литературы:

1. О снабжении населения Читинской области теплоэнергией в 2007 году. Статистический сборник. – Чита: Забайкалкрайстат, 2008.
2. Басс М.С., Батухтин А.Г., Требунских С.А. Упрощенная методика расчета нормативов удельных расходов топлива в отопительных котельных применительно к условиям Забайкальского края. Промышленная энергетика №9, 2009.

УДК 621.01

Оптимизация графиков качественно-количественного регулирования в современных системах централизованного теплоснабжения

А.Г Батухтин., А.В. Калугин, С.Г. Батухтин
Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия
E-mail: kav8007@mail.ru

В статье предлагается корректировка суточных графиков отпуска тепла от источников теплоснабжения с учетом функционирования тепловых сетей и потребителей на основе математического моделирования их функционирования. Кроме того, представлены математические модели наиболее распространенных абонентских вводов с зависимым присоединением отопительных установок с насосным смешением, автоматика представлена РТ (регулятором температуры) и РР (регулятором расхода), а также РПД (регулятором перепада давления)

Комплекс теплоснабжения, как правило, состоит из производителя, поставщика, и потребителя тепловой энергии. Экономичность всего комплекса остается низкой, при достаточно совершенном производстве энергии ее распределение, передача и потребление еще требуют совершенствования. Низкая эффективность комплекса теплоснабжения определяет высокую энергоемкость экономики России в целом. Последние заявления первых лиц государства призывают обратить внимание на энергосберегающие технологии. К малозатратным методам энергосбережения можно отнести как оптимизацию режимов работы, схем отпуска и распределения теплоты на источнике теплоснабжения, так и применение современных систем потребления тепловой энергии у потребителей.

Поддержание комфортных температурных условий в помещениях потребителей является первоочередной задачей для систем теплоснабжения, а при общем недоотпуске тепловой энергии в них это не представляется возможным.

Можно выделить следующие причины недоотпуска обусловленного неоптимальной работой систем транспортировки, распределения и потребления тепловой энергии.

1. Разрегулировка абонентов друг относительно друга вследствие их разноудаленности от источника теплоснабжения. Конфигурация тепловой сети может иметь сложный вид, абоненты расположены на разных расстояниях от источников теплоснабжения. К примеру, не в самой большой системе теплоснабжения г. Читы запаздывание температурных откликов различных лучей теплосетей составляет от 1 до 8 часов.

2. Отсутствие комплексного учета воздействующих на эффективность теплоснабжения факторов при формировании графиков отпуска тепла от источников теплоснабжения. К таким факторам можно отнести погодные условия, суточное изменение нагрузки горячего

водоснабжения (ГВС), потери тепла на участках тепловой сети, инерционное запаздывание теплоносителя, аккумулирующую способность зданий, техническое состояние теплосети, а также множество схем абонентских вводов и неоднородность у различных потребителей соотношения разных видов тепловой нагрузки.

3. Увеличение тепловой нагрузки. С каждым годом тепловые сети значительно расширяются, ведется строительство большого количества благоустроенных зданий. Увеличение же нагрузки не учтено в действующих графиках отпуска тепла от источников теплоснабжения. Во многих городах графики регулирования не пересчитывались еще с 90-х годов и необоснованно отклонялись от оптимальных значений.

4. Установка местных и индивидуальных средств автоматики. Потребители тепла самостоятельно устанавливают на вводах и перед отопительными приборами средства автоматического регулирования, что никак не учитывается на источниках теплоснабжения. Результаты испытаний и расчетов показывают экономическую целесообразность энергосбережения путем индивидуального автоматического регулирования отопительных приборов и оборудования абонентских вводов автоматическими узлами управления, но только для конкретного абонента, а не всей системы в целом. К недостаткам применения современных систем автоматического отпуска теплоты регулирования на абонентских вводах можно отнести значительные требования к графикам центрального регулирования тепловой нагрузки и значительное влияние автоматизированных узлов одних потребителей на качество теплоснабжения соседних. Применение систем автоматического регулирования с установками насосного смешения у части потребителей провоцирует периодические недотопы и перетопы у соседних.

В результате можно сделать следующий вывод: к основным причинам неоптимальной работы современных систем транспортировки, распределения и потребления тепловой энергии России можно отнести разветвленность и разную инерционность участков тепловых сетей, а также влияние различной степени автоматизации потребителей тепловой энергии и разнородности их тепловых нагрузок, не учитываемые в графиках центрального регулирования. Решением данной проблемы может стать оптимизированная корректировка графиков отпуска тепла основана на математическом моделировании систем централизованного теплоснабжения.

В зависимости от задач оптимизации возможны различные исходные и расчетные данные при моделировании системы теплоснабжения. Для оптимизации ступенчатого графика качественно-количественного регулирования требуется получение необходимого напора на источнике теплоснабжения для ряда значений температуры наружного воздуха следовательно при моделировании потребителя исходными данными являются расход прямой сетевой воды и его температура. Для оптимального оперативного регулирования температуры прямой сетевой воды на источнике в течение суток требуется определить необходимую температуру от источника $\tau_1^{ист} = f_{opt}\left(\Delta P_{ист}, V_{ист}, t_{нв} = \int_0^{24} f(\tau), Q_{гвс} = \int_0^{24} f(\tau)\right)$ для каждого потребителя при условии поддержания его суточного теплового баланса.

Расчет оптимального ступенчатого графика качественного регулирования производится по следующей последовательности:

- Для всех температур наружного воздуха в промежутке $t_{нв} = [+8, \quad t_{нв}]$ определяем необходимый напор на источнике теплоснабжения $\Delta P_{ист} = f\left(t_{нв}, \tau_1^{ист}\right)$ при ряде значений температуры прямой сетевой воды отличных от температуры $\tau_1(t_{нв})$ соответствующей графикам центрального качественного регулирования $\tau_1^{ист} = \left[\tau_1(t_{нв}) - \Delta\tau, \quad \tau_1(t_{нв}) + \Delta\tau\right]$. Кроме того производится расчет затрат на отпуск тепловой энергии (с учетом затрат электроэнергии на перекачку теплоносителя).

- Производится определение оптимальной температуры $\tau_1^{ист}$ для всех температур наружного воздуха соответствующие минимальным затратам на отпуск тепловой энергии. Если на источнике теплоснабжения установлено насосное оборудование с возможностью плавного регулирования, то найденные температуры и напоры формируют оптимальный график качественно-количественного регулирования. При отсутствии возможностью плавного регулирования на любом объекте теплоснабжения возможно использование ступенчатого

регулирования количеством работающих насосов. В данном случае необходимо определение оптимальных температур наружного воздуха, при которых необходимо производить ступенчатое изменение напора на источнике $t_{нв}^{\tau}$ которое осуществляется для возможных напоров на источнике соответствующих разному количеству включенных насосов $i = 1 \ldots n$ на основании следующего условия:

$$t_{нв}^{\tau} = \left[H_{\min} \le H_{i-1} \right] ? \left[\langle [(i-1) = n] \rangle ? \left\langle \left[\frac{t_{нв}(H_i) + t_{нв}(H_{i-1})}{2} \right] \right\rangle : \left\langle \left[t_{нв}(H_n) \right] \right\rangle \right] : \left[t_{нв}(H_{\min}) \right]$$

,

где $H_{\min}$ – минимальный напор на источнике, при котором возможно удовлетворить всех потребителей, H_i – напор на источнике соответствующий i работающим насосам, $t_{нв}(H_i)$ – минимальная температура наружного воздуха, которой соответствует оптимальный напор на источнике H_i , $t_{нв}(H_{\min})$ – минимальная температура наружного воздуха, которой соответствует минимальный оптимальный напор на источнике.

Предложенные методы оптимизации могут быть использованы на основе моделей функционирования разветвленной системы транспортировки и распределения тепловой энергии должна учитывать различную инерционность участков тепловых сетей и их аккумулирующую способность. Применение данных методов оптимизации возможно не только для снижения затрат на теплоснабжение потребителей, но и для повышения располагаемой мощности системы, а также при использовании современных технологий использования электрической энергии в системах централизованного теплоснабжения

Математическое моделирование вариантов модернизации тангенциальных топок для сжигания топлива угрубленного помола

Т.М. Бетхер, А.В. Корженко
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия
E-mail: betkher.tm@gmail.com

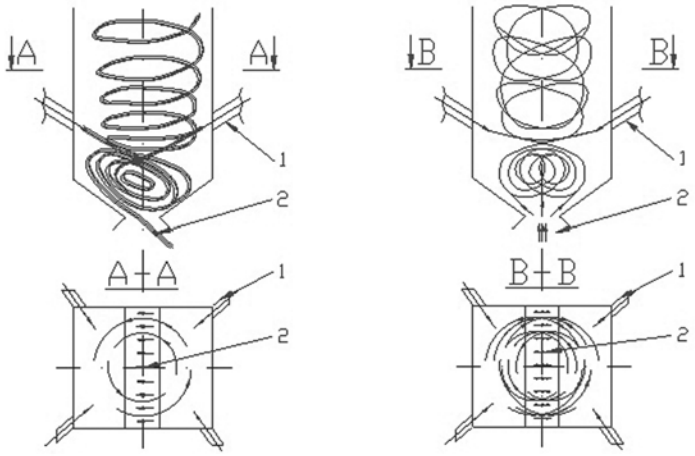
Выполнено численное исследование топочных процессов котла БКЗ-210-140Ф при модернизации на сжигание топлива угрубленного помола. Установлено, что преобладающее влияние на топочные процессы оказывает скоростной режим истечения воздуха из устройства нижнего дутья.

В современной энергетике на уголь приходится примерно четвертая часть всего энергопотребления. Энергетическая стратегия России в период до 2020 г. предполагает дальнейшее постепенное увеличение доли угля в топливно–энергетическом балансе страны. По прогнозам Минэнерго, соотношение цен на уголь и газ к 2020 – 14:2 [1].

В настоящее время используемое топливо в редких случаях соответствует по своим теплотехническим характеристикам тому углю, для которого было спроектировано котельное оборудование. Это объясняется тем, что, с одной стороны, при запроектных сроках работы оборудования приходится сталкиваться с проблемой исчерпания запасов такого угля и освоением новых месторождений, чаще всего выдающих топливо более низкого качества. С другой стороны, рынок топливоснабжения и другие причины экономического характера, в частности, формы собственности, приводят к использованию угля от разных поставщиков, что предопределяет нестабильность качества.

Состояние котельного парка угольных тепловых электростанций характеризуется развитием двух доминирующих тенденций. Одной из них уже давно является прогрессирующее прирастание суммарной мощности энергоустановок, выработавших свой назначенный ресурс [2], которое усугубляется недостаточными инвестициями для технического перевооружения топливосжигающего оборудования не только с позиции обеспечения необходимой надежности энергетического производства, но и согласно современным природоохранным требованиям. Вследствие этого становятся актуальными поиск и реализация в основном малозатратных путей и вариантов модернизации котельных установок, но обеспечивающих при этом определенную универсальность по сжигаемым углям. Руководствуясь данной задачей, для исследования разработаны и предложены следующие варианты модернизации традиционной топки с тангенциальным расположением горелок на

сжигание грубоизмельченного твердого топлива: перевод на низкоэмиссионное вихревое сжигание с классическим направлением нижнего дутья (рис. 1, а) и перевод на технологию сжигания с вертикальным направлением нижнего дутья (рис. 1, б).



а) б)

Рис.1. Схема аэродинамики вихревой зоны при модернизации топки с тангенциальным расположением горелок. 1 – горелочные устройства; 2 – устройство нижнего дутья.

Топочная среда, при сжигании грубоизмельченного топлива, представляет собой полидисперсную гетерогенную систему. Интенсивность межчастичного взаимодействия значительно увеличивается из-за концентрации и инерционности твердой фазы, при этом изменяются оптические свойства топочной среды; резко выраженная анизотропность теплофизических характеристик дисперсной фазы существенно влияет на характер горения отдельных частиц (термообработка массивных частиц и их взаимодействие с ограждающими зону горения поверхностями приводят к термомеханическому разрушению этих частиц) повышение интенсивности конвективного теплообмена за счет активной аэродинамики и снижение интенсивности загрязнения ограждающих поверхностей увеличивают тепловую эффективность топки и т. д.

Моделирование такого вида топок – достаточно сложная задача, оно должно учитывать термическое сопротивление, анизотропность, пневмо- и терморазмол, стадийность термообработки и межчастичное взаимодействие дисперсной фазы. В качестве инструмента для решения поставленных задач использован пакет прикладных программ FIRE 3D.

Для построения адекватной математической модели аэродинамики, горения и теплообмена в топке используется метод, совмещающий Эйлеров и Лагранжев подходы для описания движения газа и взвешенных частиц. Согласно этому методу движение, теплообмен и горение в газовой фазе представляются на основе Эйлерова способа описания, т.е. используются стационарные пространственные уравнения баланса массы, импульса, концентраций газовых компонентов и энергии для газовой смеси. Лагранжев подход применяется для описания движения и тепломассообмена одиночных частиц топлива и золы вдоль их траекторий с учетом обратного влияния дисперсной фазы на несущую среду. Турбулентные характеристики газа рассчитываются с использованием двухпараметрической «k-ε» модели турбулентности, также учитывающей влияние движущихся частиц. Радиационный теплообмен в двухфазном потоке представляется в рамках P1–приближения метода сферических гармоник, который показывает хорошие результаты применения к пылеугольным топкам [3].

В качестве объекта исследования выбран котельный агрегат БКЗ-210-140Ф. Предпосылками выбора послужило широкое распространение котлов данного типа на энергообъектах России.

Топочная камера котла оборудована четырьмя щелевыми пылеугольными горелками, расположенными по углам топочной камеры в один ярус и четырьмя пылесистемами, выполненными по замкнутой схеме с мельницами-вентиляторами.

Аэродинамика вихревой зоны для обоих вариантов модернизации создается за счет взаимодействия организованных потоков, которые сформированы из топливно–воздушной смеси, поступающей в топку через горелки, и потока горячего воздуха, подаваемого в топку через систему нижнего дутья.

В первом варианте модернизации предполагается, что взаимодействие горелочных струй со струёй нижнего дутья создаёт пару сил, формирующих в нижней части топки вихрь с горизонтальной осью вращения немолотого топлива.

Во втором технология сжигания топлива так же построена на приемах аэродинамики, но с вертикальным направлением нижнего дутья. При этом вертикально направленный поток воздуха является подпирающим для основного вихря, образованного за счет взаимодействия топливно-воздушных потоков из горелок, благодаря чему обеспечивается снижение возможности провала топлива.

В обоих рассмотренных случаях за счет активного перемешивания частиц топлива в зоне активного горения происходит подготовка частиц к горению (сушка, выход летучих, терморазмол). А впоследствии их сгорание в вихревой зоне с вертикальной осью вращения, созданной взаимодействием горелочных струй между собой. Высокие скорости в вихревой зоне приводят к интенисификации конвективного теплообмена. В результате возрастает коэффициент тепловой эффективности экранов топки.

Исследование топочных процессов проводились на нагрузку котла 190 т/ч при задействовании в работу всех пылесистем. В качестве сжигаемого топлива выбран дальневосточный бурый уголь с техническими характеристиками: влажность 40,4 %; зольность 28,7 %; теплота сгорания 10859,3 кДж/кг.

Теплообмен в топочной камере зависит от объемов воздуха, подаваемого в топку, расходов топлива и аэродинамической структуры газо-воздушных потоков. Во всех исследованных вариантах температура на выходе из топочной камеры умеренна и соответствует условиям надежной работы конвективных поверхностей нагрева и составляет не более 970^0С с применением вертикального дутья и 1150 ^{0}С при низкоэмиссионной вихревой технологии.

Для каждого из вариантов наблюдается перераспределение потоков организованного воздуха и снижение температурного уровня в топке, за счет чего достигается улучшение экологических показателей котла.

Результаты выполненных исследований дают основание полагать, что на аэродинамическую структуру запыленных потоков в топочном объеме непосредственное влияние оказывает скоростной режим истечения воздуха из устройства нижнего дутья. При высоких скоростях (более 8 м/с) в первом варианте не наблюдается устойчивое движение потоков в горизонтальном вихре, что препятствует надежной работе топочной камеры при сжигании углей рассматриваемым способом. Во втором «воздушный фонтан» уходит за пределы холодной воронки, в результате чего в ее пристенных областях образуются застойные зоны, которые приводят к скоплению топливных частиц, особенно по скатам холодной воронки, что препятствует надежной работе топочных экранов при сжигании углей по данной технологии.

Использование рассматриваемых технологий позволяет:

1. Эксплуатировать объект исследования в трёх режимах (сжигание молотого топлива с использованием существующих пылесистем по традиционной тангенциальной схеме, одновременное сжигание молотого и немолотого (дроблёного) топлива, сжигание немолотого (дроблёного) топлива).
2. Снизить расход электроэнергии на собственные нужды котла, так как исключаются из работы мельницы, а, следовательно, и физические и финансовые затраты на их ремонт и обслуживание.
3. Получить меньший эрозионный износ конвективных поверхностей и газоходов, а также более высокую эффективность золоулавливающих установок, из-за угрубления фракционного состава топлива и летучей золы.

При реализации рассмотренных схем модернизации топки для обеспечения надежной работы поверхностей нагрева топочной камеры потребуется наладочная оптимизация начальных условий подачи топливно-воздушной смеси и вторичного воздуха при различных нагрузках.

Список литературы:

1. Отчет "Россия в энергетической сфере" http://www.inno-expert.ru
2. Нечаев В.В. О ресурсе энергетических объектов. – Электрические станции, 2002, №6.
3. Исследование аэродинамики и горения в топке котла БКЗ-420-140 применительно к вариантам замещения проектного топлива/ А.В. Гиль, А.С. Заворин, С.В. Красильников, А.В. Старченко, С.В. Обухов. – Изв. Томск. политехн. ун–та, 2007, №1, т. 310.

УДК 519.6

Тепло- и массоперенос при вулканизации кабельных изделий

А.А. Бригадин, Е. В. Иванова
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия
E-mail: zhenya1@tpu.ru

Представлены результаты численного решения задачи тепломассопереноса с химическим реагированием при вулканизации типичного кабельного изделия. Сформулирована математическая модель, описывающая в двумерной постановке процессы теплопроводности, полимеризации оболочки кабеля и конвекции паров горячего воздуха в системе «печь – воздух – резиновая оболочка – медный провод». В результате численных исследований установлена связь между временем полной полимеризации оболочки кабельного изделия и температурой воздуха в нагревательной печи, а также ее характерных размеров.

При вулканизации кабельные изделия, как правило, пропускают через специальные печи с достаточно высокой температурой (до 480 К) воздуха [1]. Этот процесс завершается полной полимеризацией изоляционной оболочки кабеля [2]. При выборе оптимальной температуры горячего воздуха, соответствующей достижению условия полной полимеризации оболочки, размеров вулканизационных печей и технологических параметров необходимо учитывать теплофизические и термохимические процессы, протекающие в изделии [3, 4].

Цель данной работы – численное исследование физико-химических процессов, протекающих при вулканизации типичных кабельных изделий, а также анализ влияния параметров нагревательной камеры вулканизационной печи на условия полимеризации изоляционной оболочки.

Рассматривалась система, представленная на рисунке 1. Кабель состоит [4] из жилы – меди (*1*) и оболочки – резины (*2*). Изделие с начальной температурой T_0 продвигается внутри вулканизационной камеры, где нагревается при существенно более высокой температуре воздуха (*3*) T_v. В результате резиновый слой (оболочка) кабеля вулканизуется. Полнота завершения процесса определяется степенью полимеризации изоляционного материала φ. Время полной полимеризации (φ=1 по всей толщине ($R_1<r<R_2$) оболочки) t_p является одной из важнейших характеристик эффективности рассматриваемого процесса.

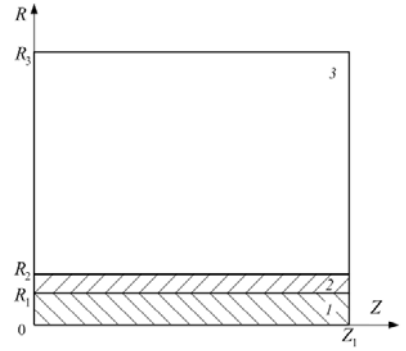


Рис. 1. Схема области решения задачи при $0<\tau<\tau_p$: 1 – жила кабеля, 2 – оболочка кабеля, 3 – горячий воздух

Применение в качестве вулканизационной среды горячего воздуха требует для получения необходимой производительности большой длины пути изделия (около 25-30 метров). Поэтому теплообмен нагреваемой поверхности с внешней нагревающей средой осуществляется в режиме вынужденной конвекции. Но скорость движения кабельного изделия в печи составляет много меньше 1 м/с. Поэтому задача рассматривалась в рамках модели естественной конвекции.

При численном моделировании принимались следующие допущения, не накладывающие существенных ограничений на общность постановки задачи:

1. Контакт между жилой и слоем изоляционного материала идеален.
2. Кабель имеет правильную цилиндрическую форму.
3. Коэффициенты теплопроводности жилы, оболочки кабеля и воздуха в нагревательной камере не зависят от температуры.
4. Энергия активации процесса полимеризации не изменяется при изменении температуры.

Математическое моделирование исследуемых процессов возможно только при адекватном описании процесса теплообмена кабельного изделия с окружающей средой. Использование при описании рассматриваемого процесса граничных условий третьего рода приводит обычно к решению проблемы определения коэффициента теплообмена на границе раздела сред. Существенное повышение надежности результатов прогностического моделирования температурных полей кабельных изделий возможно при решении задачи теплопереноса в рассматриваемой системе с использованием сопряженной постановки [5]. В настоящей работе использовалась модель естественной конвекции в воздушном пространстве, окружающем кабельное изделие [6].

Процессы тепломассопереноса с химическим реагированием в рассматриваемой системе (рис. 1) при $0<t<t_p$ описывает следующая система нестационарных дифференциальных уравнений:
уравнение теплопроводности для жилы кабеля ($0<r<R_1$, $0<z<Z_1$):

$$\rho_1 C_1 \frac{\partial T_1}{\partial t} = \lambda_1 \left(\frac{\partial^2 T_1}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial T_1}{\partial r} + \frac{\partial^2 T_1}{\partial z^2} \right); \quad (1)$$

уравнение энергии для изоляционной оболочки кабеля ($R_1<r<R_2$, $0<z<Z_1$):

$$\rho_2 C_2 \frac{\partial T_2}{\partial t} = \lambda_2 \left(\frac{\partial^2 T_2}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial T_2}{\partial r} + \frac{\partial^2 T_2}{\partial z^2} \right) + q_2 \rho_2 \frac{d\varphi_2}{dt};$$

$$\frac{d\varphi_2}{dt} = (1-\varphi_2) k_2^0 \exp\left(-\frac{E_2}{R_1 T_2} \right); \quad (2)$$

уравнение Пуассона для воздуха ($R_2<r<R_3$, $0<z<Z_1$):

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial r^2} - \frac{1}{r}\frac{\partial \psi}{\partial r} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} = -r\omega; \quad (3)$$

уравнение завихренности для воздуха ($R_2<r<R_3$, $0<z<Z_1$):

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + u\frac{\partial \omega}{\partial r} + v\frac{\partial \omega}{\partial z} - \frac{\omega u}{r} = \nu_3 \left(\frac{\partial^2 \omega}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial \omega}{\partial r} + \frac{\partial^2 \omega}{\partial z^2} - \frac{\omega}{r^2} \right) + g\beta \frac{\partial T_3}{\partial r}, \quad (4)$$

уравнение энергии для воздуха ($R_2<r<R_3$, $0<z<Z_1$):

$$\rho_3 C_3 \left(\frac{\partial T_3}{\partial t} + u\frac{\partial T_3}{\partial r} + v\frac{\partial T_3}{\partial z} \right) = \lambda_3 \left(\frac{\partial^2 T_3}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial T_3}{\partial r} + \frac{\partial^2 T_3}{\partial z^2} \right). \quad (5)$$

Для решения системы уравнений (1) – (5) применена безразмерная форма записи. Для этого в качестве масштаба координат выбраны характерные размеры области решения R, Z.
Для перехода к безразмерным переменным использованы следующие соотношения:
$R=r/H_{ch}$, $Z=z/H_{ch}$, $\tau=t/t_0$, $U=u/V_0$, $V=v/V_0$, $\Theta=(T-T_0)/\Delta T$, $\Psi=\psi/\psi_0$, $\Omega=\omega/\omega_0$,

$$V_0 = \sqrt{g \cdot \beta \cdot \Delta T \cdot L_{ch}}, \ \psi_0 = V_0 \cdot L_{ch}, \ \omega_0 = V_0 / L_{ch}, \ \Delta T = T_{ch} - T_0, \quad (8)$$

После перехода к безразмерным переменным уравнения теплопроводности для жилы и энергии для оболочки кабеля, уравнения Пуассона, завихренности и энергии для воздуха имеют вид:

$$\frac{1}{Fo_1}\frac{\partial \Theta_1}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 \Theta_1}{\partial R^2} + \frac{1}{R}\frac{\partial \Theta_1}{\partial R} + \frac{\partial^2 \Theta_1}{\partial Z^2}, \ 0<R<R_1, \ 0<Z<Z_1;$$

$$\frac{1}{Fo_2}\frac{\partial \Theta_2}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 \Theta_2}{\partial R^2} + \frac{1}{R}\frac{\partial \Theta_2}{\partial R} + \frac{\partial^2 \Theta_2}{\partial Z^2} + \frac{q_2 w_2 H^2}{\lambda_2 \Delta T}, \ R_1<R<R_2, \ 0<Z<Z_1;$$

$$w_2 = \rho_2 \frac{d\varphi_2}{dt}, \ -\frac{d\varphi_2}{dt} = \varphi_2 k_2^0 \exp\left(-\frac{E_2}{RT_2} \right);$$

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial R^2} - \frac{1}{R}\frac{\partial \Psi}{\partial R} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial Z^2} = -R\Omega, \ R_2<R<R_3, \ 0<Z<Z_1;$$

$$\frac{\partial \Omega}{\partial \tau} + U\frac{\partial \Omega}{\partial R} + V\frac{\partial \Omega}{\partial Z} - U\frac{\Omega}{R} = \sqrt{\frac{\mathrm{Pr}_3}{Ra_3}} \left[\frac{\partial^2 \Omega}{\partial R^2} + \frac{1}{R}\frac{\partial \Omega}{\partial R} + \frac{\partial^2 \Omega}{\partial Z^2} - \frac{\Omega}{R^2} \right] + \frac{\partial \Theta_3}{\partial R}, \ R_2<R<R_3, \ 0<Z<Z_1;$$

$$\frac{\partial \Theta_3}{\partial \tau} + \frac{\partial \Theta_3}{\partial R} + V\frac{\partial \Theta_3}{\partial Z} = \frac{1}{\sqrt{Ra_3 \mathrm{Pr}_3}} \left(\frac{\partial^2 \Theta_3}{\partial R^2} + \frac{1}{R}\frac{\partial \Theta_3}{\partial R} + \frac{\partial^2 \Theta_3}{\partial Z^2} \right), \ R_2<R<R_3, \ 0<Z<Z_1.$$

Безразмерные комплексы (число Фурье Fo_1,Fo_2, число Рэлея Ra_3, число Прандтля Pr_3) вычислялись из соотношений:

$$Fo_1 = \frac{\lambda_1 t_0}{\rho_1 C_1 H^2}, \ Fo_2 = \frac{\lambda_2 t_0}{\rho_2 C_2 H^2},$$

$$Ra_3 = \frac{\beta g \Delta T H^3 C_3 \rho_3}{\lambda_3 \nu_3^2},$$

$$\mathrm{Pr}_3 = \frac{\nu_3 C_3 \rho_3}{\lambda_3}.$$

Начальные ($t=0$) условия:
$T=T_0$ при $0<r<R_2$, $0<z<Z_1$;
$T=T_v$, $\psi=\omega=0$ при $R_2<r<R_3$, $0<z<Z_1$;

$$\varphi=\varphi_0 \text{ при } R_1<r<R_2,\ 0<z<Z_1. \quad (6)$$

Граничные условия при $0<t<t_p$:

$$\frac{\partial T}{\partial z}=0 \text{ при } z=0,\ 0<r<R_3;\ z=L,\ 0<r<R_3;$$

$$u=\frac{1}{r}\frac{\partial \psi}{\partial z},\ v=-\frac{1}{r}\frac{\partial \psi}{\partial r} \text{ при } z=0,\ R_2<r<R_3;$$

$$\frac{\partial \psi}{\partial z}=0,\ \frac{\partial \omega}{\partial z}=0 \text{ при } z=L,\ 0<r<R_3;$$

$$\frac{\partial T}{\partial r}=0 \text{ при } r=0,\ 0<z<Z_1;\ r=R_3,\ 0<z<Z_1;$$

$$-\lambda_1\frac{\partial T_1}{\partial r}=-\lambda_2\frac{\partial T_2}{\partial r},\ T_1=T_2 \text{ при } r=R_1,\ 0<z<Z_1;$$

$$-\lambda_2\frac{\partial T_2}{\partial r}=-\lambda_3\frac{\partial T_3}{\partial r},\ T_2=T_3,\ u=\frac{1}{r}\frac{\partial \psi}{\partial z},\ v=-\frac{1}{r}\frac{\partial \psi}{\partial r} \text{ при } r=R_2,\ 0<z<Z_1;$$

$$\frac{\partial \psi}{\partial r}=0,\ \frac{\partial \omega}{\partial r}=0,\ T=T_v \text{ при } r=R_3,\ 0<z<Z_1. \quad (7)$$

Здесь ρ – плотность, кг/м^3; C – теплоемкость, Дж/(кг·К); T – температура, К; t – время, с; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К); r, z – координаты цилиндрической системы; q - теплота химической реакции полимеризации, Дж/кг; φ – степень полимеризации; k_0 – предэкспонент химической реакции, с$^{-1}$; E – энергия активации химической реакции, Дж/моль; R_t – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К); ψ – функция тока, м^3/с; ω – вектор вихря скорости, с$^{-1}$; u, v – компоненты скорости воздушных потоков в камере, м/с; ν – кинематическая вязкость, м^2/с; g – ускорение свободного падения, м^2/с; β – коэффициент термического расширения, К; T_0 – начальная температура жилы и оболочки кабеля, К; T_v – температура поверхности вулканизационной камеры, К; индексы «1», «2», «3» соответствуют жиле, оболочке кабеля, горячему воздуху.

Система нелинейных нестационарных дифференциальных уравнений (1)–(5) с начальными (6) и граничными (7) условиями решена методом конечных разностей [7]. Разностные аналоги дифференциальных уравнений (1)–(5) решены локально-одномерным методом. Для решения нелинейных уравнений применен метод итераций [8]. При использовании этих методов от системы нелинейных двумерных дифференциальных уравнений осуществлен переход к системе одномерных разностных уравнений, которая решена методом прогонки с использованием неявной четырехточечной разностной схемы [7]. Вычисления проведены сквозной прогонкой через представленную на рисунке 1 область решения. Для повышения точности решения системы уравнений использовались нерегулярная координатная сетка (до 200 узлов) и неравномерный шаг по времени (от $1\cdot10^{-3}$ с до 1 с).

Численное моделирование выполнено при следующих значениях параметров [9–12]: ρ_1=8700 кг/м^3; λ_1=400 Вт/(м·К); C_1=385 Дж/(кг·К); ρ_2=1200 кг/м^3; λ_2=0,16 Вт/(м·К); C_2=1380 Дж/(кг·К); ρ_3=1,161 кг/м^3; λ_3=0,026 Вт/(м·К); C_3=1190 Дж/(кг·К); $\nu_3=2{,}5\cdot10^9$ м^2/с; T_0=303 К; T_v=350÷550 К; φ_0=0; $k_0=5\cdot10^5$ с$^{-1}$; $E=5\cdot10^4$ Дж/моль; $q=10^3$ Дж; φ_0=0,4; R_1=0,002 м; R_2=0,004 м; R_3=0,01÷0,035 м; Z_1=0,1 м.

На рисунке 2 представлены распределения степени полимеризации φ по толщине ($R_1<r<R_2$) оболочки кабеля в разные моменты времени. Видно, что степень полимеризации φ увеличивается по толщине оболочки от центра к краю изделия. При этом несколько видоизменяется распределение φ по R. При малых временах зависимость $\varphi(R)$ имеет экспоненциальный вид (кривая *1*) с максимумом на границе с горячим воздухом ($R=R_2$). Это можно объяснить тем, что оболочка не успевает прогреться до температур, при которых полимеризация завершается по всему слою ($R_1<R<R_2$). С ростом времени зависимость $\varphi(R)$ становится практически линейной (кривые *2*, 3, *4*). Оболочка прогревается по толщине и отклонения между $\varphi(R_1)$ и $\varphi(R_2)$ уменьшаются. Процесс завершается полной полимеризацией (φ=1 при $R_1<R<R_2$).

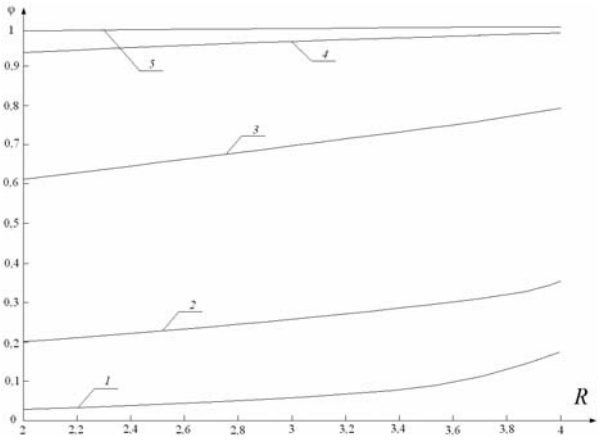


Рис. 2. Распределение степени полимеризации по толщине оболочки кабеля в разные моменты времени: *1* – τ=50; *2* – τ=100; *3* – τ=200; *4* – τ=300; *5* – $\tau=\tau_р$

Типичное температурное поле в рассматриваемой системе (рис. 1) по завершению процесса вулканизации в момент полной полимеризации оболочки кабеля ($\tau_р$=345) при T_v=150, R_3=10 приведено на рисунке 3.

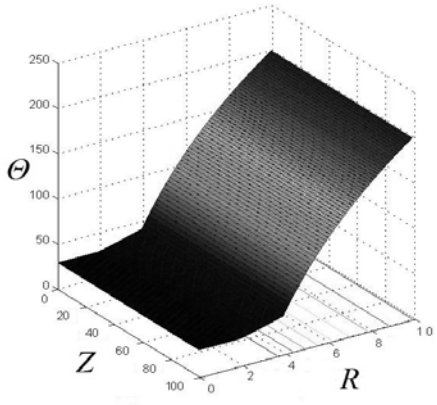


Рис. 3. Температурное поле в системе «кабель – горячий воздух» при $\tau=\tau_р$

Теоретически исследован тепломассоперенос при вулканизации типичных кабельных изделий. Решенная задача не имеет аналогов по постановке, методу решения и полученным результатам. Данная модель может быть использована для выбора оптимального времени вулканизации. Численное моделирование физико-химических процессов позволило выявить факторы, влияющие на степень полимеризации оболочки и температурное поле кабельного изделия. Установлены зависимости полноты завершения реакции полимеризации от параметров, характеризующих условия теплообмена в нагревательной печи.

Список литературы

1. Кошелев Ф.Ф., Корнев А.Е., Климов Н.С. Общая технология резины. – М.: Химия, 1968. – 560 с.
2. Лукомская А.И., Баденков П.Ф., Кеперша Л.М. Тепловые основы вулканизации резиновых изделий. – М.: Химия, 1972. – 359 с.
3. Шеин В.С., Шутилин Ю.Ф., Гриб А.П. Основные процессы резинового производства. – Л.: Химия, 1988. – 159 с.
4. Леонов В.М., Пешков И.Б., Рязанов И.Б., Холодный С.Д. Основы кабельной техники – М.: Издат. центр «Академия», 2006. – 432 с.
5. Тепломассообмен: Справочник / Под ред. А.В. Лыкова. – М.: Энергия, 1978. – 479 с.
6. Джалурия Й. Естественная конвекция: тепло – и массообмен. – М.: Мир, 1983. – 399 с.
7. Роуч П.Дж. Вычислительная гидродинамика. – М.: Мир, 1980. – 616 с.
8. Самарский А.А. Теория разностных схем. – М.: Наука, 1983. – 616 с.
9. Коздоба Л.А. Методы решения нелинейных задач теплопроводности. – М.: Наука, 1975. – 227 с.
10. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. – М.: ООО «Старс», 2006. – 720 с.
11. Теплотехнический справочник / Под ред. В.Н. Юренева, П.Д. Лебедева. – М.: Энергия, 1975. – Т. 1. – 743 с.
12. Бабичев А.П., Бабушкина Н.А., Братковский А.М. Физические величины: Справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 1232 с.

УДК 662.7

Численное исследование образования оксидов азота в топочной камере котла БКЗ–320–140 от избытка воздуха

Н.В. Визгавлюст, А.В. Старченко*, А.В. Гиль
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия
**Томский государственный университет, г. Томск. Россия*
E-mail: vizgavljust@tpu.ru

Выполнено численное исследование образования оксидов азота в камерной топке котла БКЗ–320–140ПТ при сжигании полифракционного твердого топлива. Приведены результаты сравнительного анализа численного моделирования и экспериментальных данных генерации NO_x при изменении коэффициента избытка воздуха.

Одной из наиболее актуальных проблем современности является защита атмосферного воздуха, необходимость которой инициирована несовершенной хозяйственной деятельностью человека. Наибольшую опасность создают искусственные антропогенные источники загрязнения воздуха, в первую очередь, связанные с процессами сжигания органических топлив. К основным, постоянно действующим источникам загрязнения воздушного бассейна относятся работающие на угле теплоэлектростанции и промышленные топливосжигающие установки, поставляющие в атмосферу в больших количествах кроме оксидов серы (SO2 и SO3) и оксидов азота (NO и NO2), твердые частицы (зола, пыль, сажа), а так же (в меньших количествах) оксиды углерода, альдегиды, органические кислоты [1]. Поэтому прогнозирование образования вредных веществ при сжигании натурального топлива в котлоагрегатах тепловых электростанций остается одной из актуальных задач для энергетики. Получение сведений при испытаниях, необходимых для оценки конструктивных изменений и оптимизации инженерных решений путем промышленных испытаний или физического моделирования процессов, имеет существенное ограничение из-за большой трудоемкости и высокой стоимости. В такой ситуации одним из выходов является применение методов математического моделирования.

В представляемом исследовании описывается численное моделирование образования оксидов азота при горении пылевидного топлива в топке промышленных котлоагрегатов на базе разработанной Митчеллом и Тэрболом [2] кинетической модели образования NO при сжигании угольной пыли. Эта модель удобна в использовании, т.к. ее кинетическая схема включает только 13 реакций (сюда входят реакции догорания коксового остатка и выхода и горения летучих) и соответствует современному представлению о химических процессах, ведущих к образованию оксидов азота при сжигании твердого топлива.

Процесс образования оксидов азота можно представить следующим образом: при быстром нагреве частицы угля происходит ее термическое разложение (пиролиз), в результате которого имеет место выход летучих компонентов угля, в том числе углеводородов и азота топлива. При этом часть связанного азота топлива (до 70–80 %) практически мгновенно (реакция 1) переходит, а газовую фазу в виде цианидов. Затем происходит газовое горение углеводородных компонентов летучих и гетерогенное догорание коксового остатка. Остальной азот (20–30 %), равномерно распределенный по частице кокса, окисляется прямо до NO со скоростью, пропорциональной скорости догорания коксового остатка (реакция 2). Цианиды, образовавшиеся при выходе летучих, переходят (реакция 3) в амины, которые, реагируя с O_2 (реакция 4) или NO (реакция 5), могут способствовать образованию оксидов азота либо восстановлению N_2 из NO. Кроме того, важным с точки зрения конверсии оксидов азота является реакции образования HCN в результате взаимодействия с NO (реакция 6) и гетерогенная реакция между NO и частицей кокса (реакция 7).

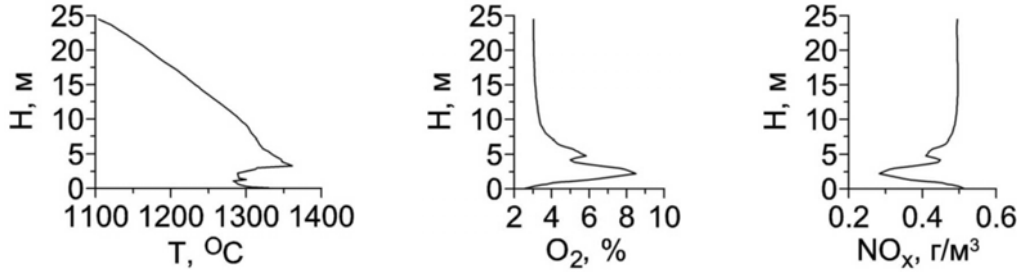
(реакция 1) N (в летучих) $\rightarrow$ HCN;
(реакция 2) N (в коксе) + $0{,}5O_2 \rightarrow$ NO;
(реакция 3) $HCN + H_2O + 0{,}5O_2 \rightarrow NH_3 + CO_2$;
(реакция 4) $NH_3 + O_2 \rightarrow NO + H_2O + 0{,}5H_2$;
(реакция 5) $NH_3 + NO \rightarrow N_2 + H_2O + 0{,}5H_2$;
(реакция 6) NO + углеводороды $\rightarrow$ $HCN + H_2O$;
(реакция 7) C (кокс) + $2NO \rightarrow CO_2 + N_2$;
(реакция 8) $N_2 + O_2 \leftrightarrow 2NO$;
(реакция 9) $H_2 + 0{,}5O_2 = H_2O$.

Численные исследования на основе предложенной модели проведены в камерной топке котла БКЗ–320–140ПТ с последующей верификацией полученных результатов по экспериментальным данным [3].

Котельный агрегат БКЗ–320–140ПТ спроектирован для сжигания бурых углей Канско-Ачинского бассейна [3]. Выполнен однокорпусным по П – образной компоновке с симметричным расположением поверхностей нагрева. Топочная камера – полуоткрытого типа с жидким шлакоудалением. На отметке 11 400 фронтальный и задний экраны образуют «пережим», отделяющий камеру горения от камеры охлаждения. Камера горения состоит из двух сообщающихся восьмигранных предтопков с футерованными экранами, каждый из предтопков оборудован четырьмя прямоточными горизонтально щелевыми горелками. Оси горелок каждого предтопка направлены по касательной к воображаемой окружности диаметром 980 мм и наклонены к поду на 15°. В «пережиме» расположены сбросные горелки, через которые производится сброс в топку слабо запыленного сушильного агента из системы пылеприготовления.

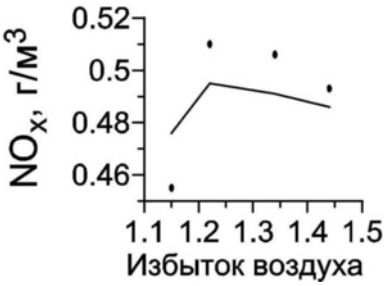
Расчеты распределения концентрации оксидов азота, температуры и концентрации кислорода по высоте топки выполнялись с использованием аэротермодинамических и температурных полей, полученных с помощью пакета прикладных программ FIRE 3D [4], в зависимости от избытка воздуха при нагрузке 300 т/час.

На рис. 1 представлено типичное распределение интегральных значений температуры, концентраций оксидов азота и кислорода по высоте топочной камеры. Как видно из рис. 1, распределение характеристик по высоте топочной камеры, указывает, что процесс горения топлива завершается на высоте ≈10 м, область максимальных значений температур (до 1400°С) и процесс образования оксидов идет в сравнительно не большой зоне выше уровня горелочного пояса.



а) б) в)

Рис. 1. Распределение средних в горизонтальных сечениях по высоте топочной камеры: а) концентрации оксидов азота, б) концентрации кислорода, в) температуры факела



Сравнение полученных численных результатов с натурными исследованиями [3] в зависимости от избытка воздуха представлено на рисунке 2.

Рис. 2. Изменение концентрации оксидов азота в зависимости от избытка воздуха, ● – экспериментальные данные [3]

Из рисунка 2, видно, что разработанная численная модель имеет достаточно высокую адекватность предсказания генерации оксидов азота, поскольку средняя погрешность между численными результатами и экспериментальными данными составляет 2 %. И в дальнейшем может рассматриваться как постпроцессор к пакету Fire3D [4] и вместе с ним использоваться для вариантной проработки конструктивных решений при проектировании и модернизации котельных агрегатов.

Список литературы:

1. Котлер В.Р. Оксиды азота в дымовых газах котлов – М.: Энергоатомиздат, 1987 – 144 с., ил.
2. Mitchell J.W., Tarbell J.M. A kinetic model of nitric oxide formation during coal combustion // American Institute of Chemical Engineers Journal. – 1982. – V. 28. – № 2. – P. 302–310.
3. Будилов О.И., Заворин А.С. Опыт улучшения экологических характеристик тепловой электростанции. – Томск.: Издательство «Красное знамя», 1994. – 100 с.
4. Заворин А.С., Красильников С.В., Старченко А.В. Программный комплекс для расчета и визуализации трехмерных реагирующих турбулентных течений в топках котлов // Проблемы использования канско-ачинских углей на электростанциях: Матер. Всеросс. научно-практ. конф. – Красноярск: СибВТИ, 2000. – С. 369–371.

УДК 621.311.001.57

Визуальное моделирование тепловых схем паротурбинных установок на основе объектного подхода

Н.Н. Галашов, Д.К. Смирнов
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия
E-mail: gal@tpu.ru

Показано, что объектный подход позволяет автоматизировать процесс моделирования схем из готовых компонентов оборудования и связей, а также создавать новые компоненты и изменять математические модели любых объектов на любом этапе моделирования.

Паротурбинные установки (ПТУ) ТЭС и АЭС представляют сложные технические системы, состоящие из сотен элементов оборудования, арматуры, трубопроводов и валопроводов, поэтому их оптимальное проектирование – трудоемкий процесс, который сложно выполнить без применения компьютера и специальных методов математического моделирования.

Актуальность этой проблемы выражена в большом количестве публикаций по вопросам моделирования ПТУ, главной из которых, несомненно, является монография [1], где отражены все основные вопросы моделирования ПТУ. Существенный вклад в теорию моделирования и расчета тепловых схем на ЭВМ внесли также работы [2–4]. Основным недостатком существующих методов моделирования является то, что набор элементов схемы и система уравнений их расчета должны быть строго определены при разработке программы. Добавить новые элементы или изменить систему уравнений можно только в результате изменения кода программы. Также, сложным является процесс связывания объектов схемы в единую систему, для чего применяются специальные математические методы теории графов и матриц.

В данной работе на основе методов ОП для создания моделей и программ автоматизированного проектирования тепловых схем в визуальном режиме с возможностью разработки и корректировки модели схемы и ее отдельных элементов без перепрограммирования.

Объектный подход является одним из главных инструментов анализа и проектирования сложных систем. При этом необходимо отметить, что в настоящее время основные работы по применению ОП ведутся в области программирования и информационных технологий. А область технических систем затронута пока еще очень слабо и поэтому работы в этой области по применению ОП весьма актуальны.

Рассмотрим возможности и особенности создания моделей сложных систем на основе ОП.

Объектный подход предоставляет следующие важные преимущества: возможность сборки системы из готовых повторно используемых компонент; возможность накапливать теоретические и опытные знания в виде библиотек классов на основе механизма наследования; простоту внесения изменений в проекты за счет использования свойств наследования и полиморфизма.

Основные идеи ОП [5] – это возможность декомпозиции системы на множество отдельных *классов*, каждый из которых может быть размножен на любое количество экземпляров (*объектов*), имеющих свои особенности. Таким образом, *класс* – это группа объектов, обладающих сходными свойствами, а именно, данными и поведением.

Класс характеризует абстрактные свойства и методы, а *объект*, являясь экземпляром *класса*, имеет конкретные значения свойств (параметры) и методы их обработки (процедуры и функции).

Состояние объекта характеризуется перечнем всех свойств данного объекта и текущими значениями каждого из этих свойств. Все свойства имеют некоторые значения, причем, существенным является то, что эти свойства могут быть как простыми количественными характеристиками (иметь числа в качестве значений), так и ссылками на другие объекты, что позволяет легко связывать объекты в сложную структурированную систему. Состояние объекта представляет суммарный результат его поведения.

Поведение – это то, как объект действует и реагирует; поведение выражается в терминах состояния объекта и передачи сообщений. Иными словами, поведение объекта – это его наблюдаемая и проверяемая извне деятельность.

Поведение объекта реализуется через методы его класса. Наибольшее значение имеют следующие методы: создания объекта и/или его инициализации; освобождающие состояние и ресурсы объекта и/или разрушающие сам объект; считывающие, но не меняющие состояние объекта; изменяющие состояние объекта.

Понятие *класса* является фундаментальным для объектного подхода. *Класс — это некое множество объектов, имеющих общую структуру и общее поведение.*

Класс задается своим типом (именем), информацией о суперклассах и реализуемых интерфейсах, а также своими элементами (полями, методами и внутренними абстракциями). Элементы класса могут реализовывать свойства объекта (поля и методы экземпляра), и могут реализовывать свойства собственно класса (статические поля и методы).

Для реализации свойства объекта иметь определенное состояние, в классе существуют атрибуты (поля).

Всеобщими свойствами объектов являются: наличие уникального имени; наличие внутренней структуры; нахождение в определенном пространстве; нахождение в определенном состоянии; возможность изменения положения и состояния объекта; наличие отношений и связей с другими объектами.

Перечисленные свойства называют *атрибутами* объекта. В зависимости от предназначения атрибуты объектов можно разделить на: идентификаторы; параметры; методы взаимодействия; функции.

В качестве идентификаторов объектов выбираются переменные, не изменяющие своих значений в течение всего периода жизни объекта. Так для тепловой схемы идентификатором конкретного элемента может служить строка, например, «насос», «турбина», «цилиндр» или «отсек» турбины и т. д. Параметрами объектов тепловой схемы являются мощность, расход, давление, температура, энтальпия, энтропия, конструктивные размеры. Параметры характеризуют состояние объекта во времени и пространстве. Состояние объекта в результате взаимодействия с исследователем, окружающей средой и другими объектами меняется с течением времени. Методы взаимодействия определяют реакции объекта на воздействия исследователя, окружающей среды и других объектов и описывают изменение параметров объекта в ответ на эти воздействия. Функции характеризуют результат, получаемый при изменении параметров и методов взаимодействия объекта. Аргументами функций являются значения параметров объекта в определенные моменты времени и значения внешних воздействий на объект. Назначение атрибутов при описании объекта является прерогативой исследователя и полностью определяется целями и задачами исследования.

Для визуального моделирования большую роль имеют графические объекты. Графические объекты занимают область на экране, знают, как нарисовать самих себя, и сообщают системе о пересечении с другими объектами и курсором.

Для моделирования тепловых схем паротурбинных установок ТЭС и АЭС выбраны два базовых класса – элемент и связь. Элементы – это оборудование, коллекторы и арматура. Связи – это трубопроводы с теплоносителем, соединяющие оборудование, и валопроводы, передающие мощность между цилиндрами турбины и от турбины к генератору, а также от электро- или турбопривода к насосам или другим механизмам собственных нужд электростанции.

Математическая модель паротурбинной установки в общем виде может быть представлена системой уравнений, характеризующих процессы в элементах и связях установки.

При стационарном режиме работы процессы в элементах и связях установки описываются следующими уравнениями [1]:

1) уравнение баланса энергии для каждого *k*-го элемента схемы

$$\sum_{j=1}^{J_k-N_k}(\eta G h)_j+\sum_{n=1}^{N_k}(\eta \acute{Y})_n=0, \qquad (1)$$

2) уравнение баланса расходов для каждого *l*-го энергоносителя *k*-го элемента схемы

$$\sum_{j=1}^{J_{kl}} G_j=0; \qquad (2)$$

3) уравнение гидравлического баланса расходов для каждого *l*-го энергоносителя *k*-го элемента схемы

$$(p_{\text{вх}}-\Delta p-p_{\text{вых}})_{kl}=0; \qquad (3)$$

4) уравнение изменения энтальпии для каждого *l*-го энергоносителя *k*-го элемента схемы

$$(h_{\text{вх}}-\Delta h-h_{\text{вых}})_{kl}=0; \qquad (4)$$

где G, h, p – расход, энтальпия и давление энергоносителя; Э – мощность энергетического потока; η – коэффициент, учитывающий потери энергии (обычно это КПД); Δh, Δp – изменение энтальпии и давления энергоносителя в элементе или связи; J – общее число энергоносителей в элементах; N – число энергетических потоков в элементах; индексы «вх», «вых» характеризуют параметры на входе и выходе элемента.

В качестве энергоносителей в теплоэнергетических установках выступают потоки воды, пара, воздуха, газов, тепловой, механической и электрической энергии. При этом потоки теплоносителей характеризуются расходом и двумя термодинамическими параметрами, а потоки энергии одним параметром – мощностью.

Значения η, Δp и Δh зависят от расхода G и термодинамических параметров теплоносителей X и от конструктивных параметров элементов установки Z и для k-го элемента установки могут быть описаны как

$$\eta_k = f(G_k, X_k, Z_k); \quad (5)$$

$$\Delta p_k = f(G_k, X_k, Z_k); \quad (6)$$

$$\Delta h_k = f(G_k, X_k, Z_k). \quad (7)$$

Расходные, термодинамические и конструктивные параметры элементов установки могут изменяться лишь в пределах физически возможных и технически осуществимых состояний энергоносителей и конструкций. Поэтому система уравнений (1–7) должна быть дополнена системой ограничений

$$G_{k.\min} \le G_k \le G_{k.\max}; \quad (8)$$

$$X_{k.\min} \le X_k \le X_{k.\max}; \quad (9)$$

$$Z_{k.\min} \le Z_k \le Z_{k.\max}. \quad (10)$$

В существующих программах моделирования тепловых схем энергоустановок жестко определяется набор оборудования, на основе которого будет моделироваться схема. Для каждого вида оборудования составляется своя система уравнений (1–10), которую можно изменить только в результате изменения программы моделирования.

В данной работе предлагается систему уравнений (1–10) записывать непосредственно в процессе разработки модели тепловой схемы. Для этого в классах элементов и связей в качестве одного из атрибутов введено текстовое поле, в которое в процессе работы программы разработчик модели может записывать необходимые для данного объекта уравнения в виде текстовой информации. Эта текстовая информация с помощью встроенного транслятора, работающего на основе обратной польской нотации, преобразуется в исполняемый код, что позволяет в любой момент работы программы моделирования в любом объекте изменять систему уравнений.

Для возможности визуального моделирования схемы в классах элементов и связей введем поля, определяющие характеристики графического изображения элемента или связи на экране монитора компьютера. Это позволяет с помощью векторного графического редактора создать понятное разработчику модели изображение элемента или нарисовать связь в виде ломаной линии определенного цвета и вида.

Для объединения элементов и связей в единую схему (систему) в их классы введем поля, содержащие указатели на объекты, связанные с данным объектом.

Для взаимодействия с объектами в процессе проектирования и расчета схемы в поля классов введем методы взаимодействия, которые по однократному или двукратному щелчку кнопок мыши позволяют выполнять необходимые действия.

Программа моделирования тепловых схем паротурбинных установок написана на объектно-ориентированном языке программирования Delphi и позволяет проектировать энергоблоки ТЭС и АЭС.

Список литературы:

1. Попырин Л.С. Математическое моделирование и оптимизация теплоэнергетических установок. – М.: Энергия, 1978.
2. Зорин В.М., Бисярин А.Н. Универсальная математическая модель для расчета тепловых схем АЭС и АТЭЦ // Труды Московского энергетического института. – 1980. – Вып. 474. – С. 148–161.
3. Палагин А.А. Автоматизация проектирования тепловых схем турбоустановок. – Киев: Наукова думка, 1983.
4. Боровков В.М., Казаров С.А., Кутахов А.Г., Романов С.Н. Автоматизированное проектирование тепловых схем и расчет переменных режимов ПТУ ТЭС и АЭС // Теплоэнергетика, 1993, № 3.
5. Гради Б. Объектный анализ и программирование с примерами приложений на C++. Второе издание. – М.: «Издательство Бином»; СПб.: «Невский диалект», 1998.

УДК 621.311.001.57

Структура программного комплекса визуального моделирования теплоэнергетических установок

Н.Н. Галашов, Д.К. Смирнов
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия
E-mail: gal@tpu.ru

Приведена структура программного комплекса визуального моделирования теплоэнергетических установок, разработанного на основе объектного подхода. Программный комплекс позволяет автоматизировать процесс моделирования теплоэнергетических установок из готовых компонентов оборудования и связей, а также создавать новые компоненты и изменять математические модели любых объектов на любом этапе моделирования.

На современном этапе имеется большое количество зарубежных и отечественных разработок нового теплоэнергетического оборудования. К ним относятся энергоблоки на суперсверхкритические параметры пара; газотурбинные и парогазовые установки и т. д. Для выбора наиболее надежных, экономичных и маневренных установок требуются трудоемкие расчеты, которые сложно выполнить без вычислительной техники и специальных методов математического моделирования.

Имеющиеся в настоящее время работы по математическому моделированию теплоэнергетических установок [1–4] разрабатывались без применения объектного подхода (ОП), который появился в современных языках программировании и позволяет значительно усовершенствовать и упростить процесс моделирования, что показано в работе [5]. В существующих программах моделирования жестко определяется набор оборудования, на основе которого моделируется энергоустановка, и для каждого вида оборудования составляется своя система уравнений, которую невозможно изменить без изменения самой программы. Также, сложным является процесс связывания объектов установки в единую систему, для чего применяются специальные математические методы теории графов и матриц. При этом пользователь большую часть времени затрачивает на кодирование элементов схемы установки.

Объектный подход позволяет устранить отмеченные недостатки существующих программ моделирования и дает следующие преимущества [6]: возможность сборки системы из готовых компонент, которые можно совершенствовать и изменять за счет использования свойств наследования и полиморфизма; возможность накапливать компоненты в виде библиотек классов; автоматическое связывание объектов системы за счет системы указателей на объекты.

Для моделирования теплоэнергетической установки на основе ОП достаточно двух базовых классов – «элемент» и «связь». Класс «элемент» описывает компоненты оборудования (парогенераторы, цилиндры и отсеки турбины, конденсаторы, деаэраторы, подогреватели, насосы, клапаны, коллекторы и т. д.). Класс «связь» описывает компоненты, соединяющие оборудование: паропроводы, водопроводы и газопроводы, передающие теплоносители между оборудованием, и валопроводы, передающие мощность.

Математическая модель схемы теплоэнергетической установки описывается системой балансовых уравнений, характеризующих процессы в элементах и связях.

При разработке программного комплекса была поставлена задача, чтобы атрибуты компонентов элементов и связей, представляющие их изображения и системы уравнений, можно было создавать и корректировать непосредственно в процессе моделирования установки без изменения программы моделирования. Для этого в классах элементов и связей введены атрибуты, характеризующие графические параметры изображения, и поле, в которое можно записать систему уравнений математической модели объекта в виде текстовой информации.

Для объединения элементов и связей установки в единую систему в их классы введены поля, содержащие указатели на объекты, связанные с данным объектом.

Для взаимодействия с объектами в процессе моделирования и расчета установки в поля классов введены методы, которые по однократному или двукратному щелчку кнопок «мыши» позволяют пользователю выполнять необходимые действия.

Схематическая структура программного комплекса визуального моделирования теплоэнергетических установок приведена на рис. 1.

Графический редактор позволяет нарисовать изображение компонентов класса «элемент» в виде цветного рисунка характерного для данного оборудования и изображение компонентов класса «связь» в виде ломаной линии необходимого типа и цвета. Также графический редактор

позволяет на основе имеющихся компонентов ввести объекты элементов и связей и объединить их в единую систему с помощью указателей на объекты.

Компоненты всех разработанных элементов и связей со всеми атрибутами сохраняются в базу данных, откуда их изображения выводятся на панели палитры элементов и связей, где палитра представляет набор кнопок с изображениями компонентов. Из палитры компоненты могут быть выбраны для создания объектов модели теплоэнергетической установки.

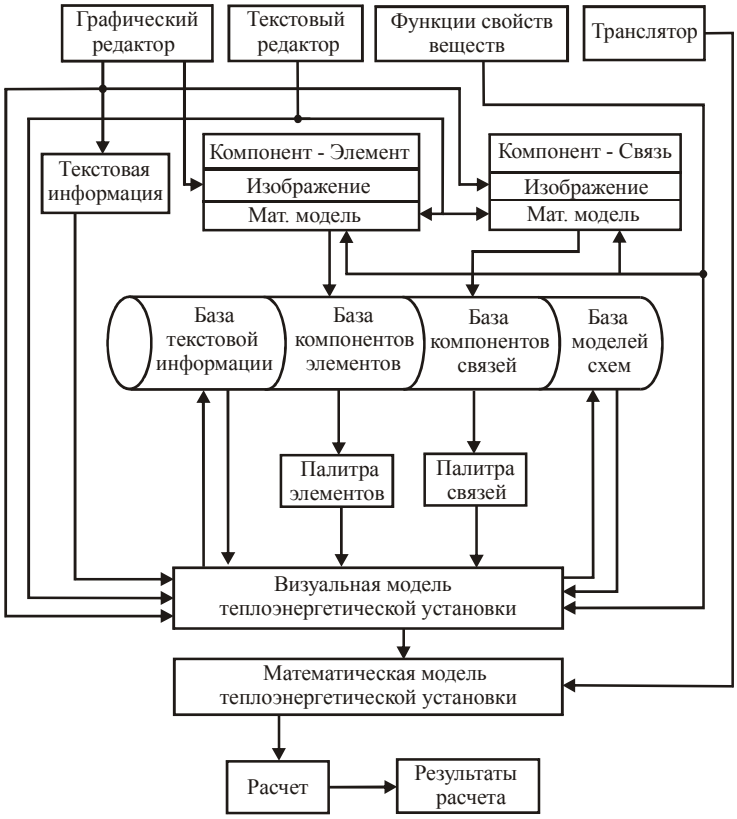


Рис. 1. Структура программного комплекса моделирования

Система уравнений математических моделей компонентов элементов и связей записывается с помощью текстового редактора в специальное поле класса. Математическую модель компонента можно записать при его разработке, при этом она будет храниться в базе данных компонента в виде шаблона, а можно оставить поле пустым и заполнять его в объектах, созданных на основе компонента.

При моделировании теплоэнергетической установки на основе разработанных компонентов создаются конкретные объекты, имеющие все атрибуты породивших их компонентов. С помощью инспектора объекта эти атрибуты можно изменять. Так, например, можно изменить конфигурацию линии связи ее тип и цвет, а, главное, можно изменять поле математической модели объекта – записать его заново или произвести изменения в шаблоне, что не влияет на шаблон породившего объект компонента.

Модель теплоэнергетической установки со всеми объектами и текстовой информацией с определенным именем сохраняется в базу данных, откуда может быть вызвана по имени для корректировки или расчета.

При записи математических моделей элементов и связей требуются функции теплофизических свойств веществ. В данной работе использованы функции расчета свойств воды и водяного пара [6].

Для расчета установки из текстовых записей математических моделей элементов и связей формируется единая математическая модель теплоэнергетической установки, которая с помощью транслятора переводится в исполняемый код программы. Транслятор разработан на основе обратной польской нотации [7]. При наличии ошибок в математической модели транслятор

указывает место и вид ошибки. Математическая модель стационарных режимов теплоэнергетической установки представляет систему нелинейных алгебраических уравнений. Расчет системы производится модифицированным методом Ньютона.

Программный комплекс моделирования написан на языке программирования Delphi и имеет модульную структуру. К основным модулям программы относятся: модуль графического редактора; модуль текстового редактора; модуль расчета параметров воды и водяного пара; модуль разработки компонента, позволяющий создать его изображение и математическую модель и установить в палитру компонентов; модуль трансляции текстовой записи математической модели в исполняемый код; модуль создания документа и визуального моделирования схемы; модуль расчета схемы; модуль взаимодействия с базой данных.

Интерфейс программного комплекса состоит из нескольких форм. На главной форме основным компонентом является рабочая область, на которой из изображений элементов и связей собирается визуальная модель теплоэнергетической установки. Главное меню позволяет выполнять операции с документами, настраивать внешний вид программы, создавать и сохранять модели схем, работать с библиотеками компонент, транслировать и рассчитывать математические модели и т. д. Панели инструментов содержат набор кнопок, дублирующих команды главного меню. Палитра элементов отображает кнопки с графическими изображениями элементов, на основе которых можно разрабатывать модель теплоэнергетической установки или ее подсистем. Палитра связей позволяет выбрать и нарисовать паропровод, водопровод или механическую связь. Инспектор объектов отображает атрибуты выбранного объекта и позволяет их изменять. Строка состояния показывает сведения о выделенной команде или выполняемой операции.

На рис. 2 приведена главная форма и формы разработки компонента паровой турбины.

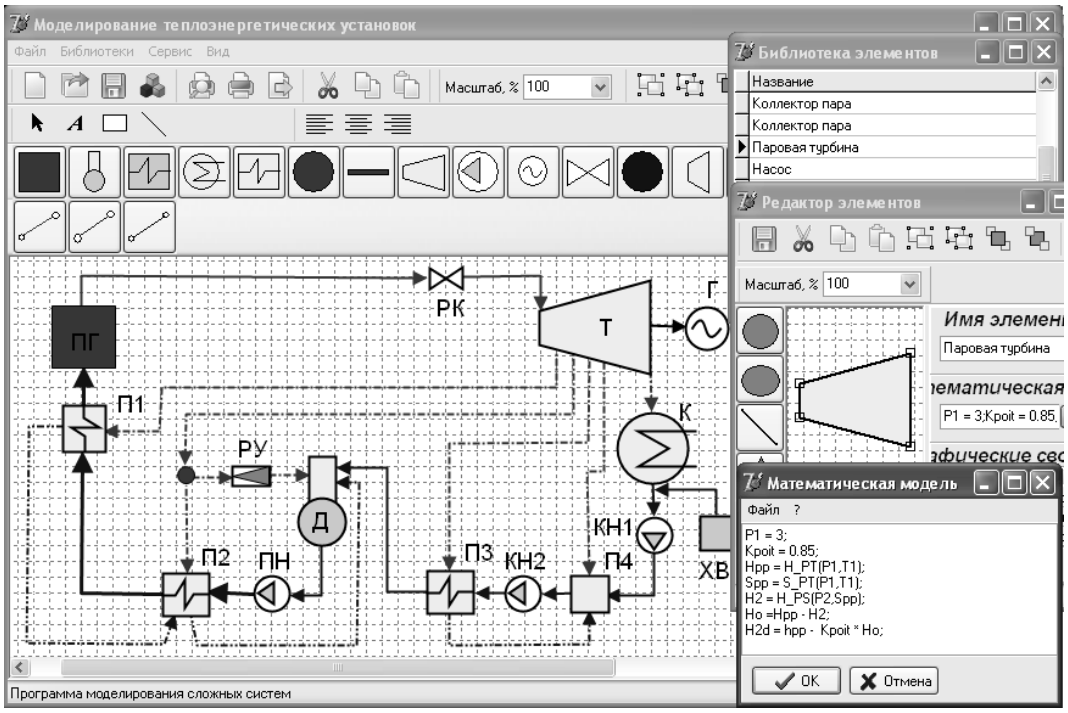


Рис 2. Главная форма и формы разработки компонента

Процесс моделирования можно производить поэтапно, проверяя на каждом этапе адекватность создаваемой модели. Также можно моделировать отдельные элементы или фрагменты схем.

В настоящее время программный комплекс позволяет моделировать элементы и системы пароводяного тракта ТЭС, АЭС и котельных. При добавлении в него функций расчета свойств воздуха и газов можно будет моделировать газовоздушный тракт ТЭС и котельных, а также схемы газотурбинных и парогазовых установок.

Список литературы:

1. Попырин Л.С. Математическое моделирование и оптимизация теплоэнергетических установок. – М.: Энергия, 1978. – 416 с.

2. Зорин В.М., Бисярин А.Н. Универсальная математическая модель для расчета тепловых схем АЭС и АТЭЦ // Труды Московского энергетического института. – 1980. – Вып. 474. – С. 148–161.
3. Палагин А.А. Автоматизация проектирования тепловых схем турбоустановок. – Киев: Наукова думка, 1983. – 160 с.
4. Боровков В.М., Казаров С.А., Кутахов А.Г., Романов С.Н. Автоматизированное проектирование тепловых схем и расчет переменных режимов ПТУ ТЭС и АЭС // Теплоэнергетика, – 1993, – № 3. – С. 5–9.
5. Галашов Н.Н. Объектное моделирование тепловых схем паротурбинных установок // Электрические станции, – 2008, – № 12. – С. 14–17.
6. Гради Б. Объектный анализ и программирование с примерами приложений на C++. Второе издание. – М.: «Издательство Бином»; СПб.: «Невский диалект», 1998. – 560 с.
7. Александров А.А. Международное уравнение состояния воды и водяного пара. – Теплоэнергетика, – 1997, – № 10. –С. 68–72.

УДК 536.468

Зажигание полимерного материала локальным источником нагрева при конвективном массопереносе газообразных продуктов пиролиза

Д.О. Глушков
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия
E-mail: dmitriy-glushkov@yandex.ru

В рамках газофазной модели зажигания, учитывающей в двумерной постановке процессы теплопроводности, термической деструкции, диффузии и конвекции продуктов пиролиза полимерного материла в среде окислителя, выполнено моделирование процесса зажигания полимера одиночной нагретой до высоких температур частицей. Разработанная модель позволила провести анализ конвективного механизма массопереноса, физико-химических превращений. Установлены зависимости времени задержки зажигания полимерного материала от начальной температуры, размеров и материала локального источника энергии. Определены минимальные значения начальной температуры и размеров частицы, при которых возможно возгорание в системе «одиночная частица – полимерный материал – окислитель».

В последние годы (2003–2011 гг.) получены результаты, отражающие масштабы влияния локальности источника нагрева конденсированного вещества на условия воспламенения (работы Г.В. Кузнецова, Т.Я. Мамонтова, Г.В. Таратушкиной, П.А. Стрижака, Н.В. Барановского, А.В. Захаревича, В.И. Максимова, Р.С. Буркиной). Решены задачи твердофазного зажигания однородных твердых конденсированных веществ, получены экспериментальные данные об условиях и характеристиках зажигания модельных топливных композиций, жидких топлив и легковоспламеняющихся жидкостей при локальном нагреве.

Но до настоящего времени [1, 2] не решены задачи зажигания полимерных материалов (ПМ), широко использующихся в строительстве и при производстве различных промышленных изделий, в случае воздействия локальных источников тепла (например, одиночных «горячих» частиц, образующихся при сварке металлов). Механизмы физико-химических превращений при высокотемпературном нагреве термопластичных полимеров, жидких топлив и твердых ракетных топлив существенно отличаются. Поэтому разработанные вышеперечисленными исследователями математические модели и методы решения задач зажигания нельзя формально использовать при прогностическом моделировании процессов, протекающих при интенсивном локальном нагреве термопластичных полимеров.

Целью настоящей работы является численный анализ макроскопических закономерностей газофазного зажигания смеси продуктов термической деструкции ПМ и окислителя разогретой до высоких температур частицей в рамках модели, учитывающей комплекс взаимосвязанных физико-химических процессов в малой окрестности локального источника нагрева и приповерхностного слоя полимера.

Рассматривался процесс зажигания в системе «одиночная частица – полимерный материал – окислитель» (рис. 1). Предполагалось, что локальный источник энергии – разогретая до высоких температур частица в форме параллелепипеда малых размеров инерционно выпадает на поверхность типичного полимерного материала с известными теплофизическими и термохимическими характеристиками.

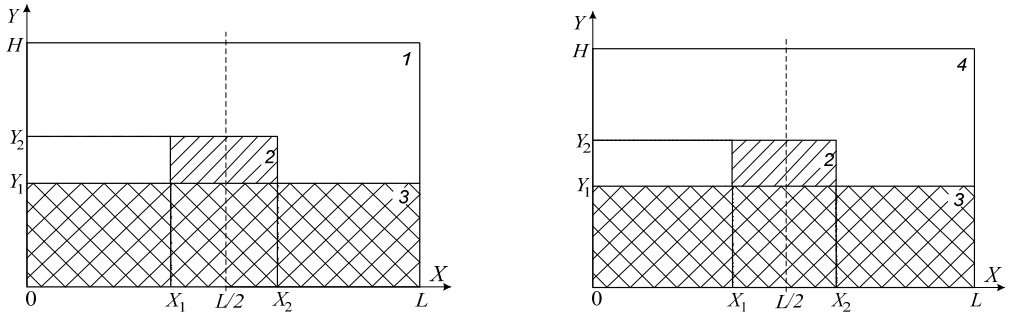


Рис. 1. Схема области решения задачи в начальный (τ=0) момент времени (*а*) и при $0<\tau<\tau_d$ (*б*): 1 – воздух, 2 – частица, 3 – полимерный материал, 4 – газовая смесь

При прогреве приповерхностного слоя полимера за счет тепла горячей частицы достигаются условия термической деструкции. В результате последующего прогрева значительно ускоряется процесс газификации ПМ вблизи нижней грани источника энергии. За счет диффузионно-конвективного массопереноса газообразные продукты термического разложения перемешиваются с воздухом и разогреваются. Формируется газовая смесь (рис. 1, *б*), состоящая из окислителя (воздуха) и продуктов пиролиза вещества. В результате достижения предельных значений концентрации компонентов и температуры газовой смеси реакция окисления принимает необратимый характер. Как следствие, происходит газофазное зажигание.

В качестве источника воспламенения рассматривалась одиночная стальная частица в форме параллелепипеда малых размеров l_p=(2,4÷6,4)·10^{-3} м, h_p=(1,2÷3,2)·10^{-3} м. В веществе и воздухе выделялись области, существенно превышающие размеры частицы l=20·10^{-3} м, h=20·10^{-3} м. Исследования выполнены для широко распространенного полимерного материала – полистирола.

Численный анализ исследуемого процесса выполнен при следующих условиях воспламенения:

1. Тепло, выделяемое в результате химической реакции горючих газов с окислителем, больше тепла, передаваемого от частицы полимерному материалу.
2. Температура газовой смеси превышает начальную температуру частицы.

Система нестационарных дифференциальных уравнений, соответствующая сформулированной физической постановке задачи, в декартовой системе координат и безразмерных переменных имеет следующий вид:

при $0<X<X_1$, $Y_1<Y<Y_2$; $X_2<X<L$, $Y_1<Y<Y_2$; $0<X<L$, $Y_2<Y<H$:

$$\frac{1}{\mathrm{Sh}}\frac{\partial\Omega}{\partial\tau}+U\frac{\partial\Omega}{\partial X}+V\frac{\partial\Omega}{\partial Y}=\frac{1}{\mathrm{Re}}\left(\frac{\partial^2\Omega}{\partial X^2}+\frac{\partial^2\Omega}{\partial Y^2}\right)+\frac{\mathrm{Gr}}{\mathrm{Re}^2}\frac{\partial\Theta_4}{\partial X}, \tag{1}$$

$$\frac{\partial^2\Psi}{\partial X^2}+\frac{\partial^2\Psi}{\partial Y^2}=\Omega, \tag{2}$$

$$\frac{1}{\mathrm{Sh}}\frac{\partial\Theta_4}{\partial\tau}+U\frac{\partial\Theta_4}{\partial X}+V\frac{\partial\Theta_4}{\partial Y}=\frac{1}{\mathrm{RePr}}\left(\frac{\partial^2\Theta_4}{\partial X^2}+\frac{\partial^2\Theta_4}{\partial Y^2}\right)+\frac{Q_\mathrm{o}W_\mathrm{o}l}{\rho_4C_4\Delta TV_0}, \tag{3}$$

$$\frac{1}{\mathrm{Sh}}\frac{\partial C_\mathrm{f}}{\partial\tau}+U\frac{\partial C_\mathrm{f}}{\partial X}+V\frac{\partial C_\mathrm{f}}{\partial Y}=\frac{1}{\mathrm{ReSc}}\left(\frac{\partial^2C_\mathrm{f}}{\partial X^2}+\frac{\partial^2C_\mathrm{f}}{\partial Y^2}\right)-\frac{W_\mathrm{o}l}{\rho_4V_0}; \tag{4}$$

при $X_1<X<X_2$, $Y_1<Y<Y_2$: $\frac{1}{\mathrm{Fo}_2}\frac{\partial\Theta_2}{\partial\tau}=\frac{\partial^2\Theta_2}{\partial X^2}+\frac{\partial^2\Theta_2}{\partial Y^2}$; (5)

при $0<X<L$, $0<Y<Y_1$: $\frac{1}{\mathrm{Fo}_3}\frac{\partial\Theta_3}{\partial\tau}=\frac{\partial^2\Theta_3}{\partial X^2}+\frac{\partial^2\Theta_3}{\partial Y^2}+\frac{Q_3W_3l^2}{\lambda_3\Delta T}$. (6)

Начальные ($\tau=0$) условия (рис. 1, *а*):

$0<X<L$, $0<Y<Y_1$ $\Theta_3=\Theta_0$, $\varphi_3=\varphi_0$;

$X_1<X<X_2$, $Y_1<Y<Y_2$ $\Theta_2=\Theta_p$;

$0<X<X_1$, $X_2<X<L$, $Y_1<Y<Y_2$; $0<X<L$, $Y_2<Y<H$ $\Theta_1=\Theta_0$, $C_f=0$, $\Psi=0$, $\Omega=0$.

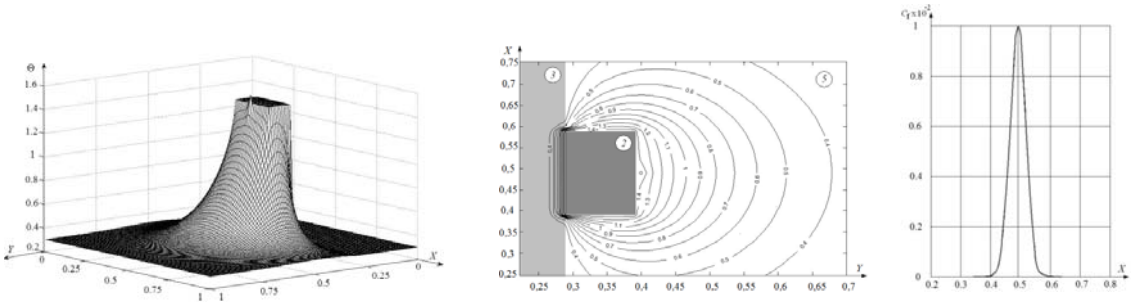
Граничные условия (рис. 1, *б*) при $0<\tau<\tau_d$:

на границах «частица – газовая смесь» ($Y=Y_2$, $X_1<X<X_2$; $X=X_1$, $X=X_2$, $Y_1<Y<Y_2$), «частица – ПМ» ($Y=Y_1$, $X_1<X<X_2$) граничные условия IV рода для уравнений энергии и уравнения теплопроводности, условие равенства нулю градиента соответствующих функций – для уравнения диффузии, движения, Пуассона; на границах «ПМ – газовая смесь» ($Y=Y_1, 0<X<X_1, X_2<X<L$) для уравнения энергии заданы граничные условия IV рода с учетом газификации полимера, для уравнений диффузии, движения, Пуассона заданы граничные условия второго рода с учетом вдува газообразных продуктов пиролиза в газовую область; на внешних границах ($X=0, 0<Y<H$; $X=L$, $0<Y<H$; $Y=0$, $0<X<L$; $Y=H$, $0<X<L$) для всех уравнений задано условие равенства нулю градиента соответствующих функций.

Приняты следующие обозначения: Ω – безразмерный аналог вектора вихря; Ψ – безразмерный аналог функции тока; X и Y – безразмерные составляющие координат декартовой системы, соответствующие x и y; U и V – безразмерные составляющие скорости горючих газов в проекции на ось x и y соответственно; Θ – безразмерная температура; T – температура; T_0 – начальная температура воздуха и вещества; T_p – начальная температура частицы; ΔT – разность температур ($\Delta T=T_p-T_0$); C_f – концентрация газообразных продуктов пиролиза ($0<C_f<1$); C – удельная теплоёмкость; ρ – плотность; λ – коэффициент теплопроводности; Q_o – тепловой эффект реакции окисления газовой смеси; Q_3 – тепловой эффект реакции термического разложения полимера; W_o – массовая скорость окисления газовой смеси; W_3 – массовая скорость газификации ПМ; φ – объёмная доля вещества ($0<\varphi<1$); V_0 – масштаб скорости конвекции газов вблизи поверхности КВ; t_0 – масштаб времени; τ – безразмерное время; τ_d – безразмерное время задержки зажигания; Sh, Re, Gr, Pr, Sc, Fo – число Струхаля, Рейнольдса, Грасгофа, Прандтля, Шмидта, Фурье соответственно; индексы «1», «2», «3», «4» соответствуют воздуху, частице, ПМ, газовой смеси.

По результатам численного анализа впервые установлено положение зоны локализации ведущей химической реакции (рис. 2) в малой по размерам газовой области над верхней гранью частицы.

Полученные распределения показывают достаточно существенные отличия механизма газофазного зажигания ПМ в условиях конвекции по сравнению с диффузионной моделью тепломассопереноса при воспламенении полимера.



а *б* *в*

Рис. 2**.** Распределение температур (*а*), положение характерных изотерм (*б*), распределение концентрации продуктов пиролиза ПМ по оси X при Y=0,4 (*в*) в момент воспламенения при L_p=0,2, H_p=0,1, Θ_p =1,5

Установлено, что зажигание происходит в малой по размерам газовой области над частицей в районе оси симметрии. Это объясняется тем, что температура продуктов термической деструкции ПМ в условиях конвекции ниже температуры, соответствующей началу химической

реакции их окисления, а интенсивность процесса массопереноса выше по сравнению со скоростью движения газов при диффузии. Вследствие этого продукты пиролиза в условиях конвекции быстрее удаляются от поверхности полимера и медленнее нагреваются при теплообмене с боковыми гранями частицы. В итоге газы достигают максимальных температур и массовых концентраций (рис. 2) только над частицей.

Из результатов выполненных численных исследований установлено, что в отличие от твердых топлив и жидких конденсированных веществ невозможна реализация нескольких режимов зажигания ПМ. Для систем (рис. 1) с ПМ возможно либо выполнение условий зажигания при достижении предельных концентраций продуктов пиролиза полимера и температуры газовой смеси, либо отсутствие возгорания (происходит газификация с последующим затуханием процесса).

Список литературы:

1. Щеглов П.П., Иванников В.Л. Пожароопасность полимерных материалов – М.: Стройиздат, 1992. – 110 с.
2. Асеева Р.М., Заиков Г.Е. Горение полимерных материалов. – М.: Наука, 1981. – 280 с.

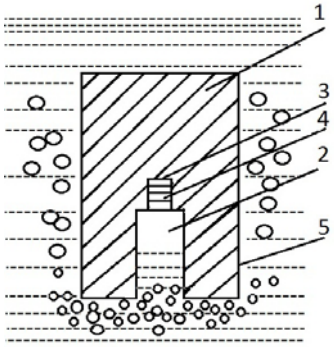
УДК 681.3.06

О повышении эффективности воздействия на промышленные стоки открытым газогенератором

С.В. Голдаев, А.А. Литвинов
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия
E-mail: shyrgant@mail.ru

В последнее время унитарные твердые топлива (УТТ) находят широкое применение в теплогенерирующих устройствах различного назначения, где они эксплуатируются в жидких средах. Особенно эффективно их использование в устройствах для подъема затонувших объектов [1], где они эксплуатируются в воде при высоком гидростатическом давлении.

В работе [2] рассмотрена возможность применения автономных аппаратов погружного горения на основе ТТ для обезвреживания жидких отходов и сточных вод, как в аппаратах погружного горения, работающих на газообразном топливе [3]. Тепло-химическое воздействие происходит за счет процессов, протекающих между продуктами сгорания и растворами. В качестве ТТ использовалась смесь окислителя (нитрат аммония) и горючего (эпоксидный компаунд). При сжигании ТТ в устройстве, помещенном на некоторую глубину в жидкость, продукты сгорания истекают через сопло. Они, барботируя в жидкости, разбиваются на газовые пузырьки, образующие при всплывании большую межфазную поверхность тепло и массообмена. При непосредственном контакте продуктов сгорания с раствором достигается насыщение газовых пузырьков парами воды.



Сравнение двух теплогенерирующих устройств на основе ТТ, проведенное в работе [4], показало, что использование открытого газогенератора (ОГ) предпочтительнее, т.к. в нем применяется стандартное твердое топливо баллиститного типа и отсутствует прочный корпус, уменьшающий стоимость такого устройства.

Рис. 1. Схема открытого газогенератора

Выполним оценку эффективности теплового воздействия на промышленные стоки ОГ, который состоит (рис. 1) из шашки УТТ баллиститного типа 1, по оси которой предусмотрен канал 2, свободно сообщающийся с окружающей средой [21. В стенке канала высверлено углубление для размещения негерметичного электрического воспламенительного устройства 3, представляющего собой шашку со сквозным каналом для установки в нем спирали накаливания 4. Боковая поверхность покрыта бронирующим составом 5. После подачи напряжения на спираль накаливания мощностью 25…30 Вт происходит зажигание шашки воспламенительного устройства, образующиеся газы поступают в канал, вытесняют воду и воспламеняют его стенки. В дальнейшем продукты сгорания вытекают в окружающую воду, дробятся на пузырьки, которые всплывают, охлаждаясь при этом.

По принципу гидродинамического и теплового воздействия на жидкость ОГ аналогичен трубчатому барботеру [3]. При выборе его характеристик принимают во внимание глубину внедрения струи продуктов сгорания в обрабатываемые жидкости (h_c) и диаметр обратной струи D_0, которая достигала границы раздела жидкости и воздуха [3].

Для количественной оценки этих параметров был осуществлен расчет стационарных перепадов давления и температуры продуктов сгорания, заполняющих канал 2 в шашке УТТ, находящейся на глубине 5 м. Связь h_c и D_0 с характеристиками продуктов сгорания учитывалась с помощью соответствующих аппроксимационных зависимостей из монографии [5]. Как отмечено в работе [1], с увеличением отношения длины канала (l_k) к его диаметру (d_k), возрастает перепад давлений и соответствующая ему скорость истечения газов. При превышении отношения l_k/d_k значения 26, истечение газов становится звуковым и ОГ при малых гидростатических давлениях начинает функционировать неустойчиво. Поэтому для нормальной эксплуатации ограничивают это отношение значением 8…10.

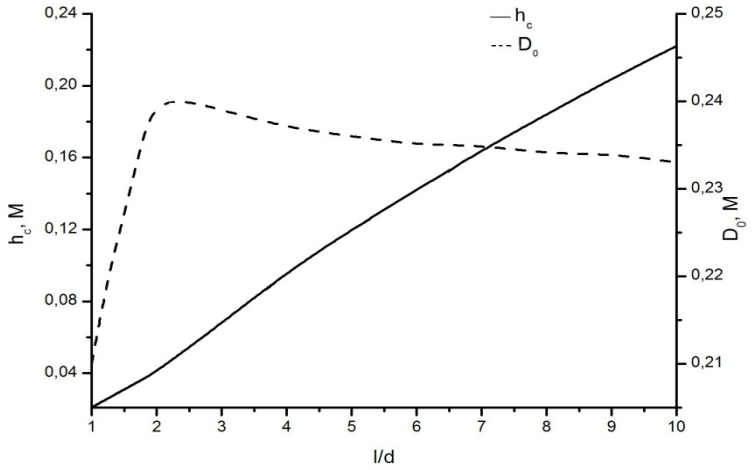


Рис. 2. Параметрический анализ влияния отношения l_k/d_k на h_c и D_0.

На рис. 2 приведены результаты параметрического анализа влияния отношения l_k/d_k на h_c и D_0. Тепловая эффективность связана с площадью поверхности теплообмена газовых пузырьков с жидкостью, которая, в свою очередь, пропорциональна D_0 Температура истекающих газов примерно равна 630 К.

Таким образом, выбор ОГ с начальными размерами канала: l_k =0,04 м и d_k = 0,02 м, обеспечит устойчивое его функционирование даже при малых гидростатических давлениях и позволит осуществить эффективное тепловое воздействие на промышленные стоки.

Список литературы:

1. Барсуков В.Д., Голдаев С.В.. Подводное зажигание и горение унитарных твтоплив. Теория, эксперимент, технические предложения. Томск. Ихд-во Том.ун-та 2003.– 343 с.
2. А.Р. Мухутдинов Моделирование и разработка теплогенерирующих устройств на основе твердого топлива, эксплуатируемых в жидкой среде// Проблемы энергетики,2007. – № 3-4. – С. 76–82.
3. Алабовский А.Н., Удыма П.Г. Аппараты погружного горения – М.: Изд-во МЭИ, 1994 – 256 с.
4. Голдаев С.В., Литвинов А.А. Сравнение двух теплогенерирующих устройств на основе твердого топлива, эксплуатируемых в жидкой среде /В кн Теплофизические основы энергетических технологий. Сборник научных трудов II Всероссийской научно-практической конференции – Томск: Изд-во ТПУ, 2011. – С.322–323.
5. Алабовский А.Н. Вынарные аппараты погружного горения – Киев.: Наукова думка, 1980 – 119 с.

УДК 697.34

Эколого-технический подход к исследованию эффективности энергоснабжения в условиях Крайнего Севера

В.А. Иванов

Институт физико-технических проблем Севера СО РАН, г. Якутск, Россия

E-mail: msta.v@mail.ru

Энергоснабжение в каждом регионе имеет свои особенности. Территориальные и суровые природно-климатические условия Республики Саха (Якутия) препятствуют охвату всей

территории линиями электропередачи, малая плотность энергопотребления приводит к нецелесообразности и нерентабельности сооружения энергоисточников больших установленных мощностей. Это связано с переходом на рыночные отношения в экономике, в результате массовой миграции населения из улусов в центральные города, что в свою очередь привело к снижению потребности к тепловой и электрической энергии.

Населенные пункты Севера Якутии обеспечиваются электроэнергией и теплом от изолированных друг от друга локальных систем энергоснабжения. В данных регионах не функционируют крупные производственные мощности, в связи с этим энергоснабжение носит изолированный характер. Эти изолированные энергорайоны обслуживаются компаниями: ОАО «Сахаэнерго» - для электроснабжения; ГУП «ЖКХ РС (Я)» и ОАО «Теплоэнергосервис» - для теплоснабжения. Территория обслуживания ОАО «Сахаэнерго» охватывает 2/3 часть Якутии, т.е. 2,2 млн. км² с населением 175 тыс. человек. Для электроснабжения изолированных потребителей работают более 125 дизельных электростанций, с общей мощностью 192 МВт. Для теплоснабжения работают 187 котельных установок ГУП «ЖКХ РС (Я)» и 20 котельных ОАО «Теплоэнергосервис», с общей выработкой тепловой энергии 959,45 тыс. Гкал.

Полезный отпуск электрической и тепловой энергии по данным 2010 года составило 237,2 млн. кВт·ч и 1744,25 тыс. Гкал соответственно.

Таблица 1. Динамика полезного отпуска электро- и теплоэнергии [1].

Показатели	**2008 г.**	**2009 г.**	**2010 г.**
Полезный отпуск электроэнергии, млн. кВт·ч	262,2	250,3	237,2
Полезный отпуск теплоэнергии, тыс. Гкал В том числе: • ОАО «Сахаэнерго» • ОАО «Теплоэнергосервис» • ГУП «ЖКХ РС (Я)»	28,6	60,2 2798,01	106,9 677,9 3132,72

Применение увеличивающего по цене дорогостоящего жидкого топлива, низкие эксплуатационные характеристики энергоисточников и увеличение транспортных тарифов приводят к высокой себестоимости энергии, которую, при установленных единых тарифов на электро-, и теплоэнергию, покрывается за счет бюджетных дотаций путем перекрестного субсидирования. Средний тариф на электроэнергию для потребителей республики составляет 3,75 рубля за 1 кВт час; средний тариф на тепло, по состоянию 2008 г., составил 945,0 руб./Гкал.

Основная доля перекрестного субсидирования приходится на дотирование изолированных северных энергорайонов. Себестоимость выработки электроэнергии здесь варьируется в зависимости от расстояния завоза топлива и коэффициента использования мощности от 5 до 25 руб./кВт·ч. При этом, доля затрат на топливно-транспортную составляющую составляет 60%.

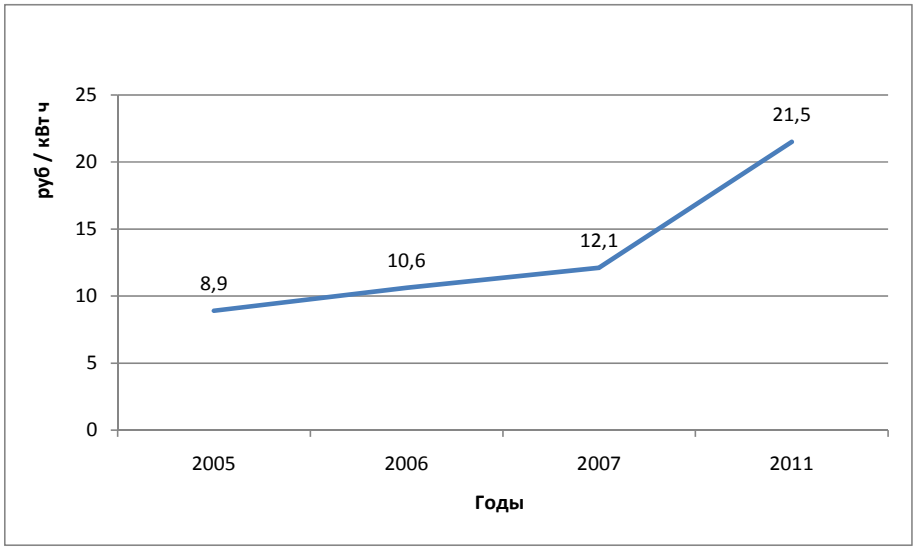


Рис. 1. Себестоимость выработанной электроэнергии в зоне локального электроснабжения

Таблица 2. Себестоимость 1 кВт·ч электроэнергии по улусам, снабжающихся электроэнергией от локальных энергокомплексов компании ОАО «Сахаэнерго» [2].

Район (улус)	Административный центр	Себестоимость 1 кВт·ч, руб
Алданский	г. Алдан	22,67
Аллайховский	п. Чокурдах	14,56
Анабарский	п. Саскылах	18,69
Абыйский	п. Белая Гора	16,85
Булунский	пгт. Тикси	13,80
Верхоянский	п. Батагай	17,84
Верхнеколымский	пгт. Зырянка	11,20
Жиганский	п. Жиганск	12,50
Кобяйский	пгт. Сангар	13,80
Момский	с. Хонуу	15,43
Нижнеколымкий	п. Черский	7,01
Оймяконский	пгт. Усть-Нера	17,61
Оленёкский	п. Оленёк	19,00
Среднеколымский	г. Среднеколымск	16,90
Усть-Янский	п. Депутатский	18,24
Эвено-Бытантайский	п. Саккырыр	21,75

В качестве основного критерия экономической, энергетической эффективности и надежности, экологической безопасности выступают минимум годовых полных затрат энергоснабжения и себестоимость производимой энергии, а также сокращение дотаций на энергоснабжение изолированных северных регионов. Поэтому развитие энергоснабжения изолированных потребителей Севера может быть достигнута, с учетом экологических требований, путем:

- нормированного и обоснованного применения высококалорийного (компактного) вида «северного» топлива, с повышением норм резерва топливоснабжения;
- усовершенствования и модернизации состава основного оборудования энергоисточников различных типов и комбинаций: традиционных ДЭС, источников комбинированного производства энергии, паротурбинных ТЭЦ на угле, газотурбинных агрегатов, плавучих атомных станций малой мощности, а также автономных источников теплоснабжения на базе индивидуальных теплогенераторов;
- своевременного обеспечения дальнепривозным жидким топливом труднодоступных районов Крайнего Севера с учетом сезонности функционирования морского, речного и автотранспорта и погодных условий;
- обеспечения надежности и безопасности бесперебойного энергоснабжения населения и производства с применением оборудования, позволяющего использование разных видов топлива (многотопливных энергоисточников);
- освоения и применения местных топливно-энергетических ресурсов, в первую очередь уголь в мини ТЭЦ;
- создания сборных, легких энергоэффективных жилых, общественных и производственных зданий, сооружений и тепловых сетей [3].

Такие мероприятия энергоресурсосбережения смогут решить главную цель программы оптимизации локальной энергетики Республики Саха (Якутия) на 2008-2013 гг. – сокращения перекрестного субсидирования.

Неудовлетворительное состояние энергоисточников, устаревших технологий и оборудования для энергоснабжения северных территорий может привести к дестабилизации энергообеспечения. Поэтому в настоящее время основной задачей является обеспечение надежности и качества энергоснабжения потребителей. Но в некоторых районах республики отмечается рост развития промышленности (горнодобывающие, алмазо-, золото-), производства, социальной инфраструктуры. В этих районах будет расти потребление к электро- и теплоэнергии, это приведет к нехватку энергетической мощности, которая станет сдерживающим фактором возможного развития региона. Это обстоятельство и крайне низкая эффективность производства электро- и теплоэнергии в существующих энергоисточниках требуют в большинстве случаев ввода новых современных источников энергии малой мощности [4].

Одним из направлений развития систем теплоснабжения изолированных потребителей Севера может стать использование электроэнергии в целях теплоснабжения. Такое решение имеет место вблизи крупных источников энергии, в виде переизбытка электричества от необходимого уровня потребления электроэнергии данного региона.

Экстремальные условия Крайнего Севера являются естественной природной лабораторией, суровые условия жизнеобеспечения в районах Крайнего Севера требуют гораздо большей степени уровня надежности, безопасности и живучести нежели, чем это требовалось бы в других природно-климатических условиях страны. Так как Крайний Север России является «полюсом холода» планеты, и если человек решил в нем строить жизнь, то должен создать высокоэнергоэффективную, высоконадежную систему жизнеобеспечения - экосистему – электро-, теплоснабжения, водообеспечения и т.п.

Список литературы:

1. Годовые отчеты за 2010 г. ОАО АК «Якутскэнерго», ОАО «Сахаэнерго».
2. Земные звезды зажигаем мы! 10 лет ОАО «Сахаэнерго». – Хабаровск: Дизайн-студия «Пилигрим», 2010. – 200 с.
3. Шадрин А.П. Задачи теплоснабжения потребителей Крайнего Севера. Энергетика и транспорт, №4, 1986. - 13-19 с.
4. Кузьмин А.Н., Михеева Е.Ю. Малая энергетика Севера Якутии: проблемы и перспективы развития. – Якутск: ЯНЦ СО РАН, 2009. – 160 с.
5. Восточный вектор энергетической стратегии России: современное состояние, взгляд в будущее / под ред. Н.И. Воропая, Б.Г. Санеева; Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т систем энергетики им. Л.А. Мелентьева. – Новосибирск: Гео, 2011. – 368 с.
6. Энергетика России в XXI веке: проблемы и научные основы устойчивого и безопасного развития // сборник докладов Всероссийской конференции. – Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2001. – 615 с.

УДК 697.0

Методические основы создания котлов малой теплопроизводительности

В.С. Игнатьев, А.В. Степанов, А.П. Шадрин

Институт физико-технических проблем Севера СО РАН, г. Якутск, Россия

E-mail: ignatiev_vs@inbox.ru

Как показывает практика эксплуатации малых котлов различных марок со слоевым сжиганием топлива в Республике Саха (Якутия), теплопроизводительность и к.п.д. малых котлов с ручным обслуживанием топочного процесса не достигает рекомендованных заводами изготовителями.

Процессы тепло-массообмена в топках малых котлов, ввиду их конструктивной особенности. К ним можно отнести малый объем топочного пространства, малые расстояния между поверхностями нагрева и слоем горящего топлива, большими значениями коэффициента избытка доходящие до 1,8 и более. Исследованиями проведенными в ИФТПС установлено, что в топках малых котлов процесс теплообмена происходит без преобладания лучистой составляющей, как это происходит в топках больших котлов. Большую роль начинает играть конвективная составляющая теплообмена. Этому способствует повышенное в сравнении с крупными котлами избыток воздуха в малом объеме, чем вызывается снижение температуры в объем топки уменьшающее радиационную составляющую теплообмена.

Разработка методики расчета теплообмена в топках малых котлов основан на общепринятых инженерных методах расчета, разработанные в «Нормативном методе» и другой специальной литературы по сжиганию топлив и проектированию топок различного назначения и предлагаемые разными авторами уточнение при расчете топок малых котлов со слоевым сжиганием твердого топлива (1,2,3,4, 5,6,7).

Одним из предпосылок, а также основой некоторых положений при разработке нашей методики расчета малых котлов стали выполненные институтом исследования по использованию углей Тихонского и Кангаласского месторождений в котельных, конкретно стального котла КСВм-0,6Т установленного в котельной п. Нижний-Бестях (8,9).

Методика разработана на основе конвективно-радиационной модели, предложенной С.Н. Шориным (10) и развитая Е.А. Мироновой, для расчета суммарного теплообмена в топках чугунных котлов шатрового типа при сжигании твердого топлива в слое и газообразного топлива в

подовых горелках. Результат теплового расчета – максимально достижимый к.п.д. и температура уходящих газов при заданной теплопроизводительности котла. Методика разработана для сжигания топлива в слое с неподвижным слоем топлива (Таблица 1.).

Таблица 1. Расчет топки

Рассчитываемая величина	**Обозначение**	**Размерность**	**Формула или обоснование**
1	2	3	4
Площадь поверхности теплообмена (радиационная)	$H_т$	$м^2$	Принимается по конструктивным данным
Площадь поверхности стен, ограждающих топку	$H_{ст}$	$м^2$	Принимается по конструктивным данным
Площадь зеркала горения	$R_{зг}$	$м^2$.	Принимается по конструктивным данным
Объем топки (от слоя топлива)	Vт	$м^3$	Принимается по конструктивным данным
Теоретическая температура горения	Та	$^0К$	Определяем по I-Ѳ диаграмме при расчетной $\alpha_т$
Объем дутьевого воздуха в топку	V_B	$м^3/кг.$,	$B_p \cdot V^0 \cdot \alpha_T$;
Теоретически необходимый расход воздуха на горение,	V^0	$м^3/кг.$	Принимаем из расчета объемов продуктов сгорания.
Объем дымовых газов на выходе из топки при $\alpha_т$	$V_Г$	$м^3/кг$	$V_Г^0 + (\alpha_T - 1) \cdot V^0$;
Объем продуктов сгорания при α=1,	$V_Г^0$	$м^3/кг$	Принимаем из расчета объем продуктов сгорания.
Характерный размер топки	$\ell_{экв}$	м	$\frac{4 \cdot V_T}{H_{CT}}$
Скорость газов в топке, отнесенная к площади поверхности нагрева	$\omega_н$	м/сек	$\frac{B_p \cdot V_Г}{H_T}$
Критерий Рейнольдса	Re_H	-	$\frac{\omega_н \cdot \ell_{экв}}{\nu'}$
Кинематическая вязкость	ν'	$м^2/сек$	По табл.1V. Из нормативного метода.[1]
Определяем критерий Стентона	St	-	$\frac{1}{1 + A \cdot \mathrm{Re}_н^n \cdot 0{,}115 / \ell_{экв}}$;
Коэффициент	A	-	A по (3)
Коэффициент	n	-	По (3)
Температура газов на выходе из топки	ϑ''	-	$1 - St(1 - \vartheta_{CT})$;
Относительная температура газов на выходе из топки	ϑ_{CT}	-	$\frac{T_{CT}}{T_a}$;
Температура стенки топки Прим. t1, t2 температуры сетевой воды на входе и на выходе	$T_{ст}$	$^0К$	$T_0 + q_{ср} \cdot R_H$; где $T_0 = \frac{t_1 + t_2}{2} + 273$;
Средний тепловой поток.	$q_{ср}$	$Вт/м^2$	Значением $q_{ср}$ сначала задаемся
Абсолютная температура дымовых газов на выходе из топки.	$T^{//}$	$^0К$	$\vartheta'' \cdot T_a$

Продолжение таблицы 1.

1	2	3	4
Суммарное термическое сопротивление стенки топки	R_H	$\frac{м^2 \cdot град}{Вт}$	$\frac{1}{\alpha_0} + \sum R_{CT}$; α_0-коэффициент теплоотдачи от стенки к воде, Вт/м^2*к; $\sum R_{CT}$ - суммарное термическое сопротивление всех слоев стенки, м^2*к/Вт; Рекомендуется принимать равным 0,0017-0,0035 м^2*к/Вт;)
Коэффициент сохранения тепла	φ	-	$\frac{1}{1+q_5/\eta}$
Полезное тепловыделение в топке	I_a	кДж/кг	$[Q_н^p(100-q_3)/100]+I_{хв}$
Количество тепла, воспринятого в топке на 1кг топлива	Q_T	кДж/кг	$\varphi(I_a - I'')$; I'' - энтальпия продуктов сгорания при температуре газов (T$^{//}$) на выходе из топки (по I-Ѳ диаграмме).
Удельное тепловосприятие топки	$q_{ср}^T$	Вт/м^2	$\frac{B_p \cdot Q_T \cdot 10^3}{H_T}$
Невязка	$\Delta_б$	%	$(q_{ср} - q_{ср}^T) \cdot \frac{100}{q_{ср}}$

Примечание. Находим q и сравниваем с предварительно принятой, если расхождение не превышает 5%. расчет заканчиваем.

Расчет конвективных поверхностей нагрева производится по (1).

Список литературы:

1. Тепловой расчет котельных агрегатов. Нормативный метод. М.: Энергия, 1973. - 293 с.
2. Блох А.Г. Теплообмен в топках паровых котлов. Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1984. - 240 с.
3. Борщов Д.Я. Чугунные секционные котлы в коммунальном хозяйстве. Н., Стройиздат, 1977. - 248 с.
4. Исламов Н.Ш. Проектирование топок специального назначения. Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1982. - 168 с.
5. Щеголев М.М., Гусев Ю.Л., Иванова М.С. Котельные установки. М.: Стройиздат, 1972. - 384 с.
6. Расчеты аппаратов кипящего слоя: Справочник. Л.: Химия, 1986. - 352 с.
7. Зуперман Д.А., Локшин В.А. О расчете теплообмена сложноомываемых трубчатых поверхностей нагрева – В кн.: Отопительное оборудование, санитарно-технические приборы арматура. Сб. трудов НИИ Сантехники, №43. М., НИИ сантехники. 1974.
8. Отчет о НИР «Отработка технологии сжигания угля Тихонского месторождения в котельной «Центральная» с.Соболох». Якутск, 2003. - 42 с.
9. Отчет о НИР «Опытно-экспериментальная установка котла КСВ-1,1ж(0,6т) с разработкой топочного устройства и проведения балансовых испытаний на угле Тихонского месторождения». Якутск, 2004. - 42 с.
10. Шорин С.Н. Теплопередача. М.: Высшая школа, 1964. - 491 с.

УДК 621.452

Пути повышения эффективности ГТУ

И.Ш. Ислямов
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия
E-mail: iish-88@yandex.ru

Газотурбинная установка - это агрегат, состоящий из газотурбинного двигателя, редуктора, генератора и вспомогательных систем. Поток газа, образованный в результате сгорания топлива, воздействует на лопатки турбины и создает крутящий момент и вращает ротор, который соединен с генератором. Генератор вырабатывает электроэнергию. В основе конструкции газотурбинного агрегата лежит принцип модульности: ГТУ состоят из отдельных блоков. Модульная конструкция быстро и эффективно производить сервисное обслуживание и ремонт, наращивать мощность, а также экономить средства за счет того, что все работы могут производиться быстро на месте эксплуатации.

Газотурбинные энергоустановки применяются в качестве постоянных, резервных или аварийных источников тепло- и электроснабжения в городах, а также отдаленных, труднодоступных районах. Основные потребители продуктов работы ГТУ следующие:

- Нефтедобывающая промышленность;
- Газодобывающая промышленность;

Создание высокоэффективных энергетических установок, обеспечивающих наряду с экономией топлива улучшение экологических показателей, уменьшение стоимости всего жизненного цикла, является одной из самых актуальных задач.

Сложились два направления развития энергетических газотурбинных установок:

1. Повышение температуры газа перед турбиной в ГТУ простого цикла. Сейчас разрабатываются ГТУ простой схемы с температурой газа 1773…1873 К, предназначенные в основном для работы в составе комбинированных газопаровых энергетических установок с общим КПД 60 – 65%, где непосредственно ГТУ имеют КПД 40…42%.
2. Создание многоагрегатных ГТУ более совершенных термодинамических схем с КПД до 45…47% и более.

Подход, развитый научной школой газотурбостроения МГТУ им. Баумана, состоит в улучшении безрегенеративных и регенеративных ГТУ и комбинированных установок, работающих при разных температурах газа и обеспечивающих получение КПД на уровне 40 – 46% при умеренных температурах и более 60% при ее повышении [1].

Примером разработки эффективной ГТУ для второго направления может служить установка по схеме В.В. Уварова ГТУ 200-750 мощностью до 200 МВт [1]. Особенность ГТУ данного типа является приближение термодинамического цикла к циклу Карно путем использования промежуточных охлаждений в процессах сжатия с высоким значением степени повышения давления в компрессоре высокого давления, промежуточных подогревов в процессах расширения с большим значением степени расширения в турбине низкого давления.

Если рассматривать высокотемпературную ГТУ, то здесь целесообразна полузамкнутая система охлаждения турбин [3]. Одной из причин увеличения мощности ГТУ с полузамкнутой системой охлаждения является то, что через ступени турбины с полузамкнутым охлаждением идет полный расход газа, равный сумме расхода воздуха при выходе из компрессора и расхода топлива в камере сгорания за вычетом утечек через уплотнения.

В последнее время зарубежные производители провели ряд экспериментов по разработке ГТУ на повышенные степени увеличения давления до 40 с применением промежуточного охлаждения при сжатии, что позволило уменьшить мощность, потребляемую компрессорами, и снизить температуру воздуха, идущего на охлаждение газовой турбины.

В созданных установок повышение КПД и удельной мощности достигается за счет введения промежуточного подогрева после ТВД, впрыском пара в камеру сгорания ГТУ, впрыском воды на входе в компрессор, впрыском воды на входе в рекуператор ГТУ регенеративного цикла. В некоторых случаях КПД таких парогазовых установок с утилизацией теплоты может доходить до 52% при высоком уровне коэффициента использования топлива и улучшении экологических показателей. Расположение камер сгорания промежуточного подогрева возможно в двух вариантах: 1) перед турбиной низкого давления и 2) перед турбиной среднего давления на роторе с нагрузкой [1].

Внедрению ГТУ замкнутого цикла повышенной единичной мощности мешает наличие нагревателя – воздушного котла, который ухудшает технико-экономические и эксплуатационные

показатели ГТУ закрытого цикла по сравнению с ГТУ открытого цикла. Затраты на нагреватель могут составить примерно 40% всех капиталовложений в установку.

При проектировании установок мощностью от 25 МВт схему стационарной ЗГТУ возможно усложнить, увеличив число компрессоров, турбин, введя промежуточное охлаждение и промежуточный подогрев рабочего тела, а также турбонадув котла.

Огромное преимущество ЗГТУ – это возможность отдачи большого количества теплоты в теплофицированную сеть без понижения электрического КПД установки.

Важнейшим этапом повышения эффективности ГТУ является разработка горелочного устройства камеры сгорания ГТУ [2]. В работе [2] показано влияние геометрической формы жаровой трубы на прилипание факела пламени, а именно то, что жаровая труба с квадратной формой поперечного сечения в этом плане эффективнее, чем труба круглого сечения.

Примерно 77% эксплуатируемых газотурбинных установок, работающих в простом цикле, имеют огромные тепловые потери на выхлопных газах ГТУ. Компания GE нашла несколько инновационных решений для увеличения прибыли от эксплуатации ГТУ за счет повышения суммарного КПД установок, получения дополнительной электроэнергии и ограничения выбросов вредных веществ в атмосферу [4]. Компания предложила доработать газотурбинную установку комплексом оборудования с пентановым циклом для утилизации выхлопных газов. Данная концепция представляет собой циклический термодинамический процесс, основанный на классическом цикле Ренкина с использованием органической рабочей жидкости. Повышение термодинамической эффективности простого цикла газотурбинного двигателя традиционно осуществляется за счет увеличения начальной температуры газа в двигателе и совершенствование его элементов [5]. При достигнутых значениях начальной температуры газа в двигателе дальнейшее повышение энергоэффективности обычно осуществляется за счет усложнения цикла ГТД, а также создания комбинированных ГТУ, где дополнительный двигатель, работающий по паротурбинному или газотурбинному циклу, использует энергию выхлопных газов основного ГТД.

Уже десятилетия природный и попутный газ являются основными энергоисточниками, а газотурбинные установки самым эффективным генерирующим оборудованием. Поэтому научные сотрудники и компании-производители продолжают заниматься исследованиями в этой области, искать новые решения в повышении эффективности и экологичности согласно жестким требованиям рыночной конкуренции.

Список литературы:

1. Перспективные направления повышения эффективности ГТУ. М.И. Осипов, В.Д. Моляков, К.А. Олесевич, Р.З. Тумашев. Апрель, 2011 – №3 (94). Стр. 2-7.
2. Влияние формы жаровой трубы камеры сгорания ГТУ на структуру потока. А.Ф. Ведищев, Л.А. Данилец, Б.В. Хряков. Газотурбинные технологии. Декабрь, 2010 – №10 (91). Стр. 6-9.
3. Уваров В.В. Газовые турбины и газотурбинные установки. – М.: Высшая школа, 1970. – 320 с.
4. Повышение общей эффективности термодинамического цикла газотурбинной установки. А. Буррато. Газотурбинные технологии. Сентябрь, 2010 – №7 (88). Стр. 16-17.
5. Энергоэффективность комбинированных ГТУ с утилизирующими турбинными двигателями. В.Т. Матвеенко, В.А. Очеретяный. Газотурбинные технологии. Сентябрь, 2010 – №7 (88). Стр. 44-48.
6. Ю.С. Елисеев, Э.А. Манушин, В.Е. Михальцев, М.И. Осипов, И.Г. Суровцев. Теория и проектирование газотурбинных и комбинированных установок. – М.: Изд.-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. – 64- с.

Выражается благодарность научному руководителю С.Н. Харламову – профессору, д.ф.-м.н. кафедры Транспорта и хранения нефти и газа Института природных ресурсов Томского политехнического университета.

УДК 697.1

Энергосбережение теплоты в зданиях с использованием теплонасосной установки

В.С. Логинов, А.С. Трамона
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия
E-mail: tramona@sibmail.com

Главное назначение теплового насоса – использование низкопотенциальной теплоты с целью получения высокопотенциальной теплоты. Тепловой насос (ТН) основными элементами являются испаритель, компрессор, конденсатор и дроссель (регулятор потока), соединенные

трубопроводом, в котором циркулирует хладагент – вещество, способное кипеть при низкой температуре и меняющие свое агрегатное состояние с газового в одной части цикла, на жидкое – в другой. В тепловом насосе главным становится конденсатор. Теплота конденсации паров хладагента, используется для нагрева воды. Вода используется в качестве источника ГВС в жилых зданиях.

Нарастающий дефицит энергии вынуждает искать альтернативные источники и пути сбережения традиционных источников энергии и топливных ресурсов, эффективно использовать вторичные энергоресурсы, в том числе природные низкотемпературные источники тепла. Одним из наиболее эффективных средств энергосбережения в промышленной и сельскохозяйственных сферах является применение теплонасосных установок (ТНУ), выпуск использование которых во всем мире неуклонно растет [1].

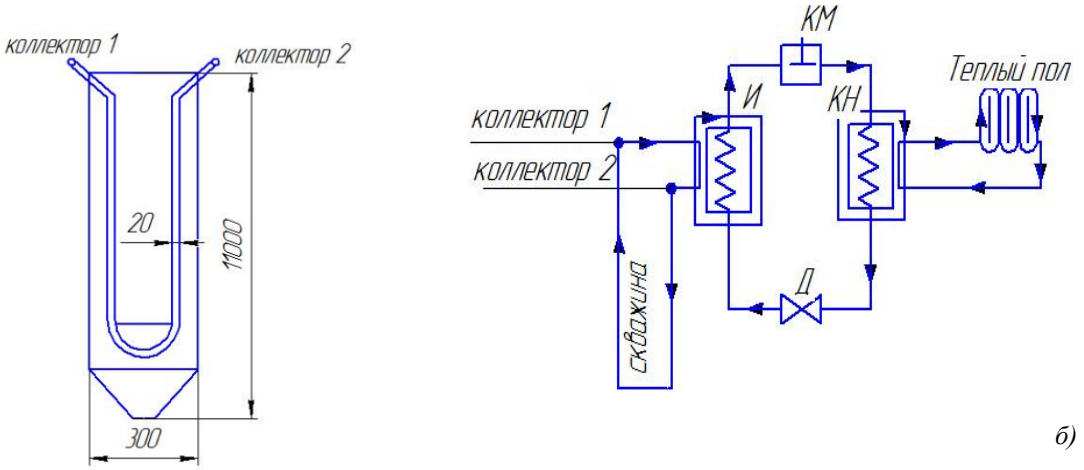
Источники энергии для ТНУ.

При использовании тепла земли можно выделить два типа тепловой энергии – высокопотенциальную и низкопотенциальную. Источником высокопотенциальной тепловой энергии являются гидротермальные ресурсы – термальные воды, нагретые в результате геологических процессов до высокой температуры, что позволяет их использовать для теплоснабжения зданий. Однако использование высокопотенциального тепла земли ограничено районами с определенными геологическими параметрами. В России это, например, Камчатка [2]. В настоящие время использование низкопотенциального тепла земли это одно из наиболее динамично развивающихся направлений использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии. Тепловой режим грунта поверхностных слоев земли формируется под действием двух основных факторов – падающей на поверхность солнечной радиации и потоком радиогенного тепла из земных недр. Низкопотенциальное тепло может использоваться в различных типах зданий и сооружений многими способами: для отопления, горячего водоснабжения, кондиционирования (охлаждения) воздуха [3].

В настоящей статье рассматриваются особенности реализации системы отопления на базе теплонасосных установок, использующих низкотемпературную тепловую энергию земли, объекта, расположенного в г. Топки (Кемеровская область) – жилого 5 этажного дома [4].

Аккумулированное грунтом тепло с определенным температурным уровнем передается рабочему телу теплового насоса, как правило, через промежуточный теплоноситель (рассол) температура замерзания которого принимается равной -15^0C. Грунтовые теплообменники выполняют обычно из пластиковых труб. Гарантийный срок службы грунтовых теплообменников составляет 50 лет и более.

В работе мы предлагаем использовать и сравнить в качестве источника энергии – фреон-134, фреон-21, фреон- 113.



а)

Рис. 1. Схемы а) полая свая, б) циркуляционная схема

Постановка задачи

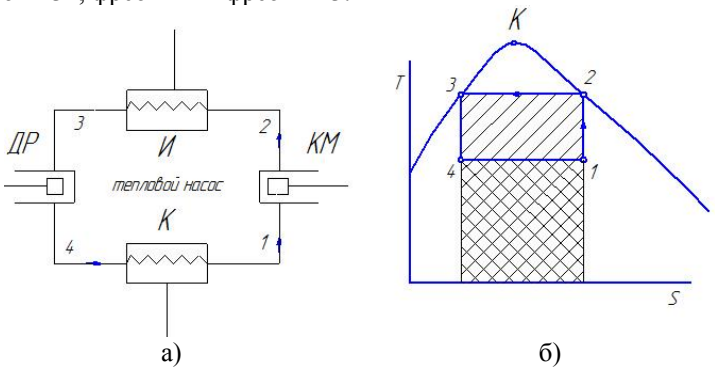
Целью энергосбережения органического топлива ставится задача использования теплоты грунта. На глубину 11 метров забивают полую сваю, через которую пропускают теплоноситель

фреон-134 (рис.1*а*). При этом полученное тепло используется для обогрева жилого дома. Фреон-134 заливают в пластиковую трубу диаметром 20 мм, уложенную в полой свае.

На рис. 1*б* приведена циркуляционная схема. В коллектор 1 поступает фреон-134, который затем циркулирует по трубе и под высоким давлением поступает в (И) испаритель, где за счет резкого уменьшения давления происходит процесс испарения. При этом хладагент отбирает тепло у внутренних стенок испарителя, а испаритель в свою очередь отнимает тепло у земляного контура, за счет чего он постоянно охлаждается. Компрессор (КМ) вбирает хладагент из испарителя, сжимает его, за счет чего температура хладагента резко повышается и выталкивает в конденсатор (КН). Кроме этого, в конденсаторе, нагретый в результате сжатия хладагент отдает тепло отопительному контуру (теплый пол) и переходит в жидкое состояние. Отработанный хладагент поступает в коллектор 2 и цикл замыкается.

Термодинамический расчет

Для отопления здания может быть использован тепловой насос (рис.2), в котором нижним источником теплоты служит окружающая среда. В результате его работы теплота передается источнику теплоты с более высокой температурой, чем окружающая среда. Требуется найти эксергетические потери в элементах, если температура охлаждающей среды $t_{ос}= 1^0C$=274К, температура нагревательных устройств $t_н=35^0C$=308К. В расчетах в качестве холодильного агента используются фреон-134, фреон-21 и фреон-113.



а) б)

Рис. 2. Тепловой насос а) принципиальная схема, б) T-S схема

Методика проведения расчетов эксергетических потерь подробна приведена в статье [7]. В данной работе полученные результаты потерь эксергии приведены в табл.1.

Таблица 1. Потери эксергии

№	Потери	Фреон-134		Фреон-21		Фреон-113	
		кДж/кг	Проценты, %	кДж/кг	Проценты, %	кДж/кг	Проценты, %
1	Компрессор	-514,100	38,3	-563,374	36,7	-764,804	40,44
2	Конденсатор	510,420	38	556,422	36,3	759,618	40,17
3	Испаритель	43,780	3,26	209,524	13,67	185,858	9,82
4	Дроссель	274,800	20,44	202,572	13,33	-180,672	9,57
	Итого:	314,400	100	405,538	100	0	100

На основе приведенных расчетов можно сделать следующие выводы. Фреон-113 с точки зрения эксергетических потерь не годится для использования в качестве холодильного агента в теплонасосных установках, так как более половины потерь эксергии приходится на конденсатор и испаритель (табл.1), при этом потери эксергии для фреона-134 на конденсаторе и испарителе составляют 41,26 процента, что в абсолютном выражении меньше, чем у фреона-21 .Фреон-134, отвечающий по безопасности на реакцию организма человека, а так же экономически выгодным, можно использовать в установках.

Заключение

В работе поставлена задача использования теплоты грунта. Приведены результаты расчеты потерь эксергии для теплового насоса (в качестве холодильного агента использованы фреон-134, фреон-113 и фреон-21). В качестве теплоносителя предлагается использовать фреон-

134, который отвечает требованиям по безопасности на реакцию организма человека, а так же является более экономически выгодным по сравнению с фреоном-113 и фреоном-21.

Спикок литературы:

1. Сорокин О.А. Применение теплонасосных установок // Промышленная Энергетика. – 2005. – №6. – с. 12-15.
2. Васильев Г.П. Шилкин Н.В. «Использование низкопотенциальной тепловой энергии земли в теплонасосных системах» //АВОК - 2003, №2 – с.10-14.
3. Васильев Г.П. Энергоэффективные здания с теплонасосными системами теплоснабжения // ЖКХ. 2002. № 12-с26 -29.
4. Васильев Г.П. «Энергоэффективный экспериментальный жилой дом в микрорайоне Никулино -2» //АВОК.- 2002. - №4. – с.23-27.
5. Коновалова Л.С. Расчет термодинамических процессов и циклом. Учебное пособие.- Томск: Изд. ТПУ, 1985. – 95с.
6. Коновалова Л.С. Справочные данные по термодинамическим свойствам рабочих тел теплотрансформаторов. Метод. указ. для студентов теплотехнических специальностей. – Томск: Изд. ТПУ, 1998. – 32с.
7. Трамона А.С XII Всероссийский студенческий – научно технический семинар. «Энергетика и Эффективность».

УДК 553.981

Решение задачи газификации отдаленных населенных пунктов

О.Н. Медведева, В.О. Фролов

Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина, г. Саратов, Россия

e-mail: medvedeva-on@mail.ru

В статье представлен один из вариантов обеспечения потребителей газовым топливом. Приводится схема транспортировки природного газа в сжиженном виде.

В настоящее время газовая промышленность России достигла высокого уровня и по добыче газа и по его реализации, однако отсутствие магистральных газопроводов на некоторых территориях страны создает проблемы газификации таких регионов сетевым газом.

Поэтому вполне обоснованной является необходимость создания системы альтернативного трубопроводам варианта транспортировки природного газа в сжиженном виде, хотя практическая реализация этого проекта потребует значительных капиталовложений.

Снабжение потребителей на базе СПГ экономически оправдано в следующих условиях:

- небольшие объемы потребления газа объектом, удаленным от магистрального газопровода;
- нестабильные сейсмические условия на участке предполагаемого строительства газопровода;
- сложный рельеф местности на предполагаемой трассе строительства газопровода;
- газифицируемый объект или предполагаемая трасса строительства газопровода находятся в районе с уникальным природным ландшафтом (наличие труднопреодолимой преграды на предполагаемой трассе строительства газопровода).

Как топливо, сжиженный метан обладает следующими преимуществами [1]:

- возможность газификации объектов, удаленных от магистральных газопроводов сетевого газа;
- возможность хранения под небольшим избыточным давлением при температуре около 112К;
- нетоксичность, не вызывает коррозии металлов;
- высокая калорийность по сравнению с другими видами топлива; низкая температура кипения - гарантия полного испарения СПГ при самых низких температурах окружающего воздуха;
- эффективность и удобство хранения, транспортировки и потребления (при сжижении природного газа его плотность увеличивается в 600 раз); использование в качестве моторного топлива.

Технология газификации объектов с использованием СПГ состоит из следующих стадий:

- отбор газа из газовых сетей;
- подача газа на установку сжижения;
- хранение сжиженного газа до момента отгрузки в криогенных резервуарах;
- перелив сжиженного газа в автоцистерну и транспортировка к месту потребления;
- слив и хранение в резервуаре у потребителя;
- регазификация в испарителях;

- подготовка и подача газа потребителю.

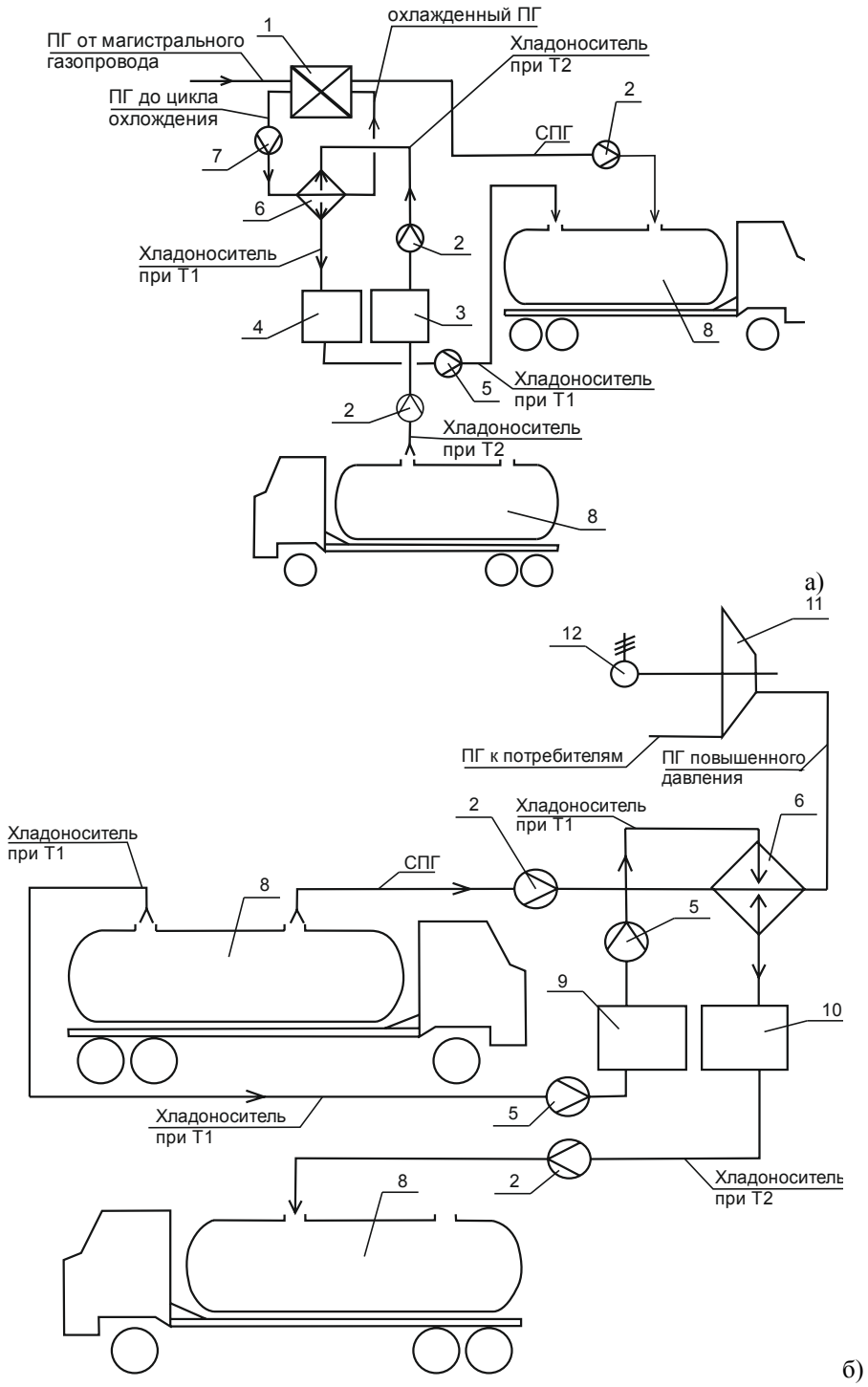


Рис. 1. Схема доставки сжиженного газа потребителям:
а) Схема доставки СПГ от установки по сжижению до потребителя
б) Схема доставки СПГ от потребителя до завода по сжижению:
1 - блок сжижения природного газа; 2 - насос криогенный; 3 - емкость приемки хладоносителя при Т2; 4 - емкость отпуска хладоносителя при Т1; 5 - насос жидкостный; 6 – теплообменник; 7 – компрессор; 8 - цистерна транспортная криогенная многополостная; 9 - емкость приемки хладоносителя при Т1; 10 - емкость отпуска хладоносителя при Т2; 11 - турбодетандерный агрегат; 12 - генератор переменного тока

В результате анализа существующей схемы газоснабжения на базе СПГ с использованием автомобильного транспорта были выявлены элементы системы, усовершенствование которых приведет к положительному экономическому эффекту [2].

Схема транспортировки включает в себя: установку сжижения, базовое хранилище СПГ на заводе, хранилище у потребителя, транспортные средства доставки газа потребителям, средства газификации у потребителей топлива. Транспортировку СПГ осуществляют в криогенной цистерне, содержащей основную оболочку, внутри которой размещен сосуд для перевозки газа, между основной оболочкой и сосудом для перевозки газа установлена и закреплена дополнительная оболочка и пространство между основной и дополнительной оболочкой используют для перевозки хладоносителей. Пространство между дополнительной оболочкой и сосудом заполняется изолирующим материалом. Регазификация СПГ происходит в теплообменнике, греющим теплоносителем которого является хладоноситель, а редуцирование природного газа осуществляют в турбодетандере. Предварительное охлаждение природного газа производят в теплообменнике с хладоносителем в охлаждающем контуре и холод, полученный при регазификации СПГ, возвращают обратно на завод по получению СПГ и используют для предварительного охлаждения природного газа в цикле сжижения (заявка на полезную модель № 2011130459). Схема представлена на рис. 1.

Использование предлагаемой схемы доставки энергоносителей для газоснабжения зданий, промышленных, коммунальных и сельскохозяйственных потребителей позволит значительно повысить уровень инженерного сервиса. Данная технология может быть использована в качестве дополнения к традиционной газификации посредством строительства газопроводной распределительной сети и позволяет обеспечить потенциальных потребителей природным газом.

Список литературы:

1. Бармин ИВ. Сжиженный природный газ вчера, сегодня, завтра. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. – 256с.
2. Медведева О.Н., Фролов В.О. Разработка методики оптимального размещения завода по сжижению природного газа// Инновации и актуальные проблемы техники и технологий: Материалы Всероссийской науч.-практ. конф. молодых ученых. – Саратов, 2010. – Т.2. – С.221-223.

УДК 62-7/78

Вибродиагностика, как средство определения дефектов подшипников

И.Л. Москалёв, Л.В. Савостьянова
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия
E-mail: moskalew@tpu.ru

На основании ремонтной предыстории турбоагрегатов на Томской ГРЭС-2 были выявлены и систематизированы в виды дефекты подшипников качения и их диагностические (частотные) признаки. В дальнейшем эти данные будут использоваться для разработки математической модели диагностирования подшипников посредством вибрации.

Надлежащее техническое обслуживание и своевременный — по факту состояния, а не после аварий — ремонт способны существенно продлить срок службы промышленного оборудования. А также сократить затраты на его содержание (например, за счет снижения расходов на устранение последствий внеплановых остановов), повысить общую надежность работы предприятия и т. д.

Для крупных энергетических предприятий, особенно использующих сложное и дорогостоящее оборудование, вопросы системы технического обслуживания и ремонтов (СТОИР) являются крайне важными. На основании данных анализа экономической эффективности диагностических работ, проведенного в 2001 по заказу АО Ленэнерго отделом диагностического обслуживания Ассоциации ВАСТ (таблица 1) затраты на СТОИР составляют 25% [5].

Если проанализировать дефекты на Томской ГРЭС-2 за период 2000-2008 гг., повлиявшие на интенсивность изменения мощности, то наибольшая недовыработка электроэнергии отмечалась из-за сбоев в работе оборудования турбинного отделения (рисунок 1).

Таблица 1. Затраты на техническое обслуживание и ремонт

№	Статья расходов	Доля в общих годовых затратах на эксплуатацию ТЭЦ
1	Затраты на топливо	64%
2	Ремонты и материалы для основного и вспомогательного тепломеханического оборудования станций	25%
3	Здания и сооружения	5%
4	Прочее	6%

Причинами снижения уровня мощности Томской ГРЭС-2 в большинстве случаев послужили неисправности турбины, что следует из структуры отказов турбоагрегата в сравнении с другими причинами за 2000-2008 гг. (рисунок 2).

Рис. 1. Причины остановов и разгрузок

Рис. 2. Структура отказов турбоагрегата

Таким образом, доля отказов турбоагрегата=(отказы оборудования турбинного отделения*отказы турбоагрегата в целом)/100%

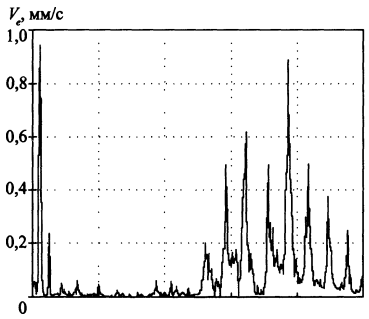
$$\textit{Доля отказов турбоагрегата} = \frac{36\% \cdot 43\%}{100\%} = 15,48\%$$ — процент отказов, вносимый турбоагрегатом в общий показатель отказов Томской ГРЭС-2 за период 2000-2008 гг.

К числу факторов, наиболее неблагоприятно сказывающихся на надежности турбоагрегатов, относится повышенная вибрация. Она особенно сильно сказывается на техническом состоянии подшипников. Анализ данных, полученных с Томской ГРЭС-2, показывает, что отказы этих узлов составляют до 47% от всех отказов турбоагрегата.

В последние годы в отечественной и зарубежной литературе появилось множество публикаций по дефектам подшипников скольжения, несправедливо забывая о подшипниках качения. В данной работе систематизированы по видам дефекты подшипников качения [1-4]:

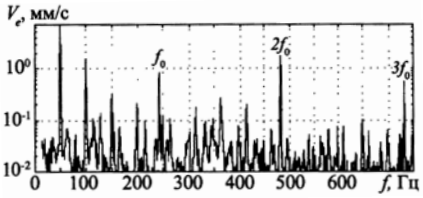
Вид дефекта и основные причины его возникновения	Частоты основных признаков	Частоты дополнительных признаков
Нарушения смазывания (количества, качества) и обслуживания		
– Неправильный выбор смазочного материала. – Недостаточное смазывание. – Избыточное смазывание. – Нарушение качества обслуживания: загрязнение абразивными и инородными частицами (грязь, песок, стружка, посторонние предметы), веществами, приводящими к коррозии (вода, кислота). – Ухудшение качества смазочного материала: разрушение молекул под действием температуры, окисление, деградация присадок, загрязнение продуктами износа (уплотнений, деталей подшипника) и др.	Рост ВЧ-вибрации	Составляющие в области 800…1800 Гц с шагом 60…130 Гц

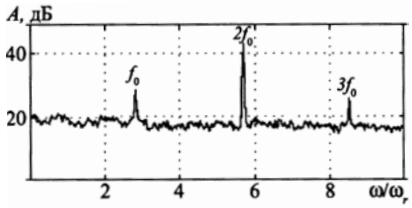
Диагностические признаки: рост ВЧ-вибрации; иногда в спектре вибрации появляются 3…8 пиков с интервалом в 60…130 Гц в области 800…1800 Гц; при отсутствии других дефектов, как правило, в спектре огибающей не наблюдаются отдельные частотные составляющие, заметно отличающиеся по величине от общего уровня. Обычно дефекты смазки являются следствием ухудшения качества смазочного материала или нарушения обслуживания, появление признаков, которых требует останова машины. В аварийных ситуациях при большом износе сепаратора и поверхностей трения резко возрастает число ударных импульсов, происходит их наложение, нарушается периодичность их следования, применение спектрального анализа затруднено.



Деформация (перекос) наружного кольца подшипника

– Некруглое (или недостаточное) отверстие корпуса, деформация корпуса (корпусные трещины, нарушения прилегания, отставания опоры, неплоскостность сопряженных опорных поверхностей, дефекты прокладок). – Отклонения формы (конусность) шейки вала или отверстия корпуса. – Недостаточный размер заплечика корпуса, избыточный радиус выточки на корпусе	$2f_0$; kf_0; амплитуды вибраций четных гармоник обычно больше, чем нечетных	ВЧ-вибрации не высокая



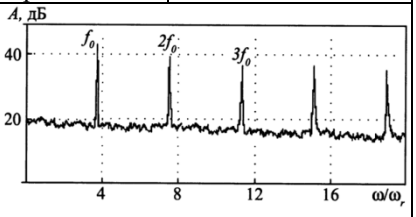


Диагностические признаки: вибрация на частотах kf_0, амплитуды вибраций четных гармоник обычно больше чем нечетных, наибольшая вибрация на частоте $2f_0$, k ~3…5; высокочастотная вибрация, как правило, невысока.

Причина вибрации - высокая нерасчетная статическая нагрузка, действующая на поверхности трения в двух противоположных точках наружного кольца. Обычно вибрация проявляется непосредственно после монтажа. В процессе эксплуатации в результате ускоренного износа признаки перекоса могут временно уменьшиться или исчезнуть, однако ускоренный износ наружного кольца продолжится

Износ контактирующих поверхностей колец

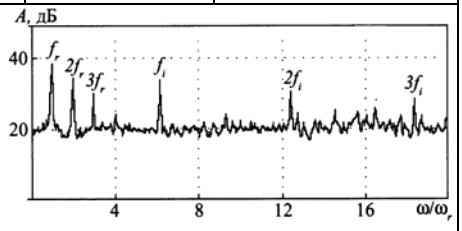
– Неравномерный износ внешнего кольца. – Абразивный износ вследствие воздействия абразивных частиц или дефектов смазывания. – Естественный абразивный износ. – Локальные дефекты в виде закатанных (сглаженных) участков с равномерным плавным отклонением формы поверхности относительно номинальной	kf_0; амплитуды вибрации высших гармоник быстро убывают с ростом k	Рост ВЧ



Диагностические признаки: вибрация на частотах kf_0, амплитуды вибраций высших гармоник с ростом k быстро уменьшаются, наибольшая вибрация на частоте f_0, k ~ 3…4; обычно растет высокочастотная вибрация. При наличии вращающейся нагрузки может появляться вибрация $k_1 f_0 \pm k_2 f_r$ Причина вибрации - неравномерный износ отдельных участков поверхности, приводящий к изменению коэффициента трения и появлению модуляции ВЧ-вибрации частотой f_0. В процессе износа появляются локальные дефекты, которые могут «закатываться» (сглаживаться) в изношенный участок плавной формы

– Неравномерный износ внутреннего кольца. – Абразивный износ вследствие воздействия абразивных частиц или дефектов смазывания. – Естественный абразивный износ. – Локальные дефекты, закатанные (сглаженные) в участки с равномерным плавным отклонением формы поверхности относительно номинальной	kf_r	Рост ВЧ; kfi; амплитуды вибраций высших гармоник быстро убывают с ростом k

Диагностические признаки: вибрации на частотах kf_r , а также часто возникающие более низкие по уровню вибрации kf_i амплитуды вибраций высших гармоник с ростом k быстро уменьшаются, наибольшая вибрация на частоте f_r, $k \sim 2…4$; обычно растет высокочастотная вибрация. Причина вибрации - неравномерный износ отдельных участков поверхности, превышающий по длине расстояние между смежными телами качения, приводящий к изменению коэффициента трения и модуляции ВЧ-вибрации частотами kf_r и kf_i. В процессе износа появляются локальные дефекты, которые могут «закатываться» (сглаживаться) в изношенный участок плавной формы. Следует учитывать, что вибрация на частотах kf_r возникает и при перекосах, нарушениях жесткости, дефектах линии вала и муфты.



Проведение научно-исследовательской работы в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы.

Список литературы:

1. Костюк А.Г. Колебания паровых турбоагрегатов // Вибрации в технике: Справ. Т. 3. — М.: Энергоатомиздат, 1980. — 560 с.
2. Барков А.В., Баркова Н.А. Вибрационная диагностика машин и оборудования. Анализ вибрации: учебное пособие. – СПб.: СПбГМТУ,2004. – 156 с.
3. Неразрушающий контроль: справочник: в 7 т. / под общ. ред. В.В. Клюева. – М.: Машиностроение, 2005. – 829 с.
4. Ширман А. Р. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования. / А. Р. Ширман, А. Б. Соловьев – М.: - Библиогр., 1996.
5. Урьев Е. В. и др. Концепция и реализация систем технической диагностики энергетического оборудования. В сб.: Проблемы вибрации, виброналадки, вибромониторинга и диагностики оборудования электрических станций.//Под общей ред. А. В. Салимона – М.: ВТИ, 2001.

УДК 662.99

Использование энергетических возможностей климата для теплоснабжения зданий (применительно к Приморскому краю)

А.В. Мочалов, Р.С. Федюк
Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток, Россия
E-mail: levv14@mail.ru

Показана возможность применения системного подхода для вовлечения энергии наружного климата для отопления здангия и создания в нем оптимально заданного микроклимата.

Наружный климат, тепло земли, водные ресурсы, биомасса и т.д. являются источником энергии, поэтому следует предусмотреть возможность его использования при помощи тепловых насосов солнечных коллекторов, ветроэнергетических установок и т.п.

Методической основой для исследования энергетической способности наружного климата (тепла земли, водных ресурсов и т.д.) является статистическая обработка результатов метеорологических наблюдений. Про построении математической модели совокупности показателей наружного климата можно использовать, например, вероятностный или детерминированный подходы [1,2].

Детерминированный подход основан на использовании реального сочетания совокупности показателей наружного климата каждого географического пункта за многолетний период. Выбираются ежечасные и срочные показатели климата для данного географического пункта, собранные в архивах метеостанции за много лет. 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 этого на оси ординат наносят расчетные интервалы времени (шаги по времени), а на оси абсцисс – возможные (ожидаемые) значения выходного показателя. Анализ распределения частот появления выходного показателя позволяет визуально или 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. 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 характеристиками: двумя средними, двумя среднеквадратичными отклонениями и коэффициентом корреляции.

Известно, что интенсивность солнечной радиации, скорость и направление ветра, температура наружного воздуха изменяются в весьма широких пределах в зависимости от географического положения, орографии, микрорельефа местности и времени года [3].

Воздействие наружного климата на ограждающие конструкции здания целесообразно характеризовать метеорологическим градиентом, 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 различно ориентированных помещений, так что в результате совокупного действия ветра, солнечной радиации и температуры различно ориентированные помещения имеют существенно отличающиеся теплопотери или теплопоступления.

Анализ графиков изменения суточных сумм прямой солнечной радиации показывает, что эти значения существенно изменяются в годовом цикле, имея обратно пропорциональную зависимость, например, для восточной и южной ориентации. Основываясь на закономерностях поступления солнечной радиации и имея в виду, что в условиях современной мировой энергетической ситуации учет наилучшим образом в тепловом балансе здания тепла солнечной радиации приводит к значительному снижению эксплуатационных затрат, ведущие архитекторы мира разработали строгие правила проектирования зданий. Во-первых, они указывают, что в условиях современного индустриального строительства высотных зданий с большими площадями остекления и легкими ограждающими конструкциями недопустимо подражать старым мастерам. Во-вторых, каждый архитектор обязан знать, что каждому фасаду здания присуща своя структура, зависящая от относительного расположения солнца, тщательно рассчитанной тепловой солнечной нагрузки на здание и требований к оптимальной естественной освещенности интерьера. Однако правила, которые разработали архитекторы, не опираются на математические расчеты, содержащие закономерности учета направленного действия солнечной радиации на тепловой баланс здания [4].

Анализ закономерностей поступления тепла солнечной радиации на поверхности здания открывает большие возможности для уменьшения затрат энергии на отопление помещений в холодный период года.

Наряду с солнечной радиацией и температурой наружного воздуха, скорость и направление ветра относятся к числу важнейших, а часто и решающих факторов, оказывающих влияние на тепловой баланс здания.

Анализ температурно-ветровых особенностей Приморского края показывает, что с одной стороны имеют место существенные колебания температуры, скорости и направления ветра в холодный и теплый периоды года, с другой стороны, имеет место ярко выраженное преобладающее направление наиболее неблагоприятных температурно-ветровых воздействий. В Приморье в отличие от большинства районов России низкие температуры наружного воздуха устойчиво совпадают с господствующими ветрами определенного направления [5].

Задачу наилучшего учета положительного и нейтрализации отрицательного воздействия климата на здание необходимо рассматривать в двух аспектах. Во-первых в части разработки методики обработки климатической информации для целей строительного проектирования. Во-

вторых, в части выбора ориентации и габаритов здания, которые наилучшим образом учитывают положительное и уменьшает отрицательное воздействие наружного климата на его ограждения.

Список литературы:

1. Брайнина Е. Ю. Пути снижения теплопотерь крупнопанельных зданий. Научно-техническое общество строительной индустрии, материалы совещания. Тепловой режим жилых и общественных зданий из крупноразмерных элементов. Выпуск III. М., 1964.
2. Кондратьев К.Я., Пивоварова З.И., Федорова М.П. Радиационный режим наклонных поверхностей. – Л.: Гидрометеоиздат, 1978. – 170 с.
3. Мировая энергетика: прогноз развития до 2020 года. – М.: Энергия, 1980
4. Табунщиков Ю. А., Акопов Б. Л. Оценка энергетической эффективности наружного климата для зданий с нетрадиционными источниками теплоснабжения. Строительная климатология'87. 2-й международный симпозиум, 12-15 мая 1987. М., 1987.
5. Табунщиков Ю.А., Бродач М.М. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий. М. АВОК-ПРЕСС, 2002

УДК 621.643.001:536.2

Численное моделирование теплопереноса в зонах прокладки теплотрасс

В.Ю. Половников

Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

E-mail: polov@tpu.ru

Проведено численное исследование теплопереноса в зонах прокладки теплотрасс с использованием сопряженной кондуктивно-конвективно-радиационной модели переноса. Показаны масштабы влияния теплообмена излучением в полости канала теплопровода на тепловые потери и целесообразность применения предложенного подхода при моделировании тепловых режимов работы тепловых сетей.

Важнейшее направление энергосбережения в области теплоснабжения в современных условиях – это сокращение технологических потерь при передаче тепловой энергии потребителям [1]. При этом одним из ключевых условий, без которого не может быть достигнут необходимый результат, является оптимизация эксплуатационных режимов функционирования тепловых сетей.

Рассматривается наиболее типичный вариант прокладки тепловых сетей в РФ – подземный непроходной невентилируемый железобетонный канал и два трубопровода (подающий и обратный), изолированные минеральной ватой и защитным покровным слоем. Для рассматриваемой области решается двумерная сопряженная стационарная задача кондуктивно-конвективно-радиационного теплопереноса в системе «подземный канальный двухтрубный теплопровод – окружающая среда».

В предлагаемой постановке процесс переноса тепла в рассматриваемой области решения будет описываться следующими выражениями:

$$c\rho\left(w_x\frac{\partial T_4}{\partial x}+w_y\frac{\partial T_4}{\partial y}\right)=\lambda\left(\frac{\partial^2 T_4}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 T_4}{\partial y^2}\right), \tag{1}$$

$$w_x\frac{\partial w_x}{\partial x}+w_y\frac{\partial w_x}{\partial y}=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x}+\nu\left(\frac{\partial^2 w_x}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 w_x}{\partial y^2}\right), \tag{2}$$

$$w_x\frac{\partial w_y}{\partial x}+w_y\frac{\partial w_y}{\partial y}=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial y}+\nu\left(\frac{\partial^2 w_y}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 w_y}{\partial y^2}\right)+g\beta\left(T_4-T_7\right), \tag{3}$$

$$\frac{\partial w_x}{\partial x}+\frac{\partial w_y}{\partial y}=0, \tag{4}$$

$$\frac{\partial^2 T_{i,\text{п}}}{\partial x^2}+\frac{1}{x}\frac{\partial T_{i,\text{п}}}{\partial x}+\frac{1}{x^2}\frac{\partial^2 T_{i,\text{п}}}{\partial \Theta^2}=0, \quad i=2,\,3, \tag{5}$$

$$\frac{\partial^2 T_{i,\text{о}}}{\partial x^2}+\frac{1}{x}\frac{\partial T_{i,\text{о}}}{\partial x}+\frac{1}{x^2}\frac{\partial^2 T_{i,\text{о}}}{\partial \Theta^2}=0, \quad i=2,\,3, \tag{6}$$

$$\frac{\partial^2 T_i}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_i}{\partial y^2} = 0\,,\ i=5,\ 6, \tag{7}$$

$$T_{2,\text{п}} = T_{\text{п}} = \text{const}\,, \tag{8}$$

$$T_{2,\text{о}} = T_{\text{о}} = \text{const}\,., \tag{9}$$

$$-\lambda_6 \frac{\partial T_6}{\partial y} = \alpha\left(T_6 - T_7\right), \tag{10}$$

$$\lambda_i \frac{\partial T_i}{\partial x} = \lambda_j \frac{\partial T_j}{\partial x}, \quad T_i = T_j\,, \qquad i, j=4,\ 5,\ 6,\ i\neq j, \tag{11}$$

$$\lambda_i \frac{\partial T_i}{\partial y} = \lambda_j \frac{\partial T_j}{\partial y}, \quad T_i = T_j\,, \qquad i, j=4,\ 5,\ 6,\ i\neq j, \tag{12}$$

$$\lambda_i \frac{\partial T_{i,\text{п}}}{\partial x} = \lambda_j \frac{\partial T_{j,\text{п}}}{\partial x}, \quad T_i = T_j\,, \qquad i, j=2,\ 3,\ i\neq j, \tag{13}$$

$$\lambda_i \frac{\partial T_{i,\text{п}}}{\partial y} = \lambda_j \frac{\partial T_{j,\text{п}}}{\partial y}, \quad T_i = T_j\,, \qquad i, j=2,\ 3,\ i\neq j, \tag{14}$$

$$\lambda_i \frac{\partial T_{i,\text{о}}}{\partial x} = \lambda_j \frac{\partial T_{j,\text{о}}}{\partial x}, \quad T_i = T_j\,, \qquad i, j=2,\ 3,\ i\neq j, \tag{15}$$

$$\lambda_i \frac{\partial T_{i,\text{о}}}{\partial y} = \lambda_j \frac{\partial T_{j,\text{о}}}{\partial y}, \quad T_i = T_j\,, \qquad i, j=2,\ 3,\ i\neq j, \tag{16}$$

$$\lambda_3 \frac{\partial T_{3,\text{п}}}{\partial x} = \lambda_4 \frac{\partial T_{4,\text{п}}}{\partial x} + \varepsilon_{\text{пр}}\sigma\left(T_{4,\text{п}}^4 - T_5^4\right), \quad T_{3,\text{п}} = T_{4,\text{п}}\,, \tag{17}$$

$$\lambda_3 \frac{\partial T_{3,\text{о}}}{\partial x} = \lambda_4 \frac{\partial T_{4,\text{о}}}{\partial x} + \varepsilon_{\text{пр}}\sigma\left(T_{4,\text{о}}^4 - T_5^4\right), \quad T_{3,\text{о}} = T_{4,\text{о}}\,, \tag{18}$$

$$\frac{\partial T_{i,\text{п}}}{\partial \Theta} = 0\,, \qquad i=2,\ 3, \tag{19}$$

$$\frac{\partial T_{i,\text{о}}}{\partial \Theta} = 0\,, \qquad i=2,\ 3, \tag{20}$$

$$\frac{\partial T_6}{\partial x} = 0, \quad x \to \pm\infty\,, \tag{21}$$

$$\frac{\partial T_6}{\partial y} = 0, \quad y \to -\infty\,, \tag{22}$$

$$w_x = w_y = 0\,. \tag{23}$$

Обозначения: T – температура, К; x, y, Θ – координаты; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К); c – теплоемкость, Дж/(кг·К); ρ – плотность, кг/м^3; p – давление, Па; w_x, w_y – составляющие скорости в проекции на оси координат, м/с; ν – кинематическая вязкость, м^2/с; g – ускорение силы тяжести, м/с^2; β – коэффициент температурного расширения, К$^{-1}$; α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м^2·К); ε – степень черноты; σ=5.67·10^{-8} Вт/(м^2·К^4) – постоянная Стефана – Больцмана; 1 – металлическая стенка трубы;2 – слой тепловой изоляции; 3 – покровный слой; 4 – полость канала; 5 – железобетонная стенка канала; 6 – грунт; 7 – окружающая среда; п, о – подающий и обратный трубопроводы соответственно, пр – приведенный.

Задача (1)–(23) решена методом конечных элементов [2] с использованием аппроксимации Галеркина [2]. Исследования проводились на неравномерной конечно-элементной сетке, имеющей 112993 узлов и состоящей из 19484 элементов. Воздушная полость канала (рисунок 1) содержала 73898 узла и 16163 элемента.

Исследования проводились для трубопроводов с диаметрами условного прохода 600 мм, изолированных минеральной ватой (толщина 70 мм) [3]. Покровный слой – песчанно-цементная штукатурка по каркасу из металлической сетки толщиной 20 мм [3]. Рассматривался типичный для тепловых сетей РФ сборный железобетонный канал марки КЛс 210-210 [3] с толщиной стенок 135 мм. Полость канала занимал воздух с относительной влажностью 90 %. Расстояние от поверхности грунта до верхней части канала составляло 1 метр.

Температуры внутренних поверхностей слоев тепловой изоляции подающего и обратного трубопроводов принималась $T_п$=363 К и $T_о$=323 К и соответствовали среднегодовым температурам теплоносителя в подающих и обратных трубопроводах водяных тепловых сетей при их работе по одному из основных температурных графиков – 150/70 °С. Температура окружающей среды во всех вариантах численного анализа принималась равной средней температуре воздуха за отопительный период в городе Томск – T_7=264,2 К. Значение коэффициента теплоотдачи от грунта к окружающей среде составляло α=5 Вт/(м^2·К).

В таблице 1 приведены значения теплофизических характеристик тепловой изоляции, покровного слоя, стенок канала и грунтов, использованные при проведении численных исследований тепловых потерь рассматриваемой системы.

Таблица 1. Теплофизические характеристики материалов

Материал	Тепловая изоляция	Покровный слой	Стенка канала	Грунт				
				Глинистый		Песчаный		Суглинок с массовой влажностью 42 %
				Талый	Мерзлый	Талый	Мерзлый	
λ, Вт/(м·К)	0,059	0,87	1,54	1.1	1.3	2.3	3.7	1.5
c, Дж/(кг·К)	670	837	887	1231	959	1486	1005	1150
ρ, кг/м3	206	1750	2200	1700	1700	2000	2000	1960
ε	–	0,8	0,85	–	–	–	–	–

В таблице 2 приведены величины тепловых потерь рассматриваемого теплопровода с учетом Q_2 и без учета Q_1 теплового излучения. Так же в таблице 2 представлен расчет тепловых потерь $Q_{сп}$ с использованием действующих правил по проектированию тепловой защиты трубопроводов тепловых сетей [4] для конфигурации теплопровода соответствующей рассматриваемой системе.

Таблица 2. Результаты расчета тепловых потерь рассматриваемой системы

Грунт		Q_1, Вт/м	Q_2, Вт/м	$\frac{Q_2 - Q_1}{Q_2} \cdot 100\%$	$\frac{Q_2 - Q_{сп}}{Q_2} \cdot 100\%$	$Q_{сп}$, Вт/м
Глинистый	Талый	158.90	165.84	4.18	10.77	147.98
	Мерзлый	168.12	175.30	4.09	9.82	158.09
Песчаный	Талый	195.69	203.44	3.81	7.13	188.94
	Мерзлый	213.36	221.34	3.60	5.57	209.01
Суглинок с массовой влажностью 42 %		175.64	183.01	4.03	9.06	166.42

Результаты расчета тепловых потерь, приведенные в таблице 2, свидетельствуют о том, что учет теплообмена излучением в полости канала теплопровода приводит к увеличению расчетных значений тепловых потерь на 3,60–4.18 % в зависимости от теплофизических характеристик грунта в зоне прокладки. Расхождение между результатами расчета Q_2 и $Q_{сп}$ составляет величину до 10.77 %, что подтверждает необходимость перехода к сопряженным постановкам задач при проведении исследований тепловых режимов и тепловых потерь систем транспортировки тепла и возможность усовершенствования действующих правил [4] по проектированию тепловой изоляции трубопроводов тепловых сетей, проложенных канальным способом.

Следует отметить, что наименьшее отклонение между результатами расчетов Q_2 и $Q_{сп}$ (таблица 2) соответствует прокладке теплопровода в мерзлых грунтах, что позволяет сделать

вывод о том, что методика расчета [4] дает наиболее корректные значения тепловых потерь при прокладке тепловых сетей в грунтах, имеющих достаточно высокую теплопроводность.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ (проект № МК-1284.2011.8).

Список литературы:

1. Бытенский О.М. Энергосбережение в тепловых сетях систем теплоснабжения // Энергетик. 2009. № 5. С. 25–28.
2. Самарский А. А., Гулин А. Н. Численные методы математической физики. М.: Научный мир, 2000. 316 с.
3. Справочник проектировщика. Проектирование тепловых сетей. / Под ред. А. А. Николаева. Курган: Интеграл, 2010. 357 с.
4. СП 41-103-2000. Проектирование тепловой изоляции оборудования и трубопроводов. М.: Госстрой России, 2001. 42 с.

УДК 622.691

Анализ тепловых и гидравлических характеристик аппаратов воздушного охлаждения природного газа

Е.С. Попков, С.В. Голдаев
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия
E-mail: roombo@yandex.ru

С помощью разработанной программы в среде Turbo Pascal был осуществлен параметрический анализ тепловых и гидравлических характеристик аппаратов воздушного охлаждения (АВО) природного газа, который позволит выбрать теплообменный аппарат с наибольшим коэффициентом энергетической эффективности.

Охлаждение природного газа является неотъемлемой частью технологического процесса при его транспортировке по магистральным газопроводам (МГ). В процессе сжатия газа на компрессорных станциях (КС) его температура достигает 75 °С. Высокая температура газа приводит к увеличению мощности на транспортировку, уменьшению пропускной способности газопровода, снижению долговечности газотранспортной системы [1]. Для устранения отмеченных недостатков КС оснащают аппаратами воздушного охлаждения, которые имеют ряд преимуществ перед другими типами теплообменных аппаратов: не требуют предварительной подготовки теплоносителей, надежны в эксплуатации, экологически чисты, имеют простые схемы подключения.

Определение тепловых и гидравлических характеристик АВО необходимо при поверочных расчетах, особенно в условиях изменения режимов эксплуатации на КС. Расчет таких характеристик, даже по инженерным методикам, представляет собой трудоемкую процедуру. Используются громоздкие формулы, привлекаются табличные данные для теплофизических свойств газа и воздуха, а так же номограммы для определения поправок в расчет температурного напора. Все это снижает точность расчета [2].

В разработанной программе использовались аппроксимационные формулы для теплофизических свойств воздуха [3], а для природного газа – интерполяционный многочлен Лагранжа второй степени [4]. Посредством эксплуатации этой программы был осуществлен параметрический анализ влияния начальных температур и физических свойств теплоносителей, интенсивности и площади теплообмена на значения конечных температур, количества переданной теплоты, а так же эффективности аппарата.

Расчеты выполнялись при давлении природного газа 5,5 МПа и 7,5 МПа, массовые расходы газа через один аппарат варьировались в диапазоне от 20 кг/с до 100 кг/с и значениях разности температур газа и воздуха на входе в АВО от 0 °С до 90 °С.

На рис. 1 представлены зависимости коэффициента теплопередачи K от режимных параметров для различных марок АВО. Анализ результатов расчетов показал, что коэффициент теплопередачи незначительно зависит от температур природного газа и воздуха на входе в аппарат (рис. 1 а). С увеличением массового расхода газа темп роста коэффициента теплопередачи гораздо существеннее (рис. 1 б).

Расчеты показали, что коэффициент теплопередачи также мало зависит и от давления природного газа. Так, для АВО фирмы «Крезо-Луар» при расходе газа 40 кг/с и давлении 5,5 МПа, температурах газа и воздуха на входе в аппарат 50 и -10 °С – K=17 Вт/(м^2·К), а при том же расходе и температурах на входе в аппарат, но давлении 7,5 МПа – K=16,8 Вт/(м^2·К). Поэтому с малой

погрешностью можно считать, что коэффициент теплопередачи зависит только от расхода газа через АВО.

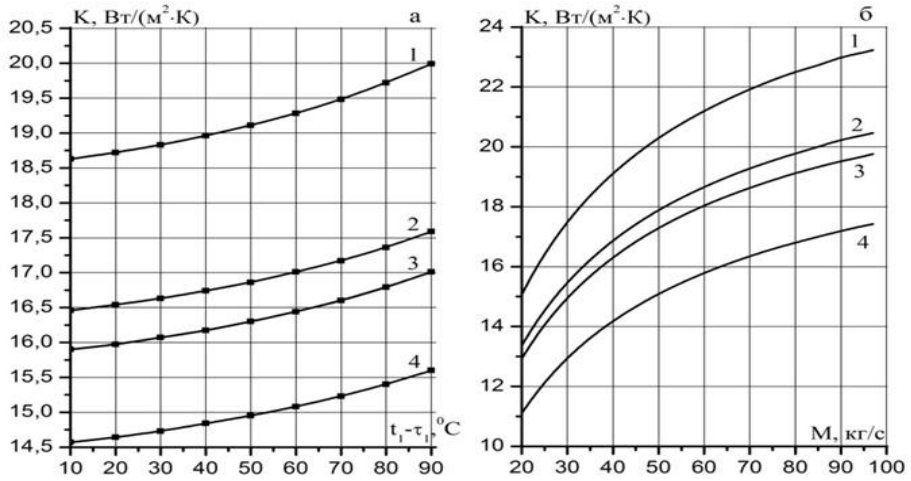


Рис. 1. Коэффициент теплопередачи различных типов АВО в зависимости от расхода газа и разности температур между газом и воздухом:
1 – 2АВГ-75С; 2 – «Крезо-Луар»; 3 – «Хадсон»; 4 – АВЗ

На рис. 2 представлена зависимость теплопроизводительности Q, мощности N, затрачиваемой на прокачку теплоносителя, коэффициента энергетической эффективности E от массового расхода газа при постоянных температурах природного газа и воздуха на входе в АВО фирмы «Крезо-Луар». Количество теплоты и затраты мощности на прокачку теплоносителя значительно изменяются в зависимости от расхода газа, причем интенсивность теплообмена выше, чем темп нарастания мощности. В результате чего значения E возрастают, а начиная с некоторого расхода газа темп нарастания гидравлических сопротивлений превышает темп роста теплообмена и происходит уменьшение коэффициента E. Это объясняется тем, что тепловой поток и коэффициент теплоотдачи пропорциональны скорости газа, в то время как гидравлические сопротивления и затраты мощности пропорциональны квадрату скорости.

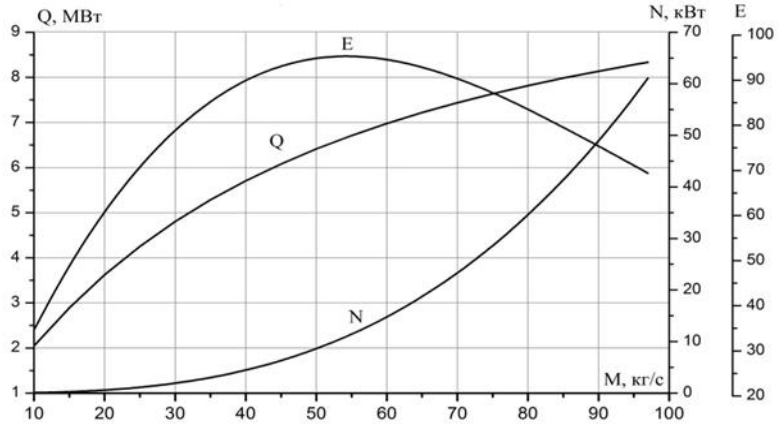


Рис. 2. Изменение теплопроизводительности, затрат мощности на прокачку газа, энергетического коэффициента в зависимости от расхода газа

Наиболее выгодным с этой точки зрения считается аппарат, имеющий $E = E_{max}$, причем для каждого типа теплообменного аппарата существует расход газа, для которого коэффициент E наибольший. Из рис. 2 видно, что оптимальный расход газа для АВО фирмы «Крезо-Луар» составляет 55 кг/с при котором E_{max}=95.

Влияние расхода газа и условий охлаждения (температуры газа на входе в АВО и температуры наружного воздуха) на изменение коэффициента E представлены на рис. 3. Расчет проводился при постоянной температуре газа на входе в аппарат t_1=50 °С, температура наружного воздуха τ_1 варьировалась от -30 до 40 °С, а расход газа изменялся от 20 до 90 кг/с. Анализ результатов расчетов показал, что при увеличении разности температур (t_1- τ_1) между газом и

воздухом, коэффициент энергетической эффективности значительно возрастает при переменном расходе природного газа и появляются участки для *M*, где *E* достигает максимальных значений.

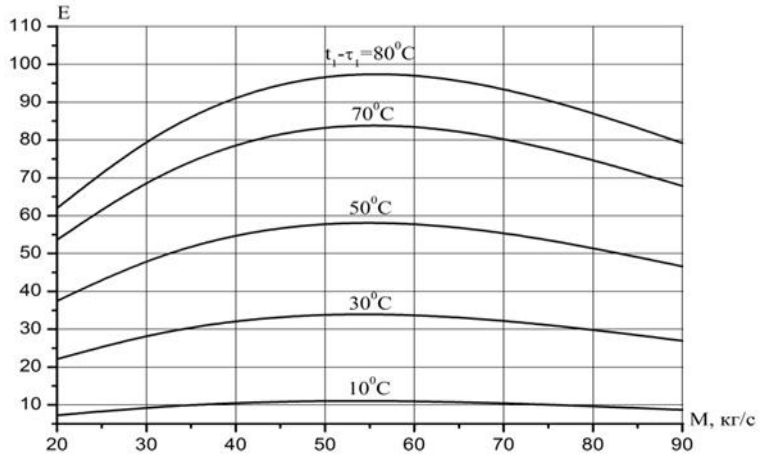


Рис. 3. Изменение энергетического коэффициента в зависимости от расхода газа и температурного напора

На рис. 4 представлено изменение теплового потока в зависимости от разности температур между газом и воздухом при разных расходах газа.

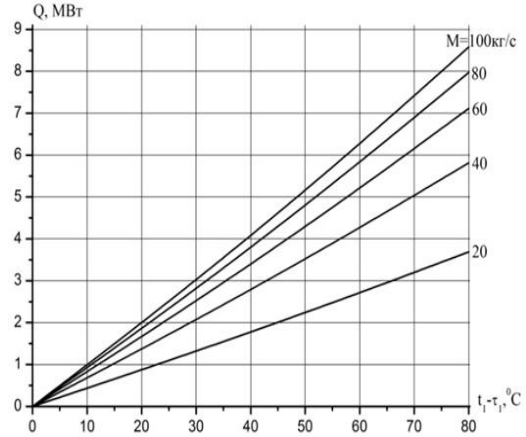


Рис. 4. Изменение теплового потока в зависимости от разности температур между газом и воздухом при разных расходах газа

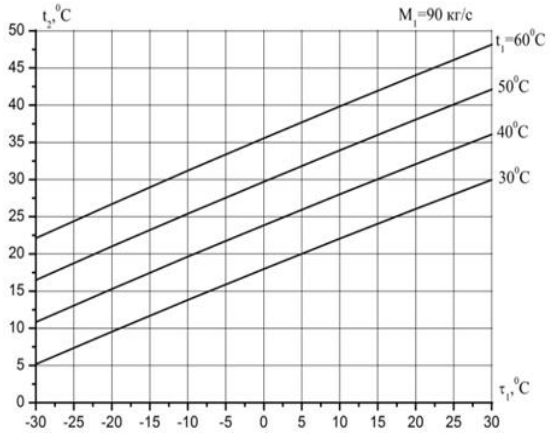


Рис. 5. Влияние температуры газа и воздуха на входе в АВО на температуру газа на выходе из аппарата

На основании этих же расчетов построен график, при помощи которого при заданных температурах наружного воздуха и природного газа на входе в аппарат можно определить температуру газа на выходе из АВО фирмы «Крезо-Луар» (рис. 5), что позволит обслуживающему персоналу КС оперативно управлять температурным режимом транспорта газа, а также поддерживать заданную t_2 на выходе из АВО. Все это дает возможность снизить энергетические затраты на охлаждение газа.

Проделанный параметрический анализ позволит быстро выбрать оптимальный тип теплообменного аппарата с наибольшим коэффициентом энергетической эффективности, что весьма важно, особенно для северных районов.

Список литературы:

1. Бахмат Г.В., Еремин Н.В., Степанов О.А. Аппараты воздушного охлаждения газа на компрессорных станциях. – СПб.: Недра, 1994.
2. Степанов О.А., Ли В.Л. Тепловой и гидравлический расчет теплообменного аппарата воздушного охлаждения: Методические указания. – Тюмень: ТюмГАСА, 2002.
3. Бажан П.И., Каневец Г.Е., Селиверстов В.М. Справочник по теплообменным аппаратам. – М.: Машиностроение, 1989.
4. Голдаев С.В. Практикум по надежности и оптимизации систем теплоэнергоснабжения: Учебное пособие. – Томск. Издательство ТПУ, 2005.

Результаты моделирования распределения топливозоловых частиц в низкотемпературной вихревой топке.

Л.Ю. Родина, Б.В. Лебедев
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия
E-mail: rodina_lubov@sibmail.com

Рассмотрен котле БКЗ-220-100, реконструированный в 2003 г. на низкотемпературную вихревую технологию сжигания подмосковного бурого угля. С помощью метода математического моделирования получено распределение массовых концентраций твердых частиц в нижней части НТВ-топки. Представлена зависимость массы коксовых частиц от скорости горелочного дутья. Сделан вывод о том, что максимальные значения массы золовых частиц приходятся на скорость горелочного дутья равную 15 м/с при скорости нижнего дутья 10 м/с.

Котельный агрегат БКЗ-220-100, изготовленный на Барнаульском котельном заводе, реконструирован на низкотемпературную вихревую (НТВ) технологию для сжигания подмосковного бурого угля в 2003 году. Применение нового НТВ способа сжигания позволяет снизить температуру в топке, угрубить помол угольной пыли, увеличить время пребывания частиц в топке за счет многократной циркуляции в вихре с горизонтальной осью вращения, а также обеспечить устойчивое воспламенение и горение топливо без подсветки газом и мазутом.

Схема пылеприготовления рассматриваемой котельной установки – индивидуальная, с прямым вдуванием. Установлены 4 молотковых мельницы ММТ 1300/2030/735 с инерционными сепараторами пыли, сушильным агентом является горячий воздух. Работа системы пылеприготовления осуществляется под избыточным давлением 200 мм вод. ст. Для поступления пылевоздушной смеси в топку котельного агрегата предусмотрена установка 8 устройств подачи пылевоздушной смеси на нижней образующей фронтового выступа [1]. Горелки повернуты вниз под углом 45° к горизонту. Крайние устройства подачи пылевоздушной смеси повернуты к центру в горизонтальной плоскости на угол 5°. Смесь топлива и первичного воздуха подается через центральный канал горелки, вторичный воздух подается по периферии.

При исследовании режимных параметров на основе математического моделирования [2] получено распределение массовых концентраций топливозоловых частиц в нижней части топки, которые представлены на рисунках 1а, 1б, 1в, 1г, где можно выделить зоны максимальных и минимальных концентраций.

Движение топливозоловых частиц в вихревой зоне определяется уровнем скоростей в горелках (первичное и вторичное дутье) и нижнего дутья (в устье холодной воронки). Под действием центробежных сил вихря и силы тяжести формируется повышенная концентрация по направлению горелочных струй к заднему экрану и на обеих скатах холодной воронки. Центральная часть вихря имеет застойную зону обеднена твердыми частицами.

При исследовании исходная пыль по фракционному составу была разделена на пыль крупного, среднего и мелкого помола [3].

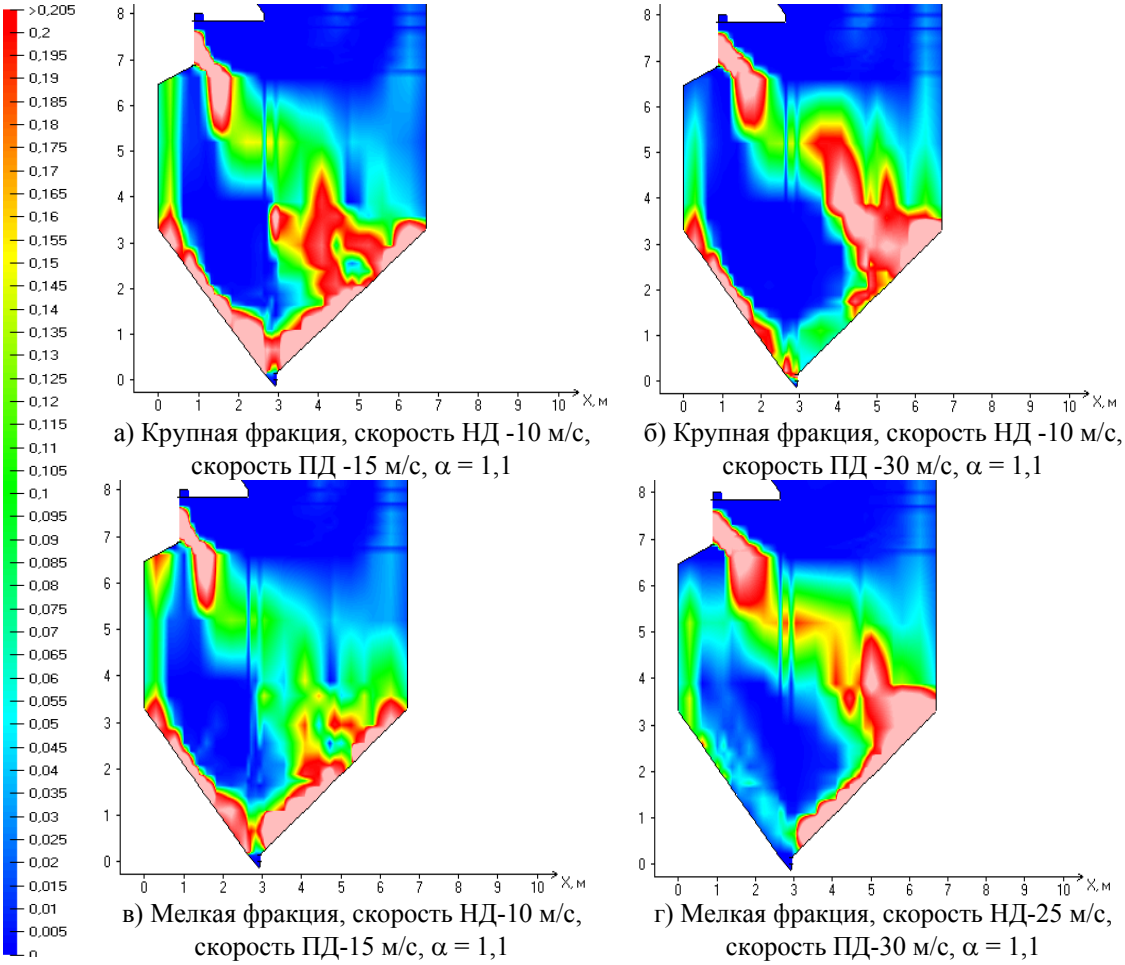
На рисунке 1 показаны распределения топливозоловых частиц в НТВ топке для различной тонины помола топлива в продольном сечении по оси горелок.

При анализе рисунков 1а можно наблюдать, что концентрация частиц топлива имеет максимальное значение на выходе из горелки, на заднем скате холодной воронки, на фронтовом скате холодной воронки, на вертикальном участке фронтового ската и находится в промежутке с концентрацией от 0,14 кг/кг до 0,205 кг/кг. Наименьшая концентрация частиц топлива находится в центре вихревого потока и выше уровня горелок находится в промежутке с концентрацией от 0 кг/кг до 0,07 кг/кг. Для крупной фракции с увеличением скорости нижнего дутья концентрация возрастает по всему вихревому потоку. При увеличении скорости нижнего дутья и первичного дутья концентрация в вихревом потоке снижается, так как наблюдается вынос частиц в прямоточную часть факела.

Для мелкой фракции наибольшая концентрация для нижнего дутья со скоростью 10 м/с находится на заднем скате холодной воронки, на выходе из горелки и на фронтовом скате холодной воронки и составляет от 0,14 кг/кг до 0,205 кг/кг. Наименьшая концентрация частиц топлива находится в центре вихревого потока и выше уровня горелок находится в промежутке с концентрацией от 0 кг/кг до 0,07 кг/кг. Для нижнего дутья со скоростью 25 м/с находится на заднем скате холодной воронки, на выходе из горелки и на вертикальном участке фронтового ската и составляет от 0,14 кг/кг до 0,205 кг/кг. Наименьшая концентрация частиц топлива

находится в центре вихревого потока и выше уровня горелок находится в промежутке с концентрацией от 0 кг/кг до 0,07 кг/кг.

Если сравнивать характеристики концентраций для разных размеров частиц, то видно, что наилучшее вихревое движение потока будет при крупной фракции частиц, что способствует лучшему их выгоранию, чем для мелкой фракции. Для последнего случая частицы будут потоком газов выноситься вверх, так как они имеют меньшую массу относительно крупной фракции.



а) Крупная фракция, скорость НД -10 м/с, скорость ПД -15 м/с, α = 1,1

б) Крупная фракция, скорость НД -10 м/с, скорость ПД -30 м/с, α = 1,1

в) Мелкая фракция, скорость НД-10 м/с, скорость ПД-15 м/с, α = 1,1

г) Мелкая фракция, скорость НД-25 м/с, скорость ПД-30 м/с, α = 1,1

Рис. 1. Концентрация твердых частиц в нижней части НТВ топки

Концентрация твердых частиц в вихревой зоне больше при более грубой исходной пыли.

При изучении аэродинамической картины топочной камеры важную роль играет концентрация твердых частиц, которая представлена в виде графика зависимости массы частиц в топке от скорости горелочного дутья на рисунке 2.

Содержание массы твердых частиц (рисунок 2) по высоте топки изменяется от 289 кг до 204 кг на выходе из топки. Максимальная масса твердых частиц для первого варианта достигается при скорости горелочного дутья 15 м/с и составляет 289 кг. Сначала масса твердых частиц падает с 289 кг до 225 кг при скорости 20 м/с. Затем масса изменяется от 225 кг до 238 кг.

Содержание минеральной части по высоте топки изменяется от 240 кг до 166 кг на выходе из топки. Максимальная минеральной части для первого варианта достигается при скорости горелочного дутья 15 м/с и составляет 240 кг. Сначала минеральной части падает с 240 кг до 166 кг при скорости 15 м/с. Затем масса изменяется от 166 кг до 144 кг.

Содержание массы коксовых частиц по высоте топки изменяется от 48 кг до 72 кг на выходе из топки. Максимальная массы коксовых частиц для первого варианта достигается при скорости горелочного дутья 15 м/с и составляет 72 кг. Минеральной части падает с 72 кг до 59 кг при скорости 25 м/с.

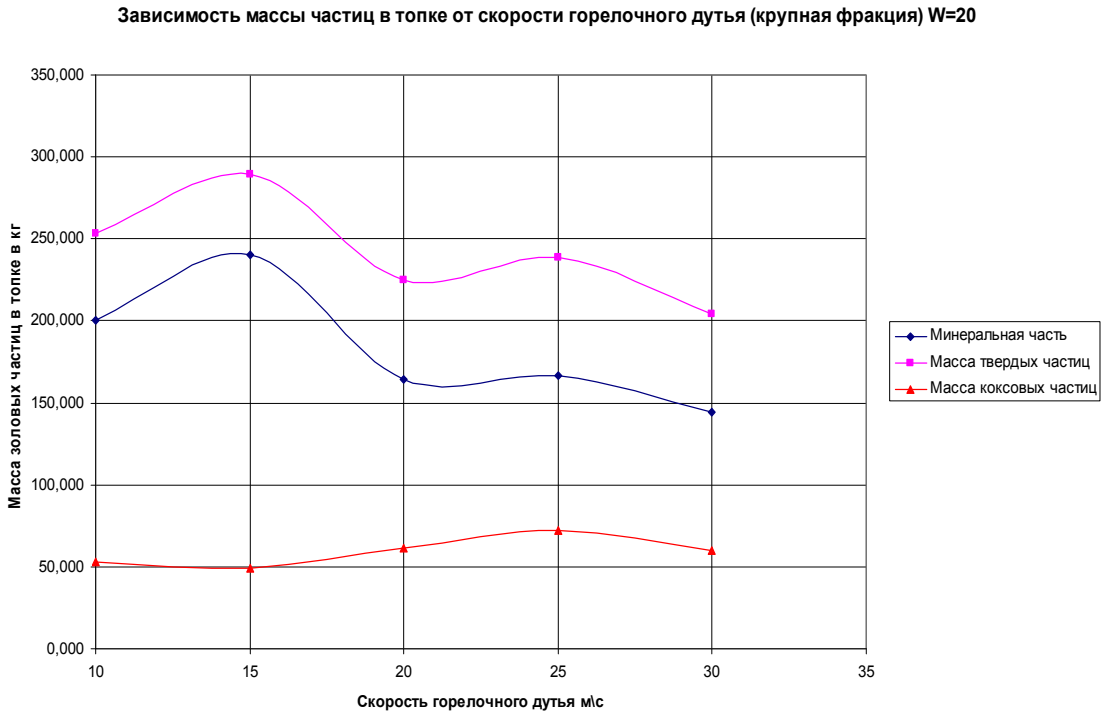


Рис 2. Зависимость массы коксовых частиц в топке от скорости горелочного дутья при НД-10

Максимальное значение массы твердых частиц в топке приходятся на скорость горелочного дутья равную 15 м/с при скорости нижнего дутья 10м/с. Масса топривозоловых частиц в топке задается исходным фракционным составом пыли и зависит от аэродинамики в нижней части топки, которая определяется соотношением скоростей горелочного и нижнего дутья.

Список литературы:

1. Лебедев Б.В. Заворин А.С. Распределение минеральной части угля в горизонтальном вихревом низкотемпературном факеле// Известия Томского политехнического университета.-2009.-№5, Том 315 -С.15-20
2. Бубенчиков А.М., Старченко А.В., Численные модели динамики и горения аэродисперсных смесей в каналах. Томск: Изд. Том. ун-та, 1998. – 236 с.
3. Родина Л.Ю., Лебедев Б.В. Оценка роли влияния фракционного состава пыли на процессы а НТВ топке. XVII Международная научно-практическая конференция студентов и молодых учёных «Современные техника и технологии» (СТТ-2011). Томск: ТПУ, 2001.

УДК 620.9:662.92; 658.264

Оценка энергоэффективности системы централизованного теплоснабжения

А.А. Середкин

Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия

E-mail: aleksandr-ns@mail.ru

Показана возможность расчета энергоэффективности объектов комплекса «ТЭЦ-Потребитель». Приведены критерии оценки энергоэффективности рассматриваемого комплекса. Сформулированы предложения по повышению энергоэффективности комплекса.

Комплексная оценка энергоэффективности комплекса «ТЭЦ-Потребитель» не возможна без организации учета тепла у подавляющего числа потребителей. При полноценной организации учета тепла у потребителей для оценки энергоэффективности комплекса «ТЭЦ-Потребитель» можно предложить комплексные критерии оценки энергоэффективности рассматриваемого

комплекса - КПД комплекса «ТЭЦ-Потребитель» и удельный расход условного топлива на полезно использованную теплоту у потребителя.

Расчетный КПД комплекса «ТЭЦ-Потребитель» по использованию тепла:

$$\eta_{ТЭЦ-ПОТР}^{РАСЧ} = \frac{Q_{П}^{РАСЧ}}{b_{Т}^{РАСЧ} \cdot Q_{Т}^{РАСЧ} \cdot Q_{Н}^{Р}} = \frac{Q_{П}^{РАСЧ}}{b_{Т}^{РАСЧ} \cdot Q_{Т}^{РАСЧ} \cdot 8{,}14}.$$

Фактический КПД комплекса «ТЭЦ-Потребитель» по использованию тепла:

$$\eta_{ТЭЦ-ПОТР}^{ФАКТ} = \frac{Q^{ФАКТ}}{b_{Т}^{ФАКТ} \cdot Q_{Т}^{ФАКТ} \cdot Q_{Н}^{Р}} = \frac{Q^{ФАКТ}}{b_{Т}^{ФАКТ} \cdot Q_{Т}^{ФАКТ} \cdot 8{,}14},$$

где: $Q_{П}^{РАСЧ}$ - расчетное теплопотребление, $МВт \cdot ч$, определяется как сумма расчетных значений количества тепловой энергии на нужды отопления, вентиляции и горячего водоснабжения зданий за рассматриваемый период и продолжительности рассматриваемого периода (месяц, отопительный период, год); $Q^{ФАКТ}$ - количество теплоты, доведенной до потребителя, $МВт \cdot ч$, определяемое по показаниям приборов учета тепловой энергии у потребителей за рассматриваемый период (при 100 % оснащенности системами учета тепловой энергии); $b_{Т}^{РАСЧ}, b_{Т}^{ФАКТ}$ - расчетный и фактический удельный расход условного топлива на отпуск тепловой энергии на ТЭЦ, $\frac{т}{МВт \cdot ч}$; $b_{Т}^{РАСЧ}$ - определятся как средний нормативный и $b_{Т}^{ФАКТ}$ как средний фактический за рассматриваемый период; $Q_{Т}^{РАСЧ}$ - расчетное количество теплоты отпущенной с ТЭЦ, $МВт \cdot ч$, по графику отпуска тепла с ТЭЦ за рассматриваемый период; $Q_{Т}^{ФАКТ}$ - фактическое количество теплоты отпущенной с ТЭЦ, $МВт \cdot ч$,определяется по показаниям приборов учета тепловой энергии на ТЭЦ за рассматриваемый период; $Q_{Н}^{Р}$ =8,14 – низшая теплота сгорания условного топлива, $\frac{МВт \cdot ч}{т}$.

Расчетный удельный расход условного топлива на полезно использованную теплоту у потребителя, $\frac{т}{МВт \cdot ч}$,

$$b_{ТЭЦ-ПОТР}^{РАСЧ} = \frac{1}{Q_{Н}^{Р} \cdot \eta_{ТЭЦ-ПОТР}^{РАСЧ}} = \frac{b_{Т}^{РАСЧ} \cdot Q_{Т}^{РАСЧ}}{Q_{П}^{РАСЧ}},$$

Фактический удельный расход условного топлива на полезно использованную теплоту у потребителя, $\frac{т}{МВт \cdot ч}$,

$$b_{ТЭЦ-ПОТР}^{ФАКТ} = \frac{1}{Q_{Н}^{Р} \cdot \eta_{ТЭЦ-ПОТР}^{ФАКТ}} = \frac{b_{Т}^{ФАКТ} \cdot Q_{Т}^{ФАКТ}}{Q^{ФАКТ}},$$

где: $Q_{Н}^{Р}$ = 8,14 – низшая теплота сгорания условного топлива, $\frac{МВт \cdot ч}{т}$;

На основании разницы значений $b_{ТЭЦ-ПОТР}^{ФАКТ}$ и $b_{ТЭЦ-ПОТР}^{РАСЧ}$ при низкой энергоэффективности комплекса, определяется потенциал энергосбережения путем расчета величины перерасхода топлива на ТЭЦ, *т*,

$$\Delta B = (b_{ТЭЦ-ПОТР}^{ФАКТ} - b_{ТЭЦ-ПОТР}^{РАСЧ}) \cdot Q^{ФАКТ}.$$

Для повышения энергоэффективности рассматриваемого комплекса «ТЭЦ-Потребитель» города Читы можно предложить следующие направления работы:

1. Организация учета тепловой энергии на вводах в существующие здания, в новостройках дополнительно предусматривать проектом поквартирный учет;

2. Проведение энергоаудита как можно большего числа потребителей тепла, особенно в бюджетной сфере;
3. Составление и регулярное обновление энергетических паспортов новостроек и существующих зданий, с указанием фактических классов энергоэффективности;
4. Постепенная модернизация ограждающих конструкций существующих зданий с целью повышения класса их энергоэффективности (капитальный ремонт с утеплением, устройство вентилируемых фасадов и т.п.);
5. Установка систем автоматического регулирования и модернизация теплообменного оборудования систем ГВС у потребителей тепла;
6. Устранение утечек сетевой воды и сверхнормативных потерь тепла через изоляцию в тепловых сетях;
7. Повышение КПД основного и вспомогательного оборудования ТЭЦ и котельных, увеличение доли комбинированной выработки электроэнергии.

Таким образом, реализация вышеназванных мероприятий позволит практически полностью исключить сверхнормативные потери тепла. Дальнейший рост тарифов на тепловую энергию создаст потребителям экономические стимулы к энергосбережению. С теплоснабжающих же организаций, будет необходимо требовать выдерживать расчетные критерии энергоэффективности в комплексе с оптимальными тарифами для потребителей. Контроль в этом вопросе за теплоснабжающими организациями могут выполнять соответствующие энергонадзорные структуры ответственные за энергосбережение.

УДК 536.2, 622.692.4.058

Моделирование нестационарной температуры теплоносителя в трубопроводе с разрушенными участками тепловой изоляции

О.С. Симонова, В.С. Логинов

Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Скорость коррозионных процессов в трубопроводах тепловых сетей во многом зависит от выбора основного конструкционного материала стали от низколегированных до высоколегированных. При эксплуатации трубных систем в результате термических и физико-химических воздействий возникают фазовые превращения, которые изменяют свойства сталей и приводят к резкой неоднородности внутренних зональных напряжений. Статистика повреждений труб котлов свидетельствует [1]: дефект металла – 25%, дефекты изготовления – 20%, термоусталостной коррозии -20%, газовой коррозии – 20%, тепловому перегреву из-за нарушения водно-химического режима и отложений -15%. За 20-30 тыс.часов эксплуатации температура труб повышается на 80 -100 ^{O}C, и при температурах 540 – 550 ^{o}C происходит образование продольных коррозионно-усталостных трещин и свищей при плотности тепловых потоков 30 -40 Вт/см^2 [2, 3]. В [4] решена стационарная задача конвективного переноса теплоты теплоносителем в трубопроводе с антикоррозионным покрытием с учетом теплопередачи в окружающую среду.

Точное аналитическое решение нестационарной задачи конвективного теплообмена:

$$\frac{d\vartheta}{d\tau} + u\frac{d\vartheta}{dx} = -B\upsilon(x,\tau), \qquad \tau > 0,\ 0 < x < L; \tag{1}$$

начальное условие

$$\vartheta(\tau = 0, x) = \vartheta_н, \tag{2}$$

граничное условие

$$\vartheta(\tau, x = 0) = \vartheta_0 \tag{3}$$

получить методом разделения переменных Фурье или интегральным преобразованием Лапласа затруднительно.

Здесь приняты следующие обозначения

$$\vartheta(x,\tau) = T(x,\tau) - T_{ж},$$

$T(x,\tau)$, $T_{ж}$ - соответственно температуры теплоносителя и окружающей трубопровод среды, К;

$B = \dfrac{4k}{c_p \rho d_1}$, k - коэффициент теплопередачи, Вт/(м^{2}К); c_p - удельная массовая изобарная теплоемкость, Дж/(кг. К); ρ - плотность, кг/м^3, u - скорость теплоносителя, м/с; τ - время, с; x-

продольная координата, м; L- длина трубопровода, м; d_1- внутренний диаметр трубопровода, м.

Приближенное решение задачи (1) - (3) имеет вид:

$$T(x,\tau) \approx T_{ж} + (T_0 - T_{ж})\left[1 - \exp\left(-\frac{2u\tau}{x}\right)\right] + (T_{н} - T_{ж})\exp\left[-2\left(\frac{2k}{c_p \rho d_1} + \frac{u}{x}\right)\tau\right]. \quad (4)$$

Анализ решения (4):

1) при $\tau = 0 \quad T(x,\tau) = T_{н}$;

2) при $x = 0 \quad T(x,\tau) = T_0$,

т.е. полученное решение удовлетворяет краевым условиям.

Для установившего во времени процесса теплообмена $(\partial T(x,\tau)/\partial\tau = 0)$ решение дифференциального уравнения (1) с учетом граничного условия (3) имеет простой вид

$$T(x) = T_{ж} + (T_0 - T_{ж})\exp\left(-\frac{4k}{c_p \rho u} \cdot \frac{x}{d_1}\right). \quad (5)$$

При $x \to \infty$ решение (4), (5) дают одинаковый результат $T(x) \to = T_{ж}$, т.е. наступает термодинамическое состояние равновесия.

При решении задачи (1) – (3) было принято допущение, что переносом теплоты теплоносителем вдоль трубопровода пренебрегаем. С целью проверки этого допущения определим плотность теплового потока

$$q_{\lambda} = -\lambda\frac{\partial T}{\partial x} = 2u\tau\frac{\lambda_T}{x^2}((T_o - T_{ж})\exp(-2u\frac{\tau}{x}) - (T_{н} - T_{ж})\exp(-2(2\frac{k}{c_p \rho d_1} + \frac{u}{x})\tau)), \quad Bm/м^2$$

При проведении теплотехнических расчетов трубопровода важна локальная оценка тепловых потерь от теплоносителя через стенку трубопровода в окружающую среду

$$q = k[T(x,\tau) - T_{ж})] \quad .$$

В стационарном тепловом состоянии полные тепловые потери от теплоносителя в трубопроводе длиной L в окружающую среду будут равны

$$Q = k[\bar{T} - T_{ж}]\pi d_2 L.$$

Здесь $\bar{T} = \frac{1}{L}\int_0^L T(x)dx = T_{ж} + (T_o - T_{ж}) \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{4kL}{c_p \rho u d_1}\right)\right] \cdot \frac{c_p \rho u d_1}{4kL}.$

Список литературы:

1. Антикайн П.А. Обеспечение надежной эксплуатации паровпроводов тепловых электростанций// Теплоэнергетика. – 2000. -№4. –С.2 -5.
2. Марковиченко Н.Ф., Соловей П.П. Пути повышения надежности поверхностей нагрева при сжигании низкокалорийного топлива//Надежность котельных поверхностей нагрева и актуальные вопросы теплообмена и гидродинамики: Сб.тезисов докладов заседания секции совета ГКНТ СССР. – Ленинград – Подольск. – 1984. – С.67-75.
3. Артамонцев А.И., Заворин А.С., Любимова Л.Л., Макеев А.А. Изменение внутренних напряжений в сечениях котельных труб при пластическом деформировании//IV семинар вузов Сибири и Дальнего Востока по теплофизике и теплоэнергетике. – Владивосток: изд. ДВГТУ, 2005. – С.35.
4. Любимова Л.Л., Ташлыков А.А., Макеев А.А., Артамонцев А.И.//Известия Томкого политехнического университета. – 2006. Том 309. - № 6. –С.114-119.

Анализ тепловой схемы ТЭЦ с одноцилиндровыми турбинами различного давления

О.Ю. Ромашова, А.С.Смоляров

Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

dieseloknv@gmail.com

Энергетика является одной из ведущих и наиболее высокоорганизованных отраслей народного хозяйства. Технологический процесс производства и распределения электрической и тепловой нагрузки достиг относительно высокой степени совершенства. В процессе развития

энергетики непрерывно повышается экономичность энергетических предприятий, что выражает в снижении затрат на производство и передачу тепловой и электрической энергии.

В данной статье предлагается способ повышения экономичности ТЭЦ путем проектирования ТЭЦ с одноцилиндровыми турбинами различного давления за место целостных турбин. Данная конструкция позволяет корректировать работу цилиндров различного давления, в зависимости от режима работы станции, путем отключения их, что позволяет нам достигать максимальной эффективности ТЭЦ.

Постановка задачи:

Провести анализ 2х тепловых схем ТЭЦ. Первая тепловая схема ТЭЦ содержит одну турбину, состоящую из цилиндров различного давления (на примере турбины ПТ-135-130). Будем рассматривать режим работы по тепловому графику с минимальным расходом в конденсатор для охлаждения, в этом режиме внутренняя мощность равна 0. Вентиляционный пропуск в конденсатор равен 5% от расхода пара на турбину (рис. 1).

Вторая тепловая схема ТЭЦ содержит три одноцилиндровые турбины различного давления (высокого, среднего и низкого давления). Тепловая схема ТЭЦ будет содержать коллектора, в которые попадает пар, а после с коллекторов попадать в турбины (рис. 2). Принимая потери на дросселирование при поступлении пара с коллектора к цилиндру давления турбины равными 5%,7% и 10%, рассчитаем параметры 2х тепловых схем на разные режиме работы, а именно на теплофикационный и конденсационный режим работы.

В данной задаче будем принимать следующие допущения:

- Потери от выходных камер цилиндров до коллекторов не будем учитывать;
- Потерями давления в перепускных трубопроводах будем пренебрегать.

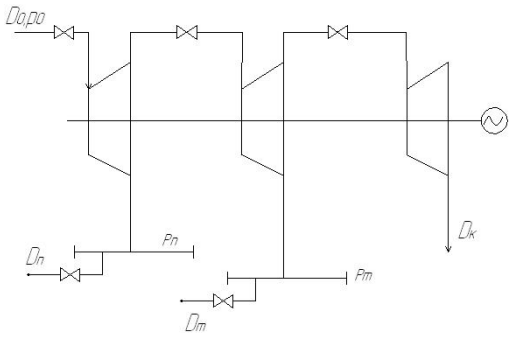


Рис. 1. Схематичное представление турбины типа ПТ

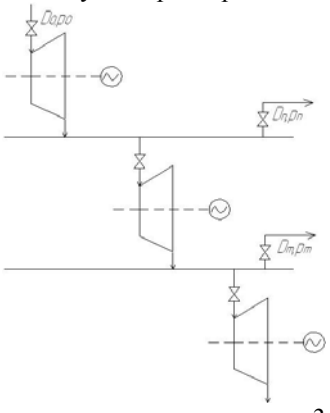


Рис. 2. Схематичное представление 3х турбин различного давления

Исходные данные: $P_0 = 13$ МПа; $t_0 = 540\,^0$C; $P_т = 0{,}12$ МПа; $P_п = 1{,}5$ МПа; $P_к = 0{,}004$ МПа; $D_к = 0{,}05D_0$; $Q_п = 200{,}36$ МВт; $Q_т = 120{,}04$ МВт.

Параметр, по которому будет производиться сравнения, является - $q^э$ (удельный расход теплоты по выработке электроэнергии турбоустановкой).

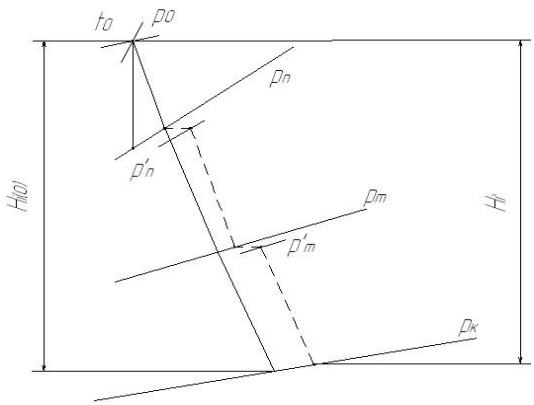


Рис. 3. Процессы работы пара в hs-диаграмме

Проведем расчет 2х схем в зимний период времени, когда турбины работают в теплофикационной загруженности. С помощью 2ой тепловой схемы мы можем отключать и включать цилиндры различного давления из работы, в зависимости от режима работы. Так как в конденсаторе слишком большие потери, то целесообразно отключить цилиндр низкого давления (рис. 2).

Таблица 1. Результаты расчетов в теплофикационном режиме

Δp, %	$D_0, кг/с$	$H_i, кДж/кг$	$N_i, МВт$	$Q_{ту}, МВт$	$q^т$
0	154,97	878,13	100,88	432,2	1,105
5	147,22	871,26	93,79	407,79	0,928
7	147,22	868,38	93,62	408,33	0,935
10	147,22	863,99	93,37	409,17	0,947

Проведем расчет 2х схем в летний период времени, когда турбины работают по конденсационному режиму работы, тем самый мы включаем в работу во 2ой схеме цилиндр низкого давления.

Таблица 2. Результаты расчетов в конденсационном режиме

Δp, %	$D_0, кг/с$	$H_i, кДж/кг$	$N_i, МВт$	$Q_{ту}, МВт$	$q^к$
0	154,97	1250,86	191,8	515,07	2,686
5	154,97	1239,68	190,08	515,07	2,709
7	154,97	1235,03	189,38	515,07	2,719
10	154,97	1227,86	188,27	515,07	2,736

Таблица 3. Изменение параметров в теплофикационном и конденсационном режиме при изменении потери при дросселировании

Δp, %	$\delta H_i, \%$	$\delta N_i, \%$	$\delta Q_{ту}, \%$	$\delta q, \%$
Теплофикационный режим работы				
5	0,78	7,03	5,65	16,02
7	1,11	7,19	5,52	15,39
10	1,61	7,45	5,33	14,29
Конденсационный режим работы				
5	0,89	0,89	-	0,86
7	1,27	1,26	-	1,23
10	1,84	1,84	-	1,86

Проанализируем соотношение вытесняемых потерь тепла в конденсаторе и потерь от дросселирования в новой схеме в теплофикационном и конденсационных режимах работы.

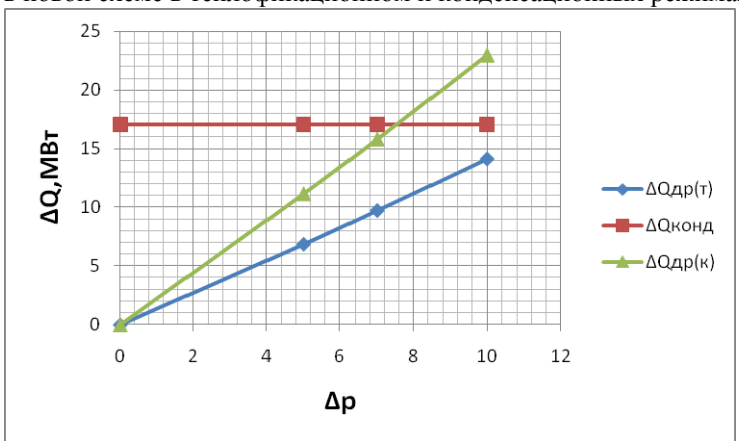


Рис. 4. График изменения потерь тепла от изменения потерь на дросселирование

Изменение потерь не является объективным критерием для сравнения 2х тепловых схем, так как при применении тепловых схем изменяется экономичность работы турбоустановки в зимнем и летнем режимах.

Сравним 2е тепловые схемы в годовом разрезе в зависимости от годового числа часов использования установленной мощности:

Принимаем годовое число часов использования $\tau_y = 6000\ ч.$

Для сравнения выбираем критерий - $\triangle Q_0^{год}$ - экономия (перерасход) годового количества тепла в свежем паре, которая определяется как

$\triangle Q_0^m + Q_0^к = \triangle Q_0^{год}$, где $\triangle Q_0^m$ - экономия (перерасход) количества тепла в теплофикационном режиме работы турбины; $Q_0^к$ - экономия (перерасход) количества тепла в конденсационном режиме работы турбины;

$$\triangle Q_0^к = \delta q_к \cdot Э_к ,$$

$\triangle Q_0^m = \delta q_m \cdot Э_m$, где $Э_к, Э_m$ - годовая выработка электроэнергии в конденсационном и теплофикационном режимах работы турбины; $\delta q_к, \delta q_m$ - экономия (перерасход) удельного расхода теплоты по выработке электроэнергии турбоустановкой;

$$Э_m = N_m^0 \cdot \tau_{\max},$$

$Э_к = N_к^0 \cdot \tau_{конц}$, где $N_m^0, N_к^0$ - действительная мощность турбины в теплофикационном и конденсационном режимах работы в исходном варианте (без потерь на дросселирование); $\tau_{\max}$ - число часов использования максимальной тепловой мощности турбины в теплофикационном режиме работы; $\tau_{конц}$ - число часов работы турбины в конденсационном режиме работы;

$\tau_{конц} = \tau_y - \tau_{\max}$ - формула, связывающая $\tau_{конц}$ и $\tau_{\max}$;

Таблица №4 «Таблица результатов расчета»

Tmax	Qот (5%)	Qот (7%)	Qот (10%)	Qок (5%)	Qок (7%)	Qок (10%)
0	0	0	0	18497,5	36995,0	40212
1000	-17855,8	-17149,6	-15939,0	15414,6	30829,2	33510
2000	-35712,6	-34300,2	-31879,0	12331,7	24663,4	26808
3000	-53567,3	-51448,8	-47817,1	9248,8	18497,5	20106
4000	-71423,0	-68598,4	-63756,2	6165,8	12331,7	13404
5000	-89278,8	-85748	-79695,2	3082,9	6165,8	6702
6000	-107134,6	-102897,6	-95634,2	0	0	0

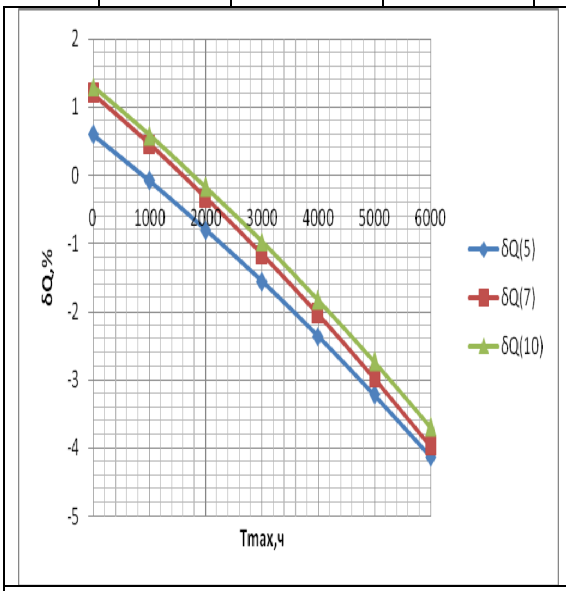


Рис. 5. График зависимости относительной экономии (перерасхода) тепла от числа часов использования максимальной тепловой мощности турбины

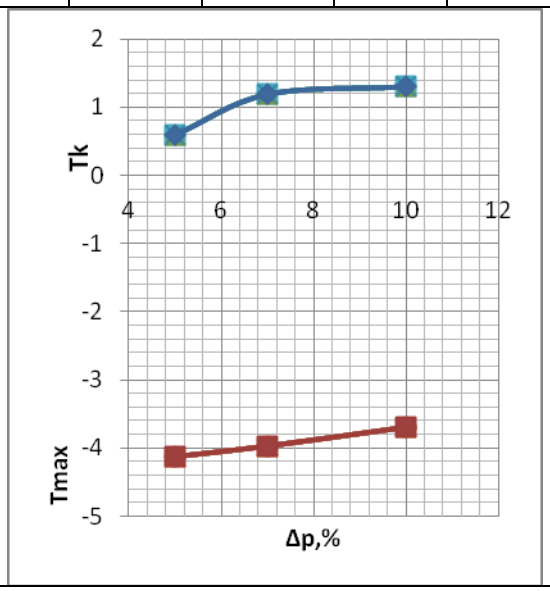


Рис. 6. График зависимости относительной экономии (перерасхода) тепла в конденсационном и теплофикационных режимах от изменения потерь на дросселирование

Графически получили, что переход к схеме с поперечными связями между цилиндрами дает экономию тепла (топлива) при числе часов использования максимальной тепловой мощности более 1000 часов (при 5% потерь на дросселирование) и 1900 часов (при 10% потерь на дросселирование). Увеличение потерь от дросселирования до 10% экономически оправдано при использовании турбины в режиме с максимальной тепловой мощности более 1900 часов.

УДК 621.039

Вопросы обеспечения безопасности при использовании ядерных технологий

Б.П. Степанов, А.Н. Базарова*

Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

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

ruslan-almira96@mail.ru

Мирное использование ядерных технологий является частью структуры современной жизни. Зачастую оно оказывается незаметным в таких применениях, как сохранение пищевых продуктов и медицинское лечение. Иногда вокруг него разгораются страсти, как в случае атомных электростанций, которые производят около 16-20 процентов мировой электроэнергии. Однако использование ядерных технологий должно быть безопасным. Это означает, что они должны использоваться так, чтобы не ставить под угрозу здоровье и безопасность людей, не оказывать неблагоприятного воздействия на окружающую среду и не создавать какой-либо иной ущерб.

Целью настоящей работы является анализ подходов по обеспечению безопасности при использовании ядерных технологий.

На сегодняшний день развитие ядерных технологий, рост их доступности вызывают основные проблемы:

- огромные запасы выделенных ядерных материалов, непосредственно пригодного для производства оружия массового уничтожения;
- накопленные ядерные мощности и возможность передачи технологии, в первую очередь, технологии обогащения урана и переработки отработавшего ядерного топлива, позволяющих нациям приблизиться к овладению ядерным оружием, вызывая потенциальную угрозу не контролируемого распространения ядерных материалов.

В целом ядерные технологии имеют дело с расщепляющимися ядерными материалами, которые потенциально могут быть использованы в качестве материала для ядерных взрывных устройств. Поэтому одной из задач развития и использования ядерных технологий является обеспечение безопасности применяемых ядерных материалов на всех стадиях цикла технологий и сохранение риска на его нынешнем уровне с целью недопущения использования ядерных материалов в противозаконных целях [1].

В этой связи специфическая опасность деятельности, связанной с использованием ядерных материалов и радиоактивных веществ, определила особое внимание к формированию единого мирового подхода к обеспечению безопасности ядерных технологий. В документах МАГАТЭ, национальных Нормах и Правилах безопасности содержится подробное описание системы технических мер и организационных мероприятий, предпринимаемых для обеспечения безопасности использования ядерных технологий, такие как:

- обеспечение контроля за доступом к ядерным технологиям для предотвращения утраты и несанкционированных изъятия, владения, передачи и использования радиоактивного материала;
- обеспечение физической безопасности обращения с радиоактивными источниками и материалом;
- обеспечение контроля за радиационным облучением людей и выбросом радиоактивного материала в окружающую среду [2].

В мире лидирующие позиции в области организации международного сотрудничества ядерно-энергетических стран, сбора и анализа информации по общим направлениям развития, проблемам ядерной безопасности занимает МАГАТЭ. Агентство разрабатывает международные нормы безопасности, в которых рассматриваются вопросы обеспечения безопасного использования ядерных технологий, используемых для производства электроэнергии, и многочисленных источников излучения, используемых в таких применениях, как медицинская диагностика и лечение, стерилизация и разнообразная промышленная радиография [1].

В ноябре 2006 г. в серии изданий норм МАГАТЭ по безопасности опубликован документ категории основы безопасности – «Основные принципы безопасности». В обсуждаемом документе общая философия обеспечения безопасности, касающаяся всех аспектов деятельности МАГАТЭ, была изложена в виде десяти общих принципов. В обсуждаемом документе представлена основные цели безопасности, а также принципы и концепции безопасности, образующие основу норм безопасности МАГАТЭ и программ Агентства, связанных с безопасностью. Принципы безопасности обеспечивают основу для разработки требований и принятия мер по защите людей и охраны окружающей среды от радиоактивных рисков, а также по обеспечению безопасности ядерных технологий, использования излучений и радиоактивных источников, перевозку радиоактивного материала и обращение с радиоактивными отходами [3].

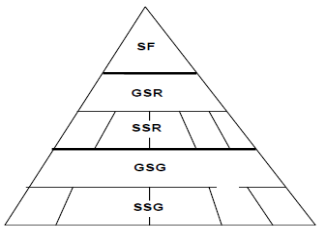
Для достижения основных цели безопасности должны выполняться соответствующие требования и предприниматься меры безопасности, которые разрабатываются на основе сформулированных десяти принципов безопасности:

1. Ответственность за безопасность.
2. Роль правительства.
3. Управление безопасностью.
4. Оправданность установок и видов деятельности.
5. Оптимизация защиты.
6. Ограничение индивидуального риска.
7. Защита нынешних и будущих поколений.
8. Предотвращение аварий.
9. Готовность на случай аварии.
10. Защитные мероприятия по уменьшению радиационных рисков.

Выше приведенные принципы безопасности могут применяться в соответствующих случаях на протяжении всего жизненного цикла всех ядерных технологий, используемых в мирных целях и в отношении защитных мер для уменьшения возможных радиационных рисков для населения.

В 2009 г. была опубликована новая структура стандартов МАГАТЭ по безопасности [4]. Действующая в настоящее система стандартов, относящаяся к серии стандартов по безопасности (SSS), охватывает все виды ядерных технологий и деятельности.

На рис.1. представлена классическая пирамида новой структуры стандартов (SF-1) МАГАТЭ. На верху пирамиды находятся основы безопасности (Safety Fundamentals, SF), которые, как отмечалось выше, устанавливают цели и принципы безопасности. Далее следуют общие требования по безопасности (General Safety Requirements, GSR), предъявляемые ко всем установкам и деятельности. Затем идут конкретные требования по безопасности (Specific Safety Requirements, SSR), применимые к конкретным установкам и деятельности. Замыкают пирамиду общие руководства по безопасности (General Safety Guides, GSG), которые предназначены для всех установок и деятельности, и конкретные руководства по безопасности (Specific Safety Guides, SSG), применимые к конкретным установкам и деятельности [5].



→ Основы безопасности
→ Общие требования безопасности
→ Конкретные требования безопасности
→ Общие руководства по безопасности
→ Конкретные руководства по безопасности

Рис. 1. Пирамида структуры стандартов МАГАТЭ по безопасности

В соответствии со стандартом, существуют общие требования по безопасности:

- правительственная, законодательная и регулирующая основа безопасности;
- руководство и управление в целях безопасности;
- радиационная защита и безопасность радиационных источников;
- обращение с радиоактивными отходами перед захоронением;
- оценка безопасности для установок и деятельности;
- вывод из эксплуатации и прекращение деятельности;
- аварийная готовность и реагирование.

Кроме того, в указанном стандарте рассмотрены общие и конкретные руководства по безопасности ядерных технологий и следующих видов деятельности:

- атомные электростанции;
- исследовательские реакторы;
- установки ядерного топливного цикла;
- установки захоронения радиоактивных отходов;
- радиационные источники;
- добыча и переработка руды;
- транспортировка радиоактивных материалов.

В настоящее время особое значение приобретают надзор за распространением ядерных технологий и установление международного контроля ядерного топливного цикла (ЯТЦ).

Нормы МАГАТЭ по безопасности рассматриваются в качестве эталона, который отражает международный подход в отношении того, что является основой высокого уровня безопасности для защиты людей и охраны окружающей среды от вредного воздействия радиоактивных веществ. На конференции по ядерной безопасности на уровне министров, состоявшейся 20-24 июня 2011 года, была подчеркнута важность принятия более активных национальных и международных мер по обеспечению самого высокого и самого строгого уровня ядерной безопасности на основе норм МАГАТЭ по безопасности, которые следует постоянно анализировать, совершенствовать и максимально широко и эффективно внедрять [6].

Таким образом, в процессе проделанной работы при изучении международных документов проведен анализ возможных подходов к реализации мероприятий обеспечению безопасности при использовании ядерных технологий. Установлено, что современные подходы по обеспечению безопасности применяемых ядерных технологий, являются необходимым и обязательным компонентом в вопросах обоснования безопасного развития атомной энергетики.

Список литературы:

1. Международное агентство по атомной энергии. МАГАТЭ за работой. 2004. –http: // www.un.org/russian/ga/iaea/iaea_at_work.pdf
2. Международное агентство по атомной энергии. Основополагающие принципы безопасности. Серия норм МАГАТЭ по безопасности. № SF-1. Вена, 2007 г.
3. Исаев А. Н. Обобщенные принципы безопасности // Атомная техника за рубежом. 2007. №4.
4. Structure of the IAEA safety standards and current status. Vienna, May 2009. – http: // www-ns.iaea.org /downloads/ standards /status.pdf
5. Long term structure of the IAEA standards and current status. Vienna, October 2011. - http: // www-ns.iaea.org /downloads/ standards /status.pdf
6. Конференция МАГАТЭ по ядерной безопасности на уровне министров. Доклад Генерального директора. 20-24 июнь 2011. - http://www.iaea.org

УДК 621.039.54

Классификация основных дефектов тепловыделяющих элементов, причины и статистика

А.В. Власов, А.В. Кузьмин, В.Ю. Рождествин*

Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

**ОАО «Концерн Росэнергоатом», Калининская АЭС, г. Удомля, Россия*

E-mail: kuzminav@tpu.ru, criticalmazz@mail.ru

Подчеркиваются важные причины снижения коэффициента использования установленной мощности современных АЭС с легководными реакторами. Представлена существующая классификация дефектов тепловыделяющих элементов ВВЭР, PWR и BWR. Рассмотрены основные особенности и факторы, определяющие характер процесса возникновения дефектов. Дается статистика существующих дефектов в связи, с чем ставится вопрос о пересмотре требований к стандартным режимам и операциям.

Зачастую основной из причин сравнительно невысоких значений коэффициента установленной мощности (КИУМ) являются статистически неопределенно возникающие повреждения тепловыделяющих сборок (ТВС) из-за дефектов оболочек тепловыделяющих элементов (твэл) [1].

Весьма значительными факторами увеличения КИУМ являются [2]:

- уменьшение затрат времени на контроль герметичности оболочек (КГО) во время плановой перегрузки топлива в случае наличия в топливной загрузке ТВС с поврежденными твэлами;
- и предотвращение внепланового останова из-за превышения активности осколков деления в теплоносителе сверх установленного эксплуатационного предела.

Современные дефекты твэлов

На начальных этапах развития атомной энергетики операторы сталкивались с большим числом инцидентов, связанных с повреждениями ТВС и твэл. По мере совершенствования этих важнейших элементов ядерного реактора изменялись и причины их повреждений. Некоторые дефекты практически сошли к минимуму, например, появляющиеся вследствие взаимодействия топлива с оболочкой или полученные при производстве и транспортировке твэлов. В то же время нужно отметить, что увеличилась доля повреждений твэлов из-за дебрис-частиц и вследствие прочих неопознанных факторов. Также наблюдается множество «вторичных» дефектов, формирующихся под воздействием теплоносителя, проникшего внутрь твэла через первичный дефект: хрупкий отрыв заглушек, сквозные визуально регистрируемые трещины, а также гидридные пятна, распространяющиеся на наружную поверхность оболочек.

В результате послереакторных обследований облученных ТВС как в наши дни [3], так и по материалам исследования дефектов на ранних этапах развития атомной энергетики [4,5], выделяют следующие механизмы повреждения твэл [1, 6]:

- фреттинг решетка-твэл (GTRF – Grid-To-Rod Fretting);
- повреждения из-за дебрис-частиц (Debris fretting);
- локальная коррозия, вызванная отложениями (CILC – Cruel-Induced-Localized-Corrosion);
- взаимодействие таблетки с оболочкой (PCI – Pellet-Cladding Interaction);
- изменение формы и размеров твэл при эксплуатации (Rod bow);
- вторичные дефекты.

Рассмотрим основные особенности этих дефектов.

Особенности фреттинга решетка-твэл (GTRF). Материалы решеток ТВС имеют тенденцию к росту, что ведет к релаксации пружин ячейки решетки и тем самым, к ослаблению поддержки твэлов. В результате твэлы, вибрирующие в потоке теплоносителя, будут изнашиваться.

Наиболее важными факторами, определяющими характер данного механизма повреждения, являются [6]:

1) контакт с поверхностями элементов решетки;
2) трение между решеткой и твэлом;
3) амплитуда и частота вибрации конструкции;
4) рост решетки и размерная стабильность;
5) характеристики ячейки решетки.

Особенности влияния дебрис-частиц. Присутствие в теплоносителе первого контура посторонних предметов приводит к повреждению твэл за счет механического воздействия на оболочку.

Определяющими характер воздействия дебриса являются [6]:

1) наличие и характер механических загрязнителей;
2) место локализации скоплений механических загрязнителей.

Основные условия коррозии, вызванной отложениями. Продукты коррозии, циркулирующие в теплоносителе, оседают на оболочках в местах с большим тепловыделением и, накапливаясь в некоторых случаях в значительных количествах, уменьшают теплопередачу, увеличивают локальную температуру оболочки и ускоряют коррозию. Определяющими характер механизма повреждения являются совокупность эксплуатационных химических и теплотехнических режимов [6]:

1) локальная температура и варианты теплопередачи твэла;
2) величина и степень недогретого пузырькового кипения на топливе PWR и скорость отложения на топливе;
3) основные источники продуктов коррозии;
4) воздействие химического состава теплоносителя на коррозию и отложения;
5) скорость коррозии материала оболочки.

Взаимодействие таблетки топлива с оболочкой. Механическое взаимодействие таблетки с оболочкой связано с дефектами в таблетке или оболочке, например с нарушением

поверхности таблетки (missing pellet surface - MPS), которое создает в оболочке избыточное напряжение. Быстрые изменения локальной мощности вызывают расширение таблетки, что вместе с этим избыточным напряжением оболочки может привести к ее повреждению. Другой тип взаимодействия таблетки с оболочкой – растрескивание оболочки в результате коррозии под напряжением. Высокие уровни мощности интенсифицируют выделение газообразных продуктов деления. Сплавы циркония имеют коррозионную неустойчивость к йоду. Присутствие йода вокруг оболочки в таких условиях ускоряет ее растрескивание из-за коррозии под напряжением. При запуске реактора из-за быстрого изменения мощности может также иметь место PCI-эффект. Определяющими механизм повреждения являются [6]:

1) значение и скорость изменения локального энерговыделения;
2) качество таблетки – форма таблетки, плотность;
3) качество оболочки – материал оболочки, характер химического взаимодействия с продуктами деления.

Изменение формы и размеров твэла при эксплуатации. Под действием совокупности температурных, механических и радиационных факторов в ходе эксплуатации происходит изменение геометрических параметров твэла. Выделяют следующие нарушения [7]:

- смятие оболочек;
- эффект удлинения твэлов.

Определяющими характер процесса изменения геометрических параметров твэла причинами являются [6, 7]:

1) радиационное уплотнение таблеток;
2) форма торцов таблетки;
3) исходные производственные допуски в оболочках на овальность и на эксцентриситет;
4) технология производства оболочек твэлов – режимы холодной деформации и термообработки;
5) давление теплоносителя.

Вторичные дефекты. Данный класс дефектов, обусловлен проникновением воды через первичные дефекты и дальнейшими повреждениями оболочки в результате окисления внутренней поверхности оболочки и локального гидрирования.

Статистика по причинам повреждения твэлов

Работы по улучшению эксплуатационных характеристик топлива отразились крупномасштабными работами зарубежных производителей топлива и эксплуатирующих АЭС предприятий [1, 6]:

– Robust Fuel Program в 1998 г;
– Fuel Integrity Initiative в 2005 г.

По данным, накопленным на АЭС США за 2000-2010 гг., наиболее часто наблюдаются повреждения топлива, обусловленные такими причинами, как коррозия и отложения продуктов коррозии, фреттинг, взаимодействие топлива и оболочки (рис. 1) [1].

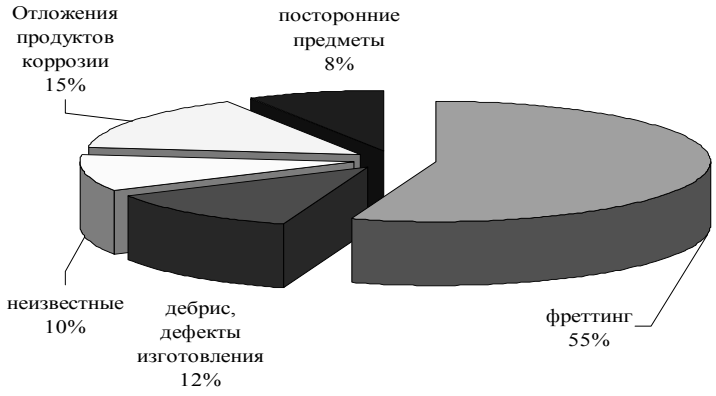


Рис. 1. Причины повреждения твэлов на АЭС США 2000-2010гг

В результате функционирования «Программы по надежности топлива» (Fuel Reliability Programm – FRP, Electrical Power Research Institute - EPRI) создана база данных по надежности топлива (Fuel Reliability Database - FRED). По статистике среди механизмов повреждений топлива на PWR США (69 энергоблоков) в период 2000-2008 гг. 77% составляет фреттинг решетка-твэл (GTRF), 12% - повреждение из-за дебрис-частиц, дефектов изготовления, коррозии и взаимодействия таблетки с оболочкой (PCI), 11% определены как «неизвестные». По данным FRED, в других странах процент повреждений топлива PWR из-за GTRF (34%) меньше, чем в США. Это различие объясняются быстрым внедрением более стойких топливных проектов и меньшим числом АЭС с жесткими условиями потока теплоносителя. Повреждения из-за коррозии/отложений, дебрис-частиц и PCI

составляют 33%, из-за дефектов изготовления - 8%. Не малый интерес представляет то, что частота повреждений топлива выше на PWR по отношению к BWR. В США отношение PWR к BWR составляет почти 2:1 (BWR -35, PWR -69 энергоблоков), отношение же общего числа PWR с поврежденными ТВС к такими же BWR около 2,6.

Известна статистика, накопленная в ходе эксплуатации реакторов компании EdF (Électricité de France) в период 1997-2008 гг., представлена на рисунке 2 [6].

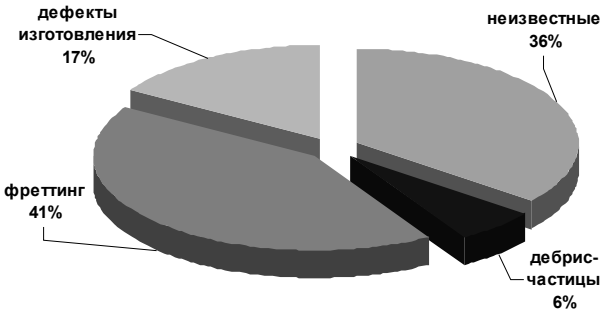


Рис. 2. Причины повреждения твэлов на АЭС EdF 1997-2009

Известно так же о результатах послереакторных исследований ТВС в отечественной практике (Рис.3) [8].

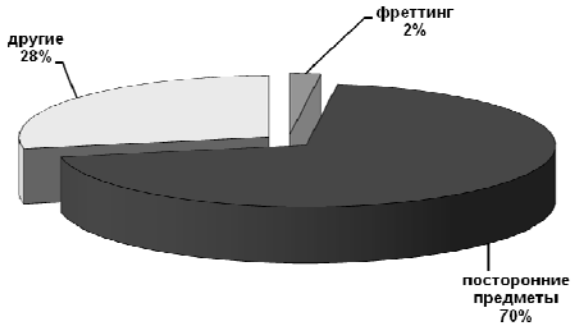


Рис. 3. Причины повреждения твэлов на АЭС ВВЭР и РБМК

Заключение.

Высокая конкуренция на энергетическом рынке усиливала внимание энергетических фирм к вопросам надежности топлива АЭС. В результате, на протяжении последних десятилетий шло непрерывное накопление экспериментальных результатов по эксплуатации топлива в стационарных и переходных режимах.

Дальнейшие работы по повышению выгорания и эффективности эксплуатации АЭС предъявляют новые требования к технологиям производства и эксплуатации топлива, чтобы поддерживать, а возможно и снизить уровень его повреждаемости, который существует на сегодняшний день.

Работы по увеличению кампании топлива и номинальной мощности ВВЭР за счет снижения консервативных запасов [9], [10] приводят к необходимости детального рассмотрения стандартных эксплуатационных режимов и операций. В качестве примера приведем гидравлические испытания первого контура, которые проводятся ежегодно под давлением 18 МПа и раз в четыре года под давлением 25 МПа, в то время как номинальное давление в 1-м контуре варьируется в пределах 15-16 МПа. В условия испытаний попадают как вновь загруженные в реактор, так и проработавшие в реакторе несколько кампаний тепловыделяющие сборки, отличающиеся по прочностным характеристикам. Отличия обусловлены последствиями облучения и числом переменных тепловых нагрузок, увеличивающиеся с повышением выгорания топлива [11].

Список источников:

1. Кидд С. Частота повреждения топлива снижается. // Атомная техника за рубежом. – 2009. – №4. – С. 22-24.

2. Типовой технологический регламент безопасной эксплуатации энергоблоков АЭС с реактором ВВЭР-1000 (В-320). – ТРВ-1000-5. – ВНИИАЭС. – 2009.
3. Review of Fuel Failures in Water Cooled Reactors. – Technical Report Series. – International Atomic Energy Agency. – Vienna. – 2010.
4. Review of Fuel Failures in Water Cooled Reactors. – Technical Report Series. – International Atomic Energy Agency. – Vienna. – 1998.
5. Proceedings of the 1997 International Topical Meeting on Light Water Reactor Fuel Perfomance. – Portland. – Oregon. – March 2-6. – 1997.
6. Соколова И.Д. Опыт эксплуатации топлива в реакторах PWR // Атомная техника за рубежом. – 2010. – №6 – С. 3-11.
7. Калашников В.В., Соляный В.И. Материаловедческие аспекты эксплуатационной надежности твэлов энергетических реакторов с водяным теплоносителем // Атомная энергетика. – 1987. – Т. 44. – Вып.6.
8. Марков Д.В., Перепелкин С.О., Поленок В.С., Смирнов В.П., Смирнов А.В., Сухих А.В., Неугодников Д.С. Причины разгерметизации и послереакторное состояние негерметичных твэлов ВВЭР и РБМК. // Атомная энергия. - 2005. - Т. 99. - Вып. 5. – С. 376-379.
9. ВВЭР-1000. Повышение мощности // Журн. Росэнергоатома. – 2008. – №8. – С. 13-16.
10. Игнатов В.И., Шутиков А.В. Тепло- и нейтронно-физические характеристики энергоблоков АЭС с ВВЭР-1000 при эксплуатации на мощности выше номинальной (на примере второго блока Балаковской АЭС) // Атомная энергия. – 2009. – Т. 107. – Вып. 1.
11. Эндрюс М., Лобр Дж. Поведение твэлов при увеличении продолжительности циклов облучения // Атомная техника за рубежом. – 1989. – Вып. 18. – С. 24.

Термодинамическое моделирование поведения цезия и стронция при горении радиоактивного графита

М.П. Дальков, Н.М. Барбин, А.В. Пешков, М.Р. Шавалеев
Уральский институт ГПС МЧС России, г. Екатеринбург, Россия

В ядерной энергетике России имеются одиннадцать энергоблоков с реакторами РБМК-1000, четыре энергоблока с реакторами ЭГП-6 и два остановленных реактора АМБ-100 и АМБ-200 Белоярской АЭС. Кроме того, остановлены десять из тринадцати промышленных уран-графитовых реакторов России.

Активная зона и отражатель реактора РБМК-1000 содержит 1850т ядерно-чистого графита, реактора ЭГП-6 – 700т, реакторов АМБ-100 и АМБ-200 – по 1025т, промышленных реакторов – по 1300т.

Масса графитовой кладки одного водографитового реактора (ВГР) (в зависимости от типа реактора) составляет 1,5-2,5 тыс.т. Общая масса облучённого графита в России равна примерно 60 тыс.т.

Облученный реакторный графит подразделяют на три основные группы:

1) графитовые блоки кладки активной зоны (блочный графит);
2) графитовые внутриблочные втулки (втулочный графит);
3) графит, загрязненный просыпями ядерного топлива и продуктами деления.

Отличительными свойствами облучённого реакторного графита являются наличие в нем широкого спектра радионуклидов-загрязнителей, большие объемы и значительная активность [1].

Для исследования испарения и конденсации радиоактивных элементов при горении радиоактивного графита в атмосфере воздуха использовался метод термодинамического моделирования.

Подробно метод термодинамического моделирования в высокотемпературных неорганических системах, включая оценку достоверности результатов и способов учёта неидеальности и частичной неравномерности, описан в работе Ватолина Н.А. и др. [2].

Для описания метода в нашем случае определим, что объектом нашего исследования будет облучённый графит кладки реактора активной зоны, предметом – изменение фазового состава отдельных элементов облучённого графита при его горении.

Для расчёта равновесных состояний во многокомпонентных гетерофазных системах использовали программный комплекс АСТРА [3], содержащий базу термодинамических данных индивидуальных веществ.

Предполагается, что равновесный состав компонентов реактора может содержать газообразные и конденсированные вещества. Каждое из соединений в твердом или жидком состоянии образуют отдельную фазу, а все газообразные компоненты входят в состав единой фазы. Возможность образования конденсированной фазы устанавливается в самой программе. Алгоритмом и программой допускается проведение расчёта для состояния фазового перехода.

В качестве определяющих параметров нами использовалась одна «механическая» - общее давление ρ, и одна «энергетическая» - температура *T*, характеристики системы. Использованный в программе алгоритм позволяет проводить расчёты для любой комбинации названных величин.

Рассматривалась закрытая система (содержание азота 78%, кислорода 21%, 1% - остальные примеси), при начальном давлении $\rho = 0{,}98 \cdot 10^5$ Па (одна техническая атмосфера). Температура изменялась от 300 до 1600° K с шагом 100° K. В расчетах учитывались только компоненты с концентрацией не менее 10^{-10} моль/кг. Временем, которое требуется для изменения фазового состояния, газообменом с окружающей средой, и скоростью протекания реакции – пренебрегаем.

При расчёте использованы термодинамические функции 33 конденсированных и 35 газообразных элементов и соединений.

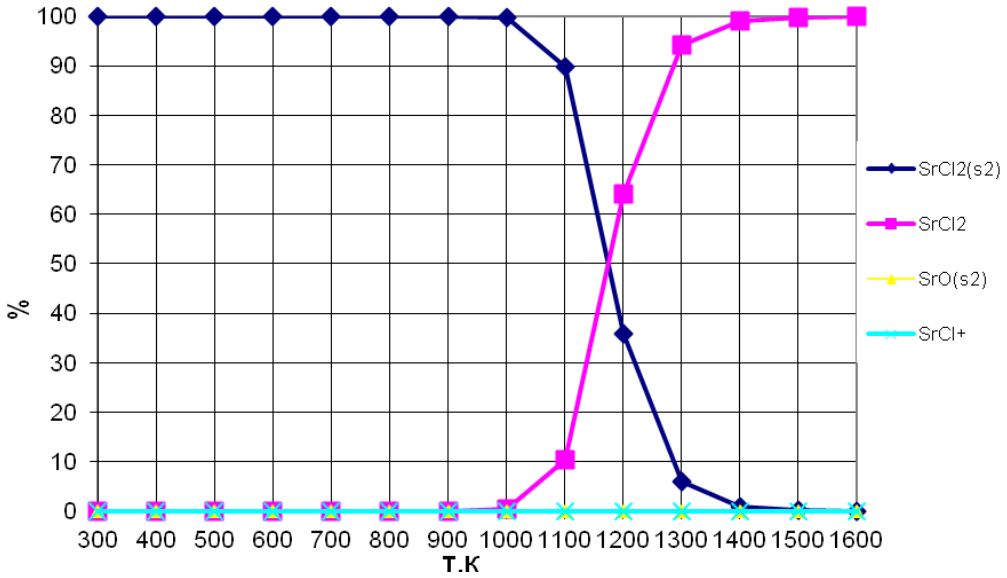


Рис. 1. Распределение кальция по фазам при сжигании радиоактивного графита

Наиболее значимыми компонентами конденсированной фазы при горении графита в атмосфере воздуха являются UO_2, UOCl, $UOCl_2$, $CaCl_2$, BeO. Их концентрация превышает 10^{-2} мольных долей. В интервале температур 1300-1500°K UO_2 становится преобладающим компонентом с концентрацией 0,98 мольных долей.

Распределение стронция по фазам приведено на рисунке 1. При температуре 300-1000°K примерно 100% стронция находится в виде конденсированного $SrCl_2$, повышение температуры до 1300K ведет к переходу хлоридов полностью в газовую фазу.

Распределение цезия по фазам приведено на рисунке 2. При температуре 300-700K примерно 100% цезия находится в виде конденсированного CsCl. Повышение температуры до 900-1400K ведёт к 100% переходу хлорида цезия в газовую фазу.

Основными элементами загрязнения прилегающих территорий, в случае протекания описанных реакций, будут являться стронций-137, цезий-90 и углерод-14. Период полураспада цезия-137 составляет 30 лет, стронция-90 – 28 лет, углерода-14 – 5570 лет.

Радиоактивные элементы либо остаются с негорючей частью, либо испаряются. Газообразные радиоактивные элементы конденсируются в более крупные частицы. Вынесенные субмикрометровые частицы поступают в окружающую среду, легко вдыхаются в лёгкие. Также они переносятся на поверхность земли, водоёмов, растительные и продовольственные культуры.

С поверхности земли загрязняющие вещества мигрируют через зону аэрации вподземные воды. В зависимости от вида вещества, нагрузки (количество его, приходящегося на единицу площади поверхности земли) и физико-химических свойств покровных отложений, загрязняющее вещество либо не достигает подземных вод, т.е. полностью обезвредится в зоне аэрации

(сорбируется, минерализуется, пойдет на питание растений перейдет в газообразное состояние, трансформируется в безвредное вещество), либо достигнет. В последнем случае в результате смешения с пластовой водой и процессов массообмена с водовмещающими породами в зависимости от вышеуказанных факторов изменение качества подземных вод либо не превысит нормативы в пункте водопользования т.е. оно допустимо, либо превысит. Последнее вызовет сокращение ресурсов подземных вод т.е. уменьшит их природно-ресурсный потенциал. В этом случае необходимо осуществляй мероприятия по охране подземных вод.

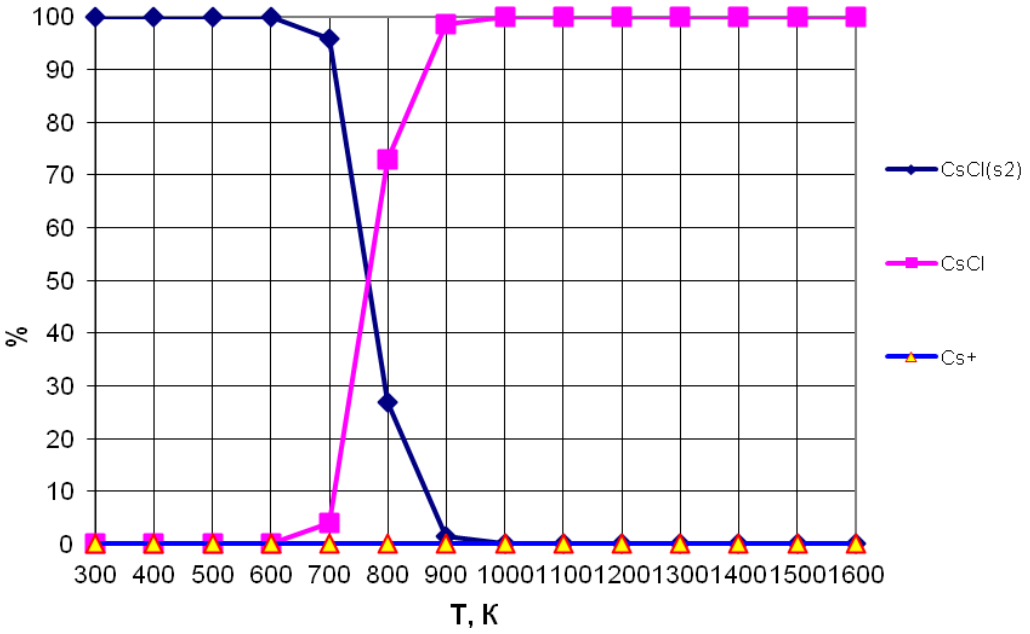


Рис. 2. Распределение цезия по фазам при сжигании радиоактивного графита

Мероприятие должно быть рациональным, т.е. с одной стороны, гарантировать сохранение нормативного качества подземных вод, и, с другой стороны, быть наиболее экономичным.

Реализация этой концепции содержит множество сложных вопросов. Освещение их с высокой степенью полноты в данной теме нереально. Поэтому авторы рассмотрели проблемы, возникающие при аварийных ситуациях с использованием геохимических барьеров для защиты водных объектов.

При этом основными мероприятиями, направленными на защиту водных объектов от радиоактивного загрязнения должны быть следующими:

1) Остекловывание твердых отходов;

2) Установка защитных сооружений, препятствующих попаданию радиоактивных стоков с водосборной территории в водные объекты. При этом радиоактивные вещества попадают в растения, которые затем скашиваются и подвергаются захоронению;

3) Реорганизация стока путем перевода его в почвенно-грунтовый, что разубоживает содержание радиоактивных веществ до допустимых концентраций.

Список литературы:

1. Барбин Н.М., Пешков А.В., Дальков М.П., Терентьев Д.И., Алексеев С.Г. Оценка поведения радионуклидов при горении радиоактивного графита//Безопасность критичных инфраструктур и территорий: Тезисы докладов II Всероссийской конференции и XII школы молодых учёных. Екатеринбург:УрОРАН, 2008. С.67.
2. Ватолин Н.А., Моисеев Г.К., Трусов Б.Г. Термодинамическое моделирование в высокотемпературных неорганических системах.-М.: Металлургия.1994.352с.
3. Синярев Г.Б., Ватолин Н.А., Трусов Б.Г., Моисеев Г.К. Применение ЭВМ для термодинамических расчетов металлургических процессов. – М.: Наука, 1982. – 263 с.

УДК 621.039.542.3

Проблема конверсии исследовательских реакторов

Д.А. Иксанов, А.Г. Наймушин
Томский Политехнический Университет, г. Томск, Россия
E-mail: agn@tpu.ru

Рассматривались основные вопросы по проблеме конверсии исследовательских реакторов. Показан вклад в дело конверсии программы снижения обогащения исследовательских и экспериментальных реакторов в различных странах. Рассмотрены основные виды топлива и их использование в исследовательских реакторах.

Эксплуатация исследовательских реакторов неизбежно приводит к появлению рисков, связанных с топливом, требующимся для работы установки. С технической точки зрения следует рассматривать два пути:

- хищение высокообогащенного урана;
- производство плутония.

Основную опасность с точки зрения терроризма представляет хищение высокообогащенного урана (ВОУ) на этапах производства и эксплуатации топлива.

Определение низкообогащенного урана (НОУ) было впервые использовано Комиссией по Атомной Энергии США в 1955 году. Такая же условность была позже использована МАГАТЭ, в которой низкообогащенный уран определяется как «обогащенный уран с содержанием менее 20 % изотопа U-235». МАГАТЭ классифицирует НОУ как «косвенный материал», что в свою очередь определяется как ядерный материал, который не может быть использован для «создания ядерного взрывного устройства без превращения или дальнейшего обогащения» [1].

В 1978 году в Аргонской Национальной Лаборатории (ANL) группой ученых при поддержке Департамента Энергетики (DOE) США была создана программа Снижения обогащения исследовательских и экспериментальных реакторов (Reduce Enrichment for Research and Test Reactors – RERTR) [2]. На сегодняшний день программа продолжает свою работу при финансовой поддержке Департамента Энергетики и управлении Государственным Департаментом (DOS). Основной целью данной программы является разработка технологий, необходимых для использования низкообогащенного урана вместо высокообогащенного урана в исследовательских реакторах и экспериментальных установках без существенного снижения эффективности работы и без ущерба в аспектах экономики и безопасности реакторов.

Конверсия исследовательского реактора является очень сложным техническим и административным процессом, так как затрагиваются интересы операторов и пользователей реактора. Потенциальные критерии для рассмотрения процесса конверсии включают минимальные изменения активной зоны, минимальными изменениями в характеристиках и значениях плотностей нейтронных потоков, минимальные проблемы с лицензированием, минимальной стоимостью топливного цикла, и т.д.

В общем виде, топливо делят на три категории: керамическое, дисперсионное и монолитное. Самым распространенным керамическим топливом является диоксид урана (UO_2), который в основном используется в коммерческих энергетических реакторах. В исследовательских реакторах такое топливо менее распространено из-за плохой теплопроводности и сложностей с изготовлением пластин из такого материала.

Дисперсионное топливо состоит из микроскопических частиц топлива, диаметром обычно меньше 100 мкм, вкрапленных в инертный и неделящийся материал, гарантирующий строго заданное поведение облученного топлива. Основная идея дисперсионного топлива заключается в изоляции топливных частиц с целью локализации в самой матрице газообразных продуктов деления, выделяющихся в процессе облучения. То есть, не требуется никаких дополнительных зазоров или пустот между топливом и оболочкой для продуктов деления и сдерживания радиационного роста и ползучести. Эффективная теплопроводность дисперсионного топлива может быть очень высокой при том условии, что материал оболочки матрицы подобран точно. В результате, температура в центре топлива значительно ниже, чем по сравнению с керамическим топливом. Поэтому дисперсионное топливо обеспечивает более высокое энерговыделение и является предпочтительным для использования в топливных пластинах. Можно выделить несколько вариантов дисперсионного топлива: металлические или керамические топливные частицы в металлической или керамической матрице. На практике же широко используется только топливо в металлической матрице.

По ряду причин дисперсионное топливо на алюминиевой основе является стандартным для исследовательских реакторов типа MTP и ИРТ. К этим причинам можно отнести сравнительно низкие температуры в активных зонах таких установок и высокую теплопроводность алюминия.

Также существует металлокерамическое топливо, в котором частицы керамического топлива диспергированы в металлическую не алюминиевую матрицу. Наиболее распространены комбинации из диоксида урана и циркалоя или нержавеющей стали.

Последней выделенной категорией является монолитное топливо. Использование металлического урана в качестве топлива, очевидно, дает максимальную плотность делящегося материала. Кроме того, в отличие от оксидов, металл имеет высокую теплопроводность, что выравнивает градиент температур и снижает температуру центральной части. К сожалению, металлический уран показывает плохое поведение при облучении и, к тому же, подвергается фазовым переходам между 300 К и температурой плавления, что делает его непригодным для использования в энергетических реакторах. Тем не менее, известны некоторые сплавы с обогащенным ураном, способные стабилизировать гамма-фазу урана до комнатной температуры. Наиболее подходящим материалом является уран-молибденовый сплав с содержанием молибдена от 10 до 15 % по весу, с оптимальным сочетанием около 10 %. Уран-молибденовое топливо использовалось в некоторых прототипах быстрых реакторов в ранних 60-х годах. Но оно не рассматривалось в качестве топлива для MTR. В 2000-2002 годах возникли проблемы связанные с использованием уран-молибденового сплава в качестве топлива, вводимого в матрицу. В ходе анализа этих проблем, микро-пластины, содержащие чистый сплав уран-молибдена, облучали в условиях исследовательского реактора. Неожиданно, топливо повело себя очень хорошо при высоком выгорании (от 70 до 80 %) изотопа U-235. Эти результаты были впервые опубликованы в 2002 году [3]. Сегодня монолитное топливо является наиболее перспективным кандидатом в новом поколении высокоплотностного топлива для исследовательских реакторов.

В настоящее время рассматривается возможность конверсии исследовательского реактора в США – MITR II. Данный реактор был построен в 1956 году и достиг первой критичности в 1958 году. Принадлежит он Массачусетскому Технологическому Институту (MIT). Легкая вода используется в качестве теплоносителя и замедлителя, а отражателем является тяжелая вода. Тепловая мощность реактора в марте 2011 года была увеличена до 6 МВт. Плотность потока тепловых нейтронов – $7 \cdot 10^{13}$ н/(см^2·с), быстрых – $1{,}7 \cdot 10^{14}$ н/(см^2·с). Реактор гексагональной формы содержит 27 ячеек, расположенных в трех кольцах. Все три ячейки в центральном кольце заполнены алюминием. В оставшихся ячейках находятся ТВС с алюминиевой оболочкой, содержащие ВОУ топливо в алюминиевой металлокерамической матрице (обогащением 93 %) и плотностью 3,7 гU^5/см^3, с суммарным содержанием изотопа U-235 в каждом ТВС 506 г [4]. Расчеты показывают, что для перевода реактора на НОУ топливо (обогащение 19,75 %), требуется плотность топлива не менее 14 гU^5/см^3. Поэтому было выбрано уран-молибденовое топливо с плотностью 17,5 гU^5/см^3. Важным пунктом в дизайне НОУ ТВС должно быть их геометрическое соответствие ВОУ ТВС, а также минимальная разница в теплогидравлических характеристиках и значениях плотностей потоков нейтронов.

Все больше и больше исследовательских реакторов включаются в программу конверсии. Самым распространенным типом НОУ топлива на сегодняшний день является дисперсионное топливо в алюминиевой матрице. В то же время ведутся разработки перспективного высокоплотностного НОУ топлива на основе уран-молибденового сплава. Страны-владельцы исследовательских реакторов находятся на различных этапах выполнения программы конверсии. И, хоть в России ещё ни один исследовательский реактор не был конвертирован для использования НОУ топлива, разработки в этом направлении активно ведутся в МИФИ, Димитровграде и ТПУ.

Список литературы:

1. Alexander Glaser. On the Proliferation Potential of Uranium Fuel for Research Reactors at Various Enrichment Levels // Science and Global Security. – Princeton, 2006, C. 2–4.
2. Travelli. The U.S. RERTR Program Status and Progress // 1997 International Meeting on Reduced Enrichment for Research and Test Reactors. – Jackson Hole, 1997. – C. 3.
3. Alexander Glaser. Neutronics Calculation Relevant to the Conversion of Research Reactors to Low-Enriched Fuel: PhD thesis – Darmstadt, 2005. – 285 p.
4. T.H. Newton. LEU Conversion Activities at the MIT Research Reactor: Use of Neutronic Models for Safety Analyses // International Meeting on Reduced Enrichment for Research and Test Reactors. – Lisbon, 2010. – C. 2.

УДК 621.039.516.22

Исследование нейтронно-физических характеристик активной зоны реактора ИРТ-Т

А.К. Лиханов, С.Н. Елпашев, А.Г. Наймушин
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия
E-mail: agn@tpu.ru

Была разработана детальная модель активной зоны реактора ИРТ-Т [1], со свежей загрузкой высокообогащенного топлива для программы MCU (рис. 1) [2].

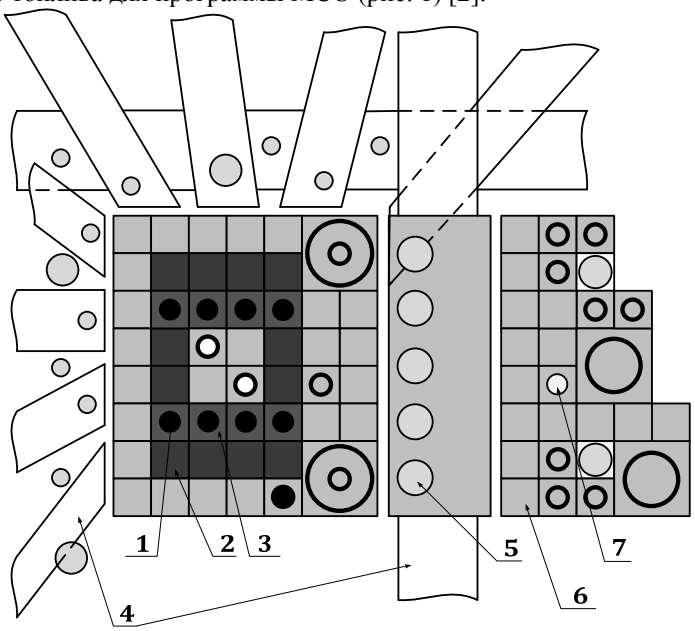


Рис. 1. Схема активной зоны реактора ИРТ-Т: 1. стержни регулирования, 2. 8-ми трубные ТВС, 3. 6-ти трубные ТВС, 4. горизонтальные экспериментальные каналы, 5. вертикальные экспериментальные каналы, 6. бериллиевые блоки, 7. экспериментальные каналы с водой

Были рассчитаны коэффициенты неравномерности энерговыделения:

- высотный ($K_z^{max} = 1,29$)
- радиальный ($K_r^{max} = 1,20$)
- азимутальный ($K_\varphi^{max} = 1,52$)
- неравномерность по ячейкам активной зоны ($K_\Sigma^{max} = 1,37$).

Опираясь на коэффициенты неравномерности энерговыделения, получены значения максимальных тепловых потоков с поверхности ТВС (рис. 2).

311,06	343,26	354,15	370,16
309,87	440,97	434,90	395,10
427,21			470,34
434,26			473,34
322,20	436,66	449,96	392,71
306,00	375,04	354,65	373,97

Рис. 2. Максимальные тепловые потоки с поверхности ТВС, кВт/м^2

Учитывая полученные результаты, была просчитана полная компания, со свежей загрузкой и рассмотрены следующие характеристики:

- Длительность полной компании, которая составила 383 суток.
- Выгорание U^{235} (рис.3).

- Затраты U^{235} на выработку 1 МВт*сутки энергии: 1,27 гU^{235}/(МВт*сутки).

42,9	45,7	46,8	47,3
46,5	52,0	53,6	52,2
52,3			58,0
53,1			57,3
49,7	52,7	53,0	51,0
44,1	46,4	46,6	46,5

Рис. 3. Среднее выгорание U^{235} по ТВС, %

Список литературы:

1. Варлачев В.А., Гусаров О.Ф., Заболотнов С.А. и др. Исследовательский ядерный реактор ИРТ-Т. – Томск: Изд-во ТПУ, 2002. – 56 с.
2. Алексеев Н.И., Гомин Е.А., Городков С.С. Программа MCU5PTR //РНЦ «Курчатовский институт» Иститут ядерных реакторов, – М., 2007.
3. http://mcu.vver.kiae.ru/rabout.html

УДК 621.0

Ресурсы атомной эенергетики

И.А. Мальцев, Р.С. Федюк
Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток, Россия
E-mail: captainvmf@yandex.ru

Рассмотрена проблема ресурсов ядерного топлива. Проанализированы перспективы применения АЭС с реакторами на быстрых нейтронах. Кроме совершенствования самого реактора в докладе обозначены вопросы об улучшении системы безопасности на АЭС.

Атомная энергетика попрежнему остается предметом острых дебатов. Сторонники и противники атомной энергетики резко расходятся в оценках ее безопасности, надежности и экономической эффективности. Кроме того, широко распространено мнение о возможной утечке ядерного топлива из сферы выработки электроэнергии и его использовании для создания ядерного оружия.

Естественным и немаловажным представляется вопрос о ресурсах самого ядерного топлива. Достаточны ли его запасы, чтобы обеспечить широкое развитие ядерной энергетики? По оценочным данным, на всем земном шаре в месторождениях, пригодных для разработки, имеется несколько миллионов тонн урана.Это довольно много, но необходимо также учитывать, что в получивших в настоящее время широкое распространение АЭС с реакторами на тепловых нейтронах лишь очень небольшая часть урана (около 1%) используется для выработки энергии. Поэтому при специализации только на реакторах с тепловыми нейтронами, ядерная энергетика по соотношению ресурсов не так уж много может добавить к обычной энергетике - всего лишь около 10%. Глобального решения надвигающейся проблемы энергетического голода не получается.

Совсем иные перспективы появляются в случае применения АЭС с реакторами на быстрых нейтронах, в которых используются практически весь добываемый уран. Это означает, что объем потенциальных ресурсов ядерной энергетики с реакторами на быстрых нейтронах примерно в 10 раз больше чем в традиционной (на органическом топливе). Более того, при полном использовании урана становится рентабельной его добыча в месторождениях с малой его концентрацией. А это в конечном счете означает практически неограниченное (по современным масштабам) расширение потенциальных сырьевых ресурсов ядерной энергетики.

Итак, применение реакторов на быстрых нейтронах значительно расширяет топливную базу ядерной энергетики. Однако может возникнуть вопрос: если реакторы на быстрых нейтронах так хороши, и существенно превосходят реакторы на тепловых нейтронах по эффективности использования урана, то почему последние вообще строятся? Почему бы с самого начала не развивать ядерную энергетику на основе реакторов на быстрых нейтронах? Прежде всего, следует

сказать, что на первом этапе развития ядерной энергетики, когда суммарная мощность АЭС была мала и ресурсов было достаточно, вопрос об их воспроизводстве не стоял так остро. Поэтому основное преимущество реакторов на быстрых нейтронах - большой коэффициент воспроизводства - еще не являлся решающим.

В то же время вначале реакторы на быстрых нейтронах оказались не готовыми к внедрению. Дело в том, что при своей кажущейся относительной простоте (отсутствие замедлителя) они технически более сложны, чем реакторы на тепловых нейтронах. Для их создания необходимо было решить ряд серьезных проблем, что потребовало продолжительного времени. Эти проблемы связаны в основном с особенностями использования ядерного топлива, которые, как и способность к воспроизводству, по-разному проявляются в реакторах различного типа. Однако в отличие от последней эти особенности сказываются более благоприятно в реакторах на тепловых нейтронах.

Первая из этих особенностей заключается в том, что ядерное топливо не может быть израсходовано в реакторе полностью, как расходуется обычное химическое топливо. Последнее, как правило, сжигается в топке до конца. Возможность протекания химической реакции практически не зависит от количества вступающего в реакцию вещества. Цепной ядерной реакцией не происходит, если количество топлива в реакторе меньше определенного значения, называемого критической массой.

Уран (плутоний) в количестве, составляющем критическую массу, не является топливом в собственном смысле этого слова. Он на время как бы превращается в некоторое инертное вещество наподобие железа или других конструкционных материалов, находящихся в реакторе. Выгорать может лишь та часть топлива, которая загружается в реактор сверх критической массы. Таким образом, ядерное топливо в количестве, равном критической массе, служит своеобразным катализатором процесса, обеспечивает возможность протекания реакции, не участвуя в ней.

Естественно, что топливо в количестве, составляющем критическую массу, физически неотделимо в реакторе от выгорающего топлива. В тепловыделяющихся элементах, загружаемых в реактор, с самого начала помещается топливо, как для создания критической массы, так и для выгорания. Значение критической массы неодинаково для различных реакторов и в общем случае относительно велико.

Так, для серийного отечественного энергетического блока с реактором на тепловых нейтронах ВВЭР-440 (водо-водяной энергетический реактор мощностью 440 МВт) критическая масса уран-235 составляет 700 кг. Это соответствует 2 млн тонн угля. Иными словами, применительно к электростанции на угле той же мощности это означает обязательное наличие при ней такого довольно значительного количества неприкосновенного запаса угля. Ни один киллограмм из этого запаса не расходуется и не может быть израсходован, однако без него электростанция работать не может.

Наличие такого крупного количества "замороженного" топлива, хотя и сказывается отрицательно на экономических показателях, но в силу реально сложившегося соотношения затрат для реакторов на тепловых нейтронах оказывается не слишком обременительным. В случае же реакторов на быстрых нейтронах с этим приходится считаться более серьезно.

Реакторы на быстрых нейтронах обладают существенно большей критической массой по сравнению с реакторами на тепловых нейтронах (при заданных размерах реактора). Это объясняется тем, что быстрые нейтроны при взаимодействии со средой оказываются более "инертными", чем тепловые. В частности, вероятность вызвать деление атома топлива (на единицы длины пути) для них в сотни раз меньше, чем для тепловых. Для того, чтобы быстрые нейтроны не вылетали без взаимодействия за пределы реактора и не терялись, их "инертность" необходимо компенсировать увеличением количества закладываемого топлива с соответствующим возрастанием критической массы.

Чтобы реакторы на быстрых нейтронах не проигрывали по сравнению с реакторами на тепловых нейтронах, необходимо повышать мощность, развиваемую при заданных размерах реактора. В таком случае количество "замороженного" топлива на единицу мощности будет уменьшаться. Достижение высокой плотности тепловыделения в реакторе на быстрых нейтронах и явилось главной задачей новых электростанций.

Следует заметить, что сама по себе мощность непосредственно не связана с количеством топлива, находящегося в реакторе. Если это количество превышает критическую массу, то в нем засчет созданной нестационарности цепной реакции можно развить любую требуемую мощность. Вопрос заключается в том, чтобы обеспечить достаточно интенсивный теплоотвод из реактора. Речь идет именно о повышении плотности тепловыделения, ибо увеличение, например, размеров

реактора, способствующее увеличению теплоотвода, неизбежно влечет за собой и увеличение критической массы, т.е. не решает задачи.

Положение осложняется еще и тем, что для теплоотвода из реактора на быстрых нейтронах такой привычный и хорошо освоенный теплоноситель, как обычная вода, не подходит в силу своих ядерных свойств. Она, как известно, замедляет нейтроны и, следовательно, понижает коэффициент воспроизводства. Газовые теплоносители (гелий и другие) обладают в данном случае приемлемыми ядерными параметрами. Однако требования интенсивного теплоотвода приводят к необходимости использовать газ при высоких давлениях (примерно $1{,}5\times10^7$ Па), что вызывает соответствующие технические трудности.

В качестве теплоносителя для теплоотвода из реакторов на быстрых нейтронах был выбран обладающий прекрасными теплофизическими и ядерно-физическими свойствами расплавленный натрий. Он позволил решить поставленную задачу достижения высокой плотности тепловыделения.

Следует указать, что в свое время выбор "экзотического" натрия казался очень смелым решением. Не было никакого не только промышленного, но и лабораторного опыта его использования в качестве теплоносителя. Вызывала серьезные опасения высокая химическая активность натрия при взаимодействии с водой, а также с кислородом воздуха, которая, как представлялось, могла весьма неблагоприятно проявиться в аварийных ситуациях.

Потребовалось проведение большого комплекса научно-технических исследований и разработок, сооружение стендов и специальных экспериментальных реакторов на быстрых нейтронах, для того, чтобы убедиться в хороших технологических и эксплутационных свойствах натриевого теплоносителя. Как было при этом показано, необходимая высокая степень безопасности обеспечивается следующими мерами: во-первых, тщательностью изготовления и контроля качества всего оборудования, соприкасающегося с натрием; во-вторых, созданием дополнительных страховочных кожухов на случай аварийной протечки натрия; в-третьих, использованием чувствительных индикаторов течи, позволяющих достаточно быстро регистрировать начало аварии и принимать меры к ее ограничению и ликвидации.

Кроме обязательного существования критической массы есть еще одна характерная особенность использования ядерного топлива, связанная с теми физическими условиями, в которых оно находится в реакторе. Под действием интенсивного ядерного излучения, высокой температуры и, в особенности, в результате накопления продуктов деления происходит постепенное ухудшение физико-математических, а также ядерно-физических свойств топливной композиции (смеси топлива и сырья). Топливо, образующее критическую массу, становится непригодным для дальнейшего использования. Его приходится периодически извлекать из реактора и заменять свежим. Извлеченное топливо для восстановления первоначальных свойств должно подвергаться регенерации. В общем случае - это трудоемкий, длительный и дорогостоящий процесс [1].

Для реакторов на тепловых нейтронах содержание топлива в топливной композиции относительно небольшое - всего несколько процентов. Для реакторов на быстрых нейтронах соответствующая концентрация топлива значительно выше. Частично это связано с уже отмеченной необходимостью увеличения количество топлива вообще в реакторе на быстрых нейтронах для создания критической массы в заданном объеме. Главное же заключается в том, что отношение вероятностей вызвать деление атома топлива или быть захваченным в атоме сырья различно для разных нейтронов. Для быстрых нейтронов оно в несколько раз меньше, чем для тепловых, и, следовательно, содержание топлива в топливной композиции реакторов на быстрых нейтронах должно быть больше. Иначе слишком много нейтронов будет поглощаться атомами сырья и стационарная цепная реакция деления в топливе окажется невозможной. Причем при одинаковом накоплении продуктов деления в реакторе на быстрых нейтронах выгорает в несколько раз меньшая доля заложенного топлива, чем в реакторах на тепловых нейтронах. Это приводит к необходимости увеличить регенерацию ядерного топлива в реакторах на быстрых нейтронах. В экономическом отношении это даст заметный проигрыш.

Но кроме совершенствования самого реактора перед учеными все время встают вопросы об улучшении системы безопасности на АЭС, а также изучении возможных способов переработки радиоактивных отходов, преобразовании их в безопасные вещества. Речь идет о методах превращения стронция и цезия, имеющих большой период полураспада, в безвредные элементы путем бомбардировки их нейтронами или химическими способами. Теоретически это возможно, но при современном уровне развития технологии это экономически нецелесообразно. Хотя, возможно, уже в ближайшем будущем будут получены реальные результаты этих исследований, в

результате которых атомная энергия станет не только самым дешевым видом энергии, но и действительно экологически чистым [2].

Список литературы:

1. Синев Н.М. Экономика ядерной энергетики: Основы технологии экономики ядерного топлива. Экономика АЭС. М., 1987
2. Самойлов О.Б., Усынин Г.Б., Бахметьев А.М. Безопасность ядерных энергетических установок. М., 1989

УДК 621.039.516.22

Разработка методики расчета отравления бериллиевого отражателя

А.А. Пахтусов, А.Г. Наймушин
Томский Политехнический Университет, г. Томск, Россия
E-mail: agn@tpu.ru

Разработана методика расчета отравления бериллиевого отражателя активной зоны реактора ИРТ-Т. На основе оцененных нейтронных данных получены соответствующие цепочки превращений и составлены дифференциальные уравнения.

Реактор ИРТ-Т (исследовательский реактор типовой) это реактор бассейнового типа с использованием в качестве замедлителя, теплоносителя и верхней защиты дистиллированной воды [1].

Под воздействием реакторного излучения в бериллии происходят реакции, приводящие к замещению его ядер в кристаллической решетке другими ядрами. В частности, в результате взаимодействия нейтронов с ядрами бериллия происходит накопление ядер ^{6}Li и ^{3}He, обладающих большим сечением захвата тепловых нейтронов. Ядра ^{6}Li и ^{3}He в дальнейшем будем называть – ядрами-отравителями.

Накопление ядер (^{3}He, ^{4}He, ^{3}H, ^{6}Li) в кладке активной зоны реактора приводит к изменению нейтронно-физических и механических характеристик бериллиевых блоков.

Накопление поглотителя нейтронов (ядра ^{3}He, ^{6}Li) влечет за собой изменение важнейших физических характеристик реактора: запаса реактивности, эффективности органов СУЗ, эффектов реактивности при перегрузке и перераспределению энерговыделения при работе реактора. Возникновение дефектов в кристаллической решетке бериллия, вследствие накопления ядер ^{3}He, ^{4}He, ^{3}H, ^{6}Li , снижает прочность и приводит к образованию продольных и поперечных трещин в бериллиевых блоках, что требует своевременной их замены [2].

Поэтому требуется контроль состава бериллиевых блоков, в том числе и расчетными методами.

Была разработана модель для программы MCU [3] (рис. 1).

Для получения более детальной картины выгорания, бериллиевые блоки были разбиты на материальные зоны:

- все блоки по высоте на 10 зон высотой 6,6 см;
- цельные бериллиевые блоки по краям активной зоны были разбиты на две равные зоны, так что одна зона ближе к центру активной зоны, а другая дальше;
- цельные бериллиевые блоки и бериллиевые блоки с пробкой в центре активной зоны и бериллиевый блок с каналом для стержня АР не разбивались;
- бериллиевые блоки с пробками диаметром 96 и 44 мм разбивались на четыре равные зоны по осям OX и OY;
- бериллиевая пластина с каналом ГЭК-4 разбита на две равные зоны по оси OX и пять равных зон по оси OY.

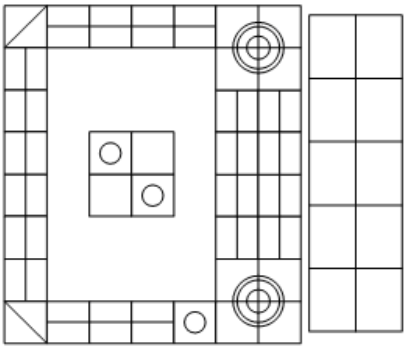


Рис. 1. Схема разбиения бериллиевых блоков

В начале кампании материальный состав всех зон одинаков. Накопление ядер-отравителей в каждой зоне зависит от распределения плотности потока нейтронов в данной зоне.

Для анализа возможных превращений Be^{9} были использованы библиотеки оцененных нейтронных данных

ENDF/B-VII.0, CENDL-3.1, JEFF 3.1.1, JENDL 4.0, EAF-2007, TENDL-2009 [4]. На основе этих данных была построена диаграмма всех возможных реакций в бериллиевом блоке. Большинство этих реакций являются пороговыми либо имеют очень малое значение микроскопических сечений и поэтому они были исключены. Используя эти допущения, была получена схема превращений (рис. 2) и составлены соответствующие дифференциальные уравнения (1).

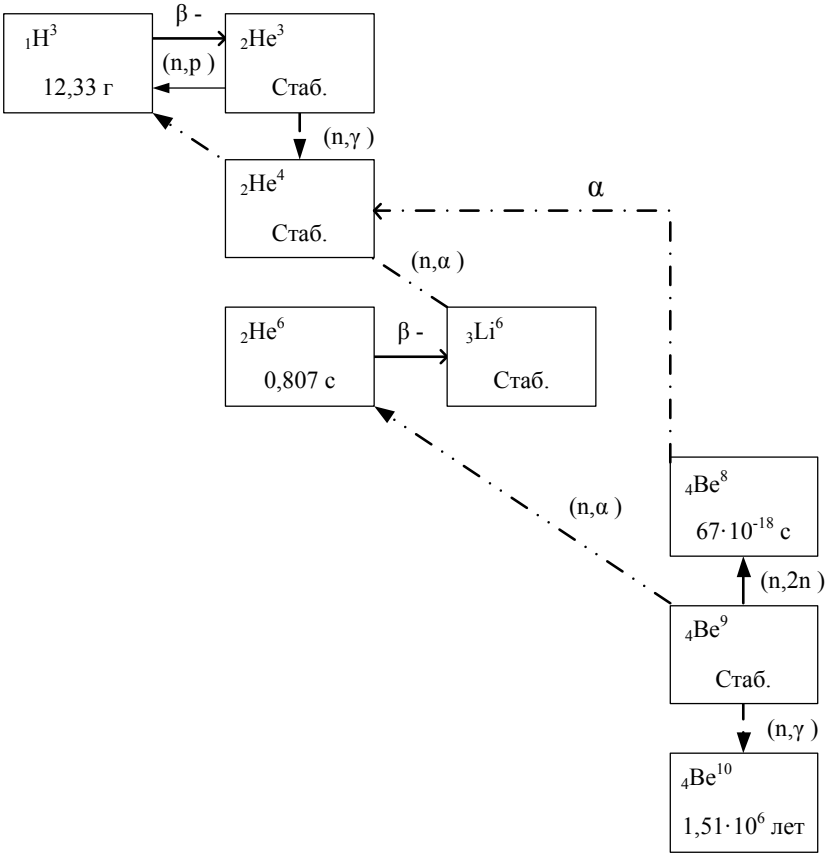


Рис. 2. Схема превращений в бериллиевом блоке

$$\begin{cases} \dfrac{dN(Be^9)}{dt} = -\left(\sigma^{\alpha}(Be^9)+\sigma^{\gamma}(Be^9)+\sigma^{2n}(Be^9)\right)N(Be^9) \\ \dfrac{dN(Be^{10})}{dt} = \sigma^{\gamma}(Be^9)\Phi N(Be^9) \\ \dfrac{dN(Be^8)}{dt} = \sigma^{2n}(Be^9)\Phi N(Be^9) - \lambda(Be^8)N(Be^8) \\ \dfrac{dN(He^6)}{dt} = \sigma^{\alpha}(Be^9)\Phi N(Be^9) - \lambda(Be^6)N(Be^6) \\ \dfrac{dN(Li^6)}{dt} = \lambda(He^6)N(He^6) - \sigma^{\alpha}(Li^6)\Phi N(Li^6) \\ \dfrac{dN(H^3)}{dt} = \sigma^{\alpha}(Li^6)\Phi N(Li^6) - \lambda(H^3)N(H^3) + \sigma^{p}(He^3)\Phi N(He^3) \\ \dfrac{dN(He^3)}{dt} = \lambda(H^3)N(H^3) - \sigma^{\gamma}(He^3)\Phi N(He^3) - \sigma^{p}(He^3)\Phi N(He^3) \\ \dfrac{dN(He^4)}{dt} = \lambda(Be^8)N(Be^8) + \sigma^{p}(He^3)\Phi N(He^3) \end{cases} \quad (1)$$

Разработанная методика будет использована при расчете отравления бериллиевого отражателя активной зоны реактора ИРТ-Т, начиная с 1984 года, даты последней реконструкции установки.

Список литературы:

1. Варлачев В.А., Гусаров О.Ф., Заболотнов С.А. и др. Исследовательский ядерный реактор ИРТ-Т. – Томск: Изд-во ТПУ, 2002.
2. Бекурц К., Виртц К.. Нейтронная физика. – М.: Атомиздат, 1968.
3. Алексеев Н.И., Гомин Е.А., Городков С.С. Программа MCU5PTR //РНЦ «Курчатовский институт» Иститут ядерных реакторов, – М., 2007.
4. http://www.oecd-nea.org/janis/

УДК 621.039.54

Влияние присутствия в теплоносителе дебрис-частиц на надежность тепловыделяющих элементов и безопасность АЭС

А.В. Кузьмин, В.Ю. Рождествин*

Томский политехнический университет, г. Томск, Россия
**ОАО «Концерн Росэнергоатом», Калининская АЭС, г. Удомля*
E-mail: kuzminav@tpu.ru, criticalmazz@mail.ru

Показаны основные причины повреждения тепловыделяющих элементов современных водо-водяных энергетических реакторов и PWR, выявленные по результатам обследования дефектных тепловыделяющих сборок. Подчеркнута особая роль и механизмы повреждения из-за дебрис-частиц. Показано вероятное влияние на безопасность АЭС присутствия механических загрязнителей теплоносителя первого контура.

В настоящее время одной из актуальных эксплуатационных задач атомной энергетики является повышение надежности топлива АЭС. Последние годы отмечены высокой конкуренцией на топливном рынке, приводящей к использованию более агрессивных проектов и условий эксплуатации. К ним следует отнести: увеличение кампании реактора и кампании топлива, увеличение ураноёмкости тепловыделяющей сборки (ТВС), увеличение удельной мощности ТВС за счет уменьшения консервативных проектных запасов и применение новых конструкционных решений. Несмотря на значительное снижение уровня повреждаемости топлива в 90-х гг., повышение надежности топлива не потеряло своей актуальности [1-3]. Функционирование энергетического рынка в свою очередь, формирует тренд на увеличение коэффициента использования установленной мощности (КИУМ) АЭС.

Зачастую основной из причин сравнительно невысоких значений КИУМ являются статистически неопределенно возникающие повреждения ТВС из-за дефектов оболочек тепловыделяющих элементов (твэл), приводящих к внеплановым остановам и потерям времени на операциях по поиску поврежденных твэл [4, 5].

Работы, проводимые в области повышения надежности твэл можно разделить на два направления [6]:

– улучшение качества и характеристик топлива поставщиками топлива;

– улучшение режимов и условий эксплуатации топлива эксплуатирующими АЭС предприятиями.

Работы по улучшению эксплуатационных характеристик топлива отразились крупномасштабными работами зарубежных производителей топлива и эксплуатирующих АЭС предприятий [4, 7]:

– Robust Fuel Program в 1998 г;

– Fuel Integrity Initiative в 2005 г.

Известно так же о результатах послереакторных исследований ТВС в отечественной практике [8].

По результатам послереакторного обследования облученных ТВС выделяют следующие причины повреждения твэла [4, 7]:

– фреттинг решетки твэла (GTRF – Grid-To-Rod Fretting);

– повреждения из-за дебрис-частиц;

– локальная коррозия, вызванная отложениями (CILC – Cruel-Induced-Localized-Corrosion);

– взаимодействие таблетки с оболочкой (PCI – Pellet-Cladding Interaction).

В свою очередь в причине «повреждение из-за дебрис-частиц» рассматриваются следующие механизмы [3, 8]:

– непосредственно механическое воздействие оболочки твэла и дебрис-частицы;

– нарушение целостности оболочки твэла при захвате дебрис-частицы в местах соприкосновения оболочки твэла и других элементов конструкций ТВС.

Причем в последнем механизме начинают действовать совместно и дебрис-эффекты и фреттинг-коррозия. Такой механизм влияния со стороны теплоносителя на твэлы получил название в литературе как дебрис-фреттинг-фактор (Debriz-Fretting или DF-фактор) [3, 9].

По результатам послереакторных исследований значительное число повреждений было вызвано DF-фактором. Этот вид повреждений стоит на втором месте по количеству вызываемых повреждений после CILC-коррозии [7, 8].

В настоящее время не удается полностью исключить нахождение в теплоносителе дебрис-частиц и попадания в первый контур посторонних предметов [10]. Поиск решения данной проблемы привел к применению в отечественной и зарубежной практике специальных устройств – антидебрисных фильтров для ТВС ВВЭР [11, 12], предназначенных для улавливания дебрис-частиц.

Кроме влияния на надежность эксплуатации твэл при нормальной эксплуатации, антидебрисные устройства способны оказать существенное влияние и на безопасность АЭС.

В ходе выполнения пусконаладочных работ на одном из блоков АЭС с ВВЭР, а именно при комплексном опробовании систем безопасности в режиме имитации течи теплоносителя первого контура (LOCA) совместно с работой спринклерной системы были получены следующие результаты. Упрощенная схема проведения испытаний представлена на рис.1. В ходе работы насоса ввода бора (1) с «чистого отсека» бака-приямка (3) герметичного объема, наблюдалось уменьшение давления во всасывающем трубопроводе, что привело, в конечном счете, к необходимости его принудительного отключения во избежание срыва и повреждения насоса.

Причиной снижения давления явилось засорение защитного конического фильтра (2), установленного на всасывающем трубопроводе насоса (1) и имеющего размер ячеи 0,2 мм. Основную долю загрязнения составили частицы стеклотканной теплоизоляции. Поступление загрязнителей в бак-приямок происходит в ходе смывания водой, распрыскиваемой спринклерной системой, самых разных загрязнителей. Попадание их в «чистый отсек» бака-приямка определяется проектной эффективностью фильтрующих элементов.

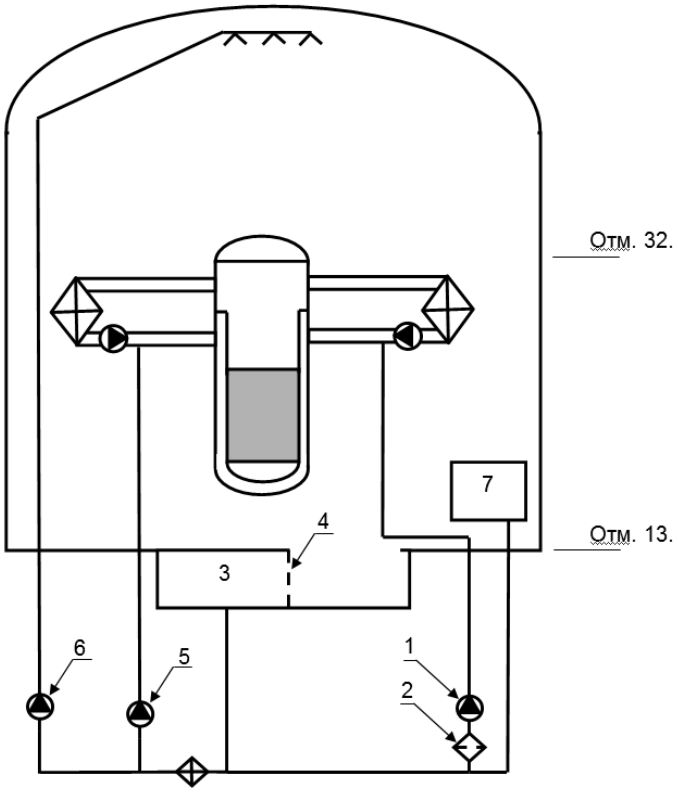


Рис. 1. Схема проведения испытаний:
1 – насос ввода бора; 2 – конический фильтр; 3 – «чистый» отсек бака-приямка запаса бора герметичного объема (600 м^3); 4 – система фильтрующих элементов бака-приямка; 5 – насос аварийно-планового расхолаживания; 6 – спринклерный насос; 7 – бак концентрированного раствора бора (15 м^3)

Наряду с насосами ввода бора (1), подача теплоносителя из «чистого отсека» бака-приямка герметичного объема производится насосами расхолаживания низкого давления (5) не снабженными дополнительными фильтрами, выполняющими в данном случае функцию отвода остаточного энерговыделения от аварийной активной зоны.

В результате присутствия антидебрисных устройств в составе ТВС и поступления загрязнителей в первый контур в ходе аварийного расхолаживания, вероятно их влияние на гидравлическое сопротивление активной зоны при поступлении теплоносителя с «загрязнителями», что, в конечном счете, способно повлиять на протекание аварийного процесса.

Таким образом, оценка захвата механических загрязнителей элементами конструкции ТВС (не только антидебрисными устройствами, но и дистанционирующими решетками, решетками интенсификаторами, антивибрационными решетками) является актуальной задачей, как для нормальной эксплуатации [7] так и для анализа аварийных режимов.

Список литературы:

1. Сообщение ЦНИИатоминформ, 28 августа 2000 г., N 16 (2001).
2. Петельгузов И.А. Работоспособность тепловыделяющих элементов энергетических атомных реакторов типа ВВЭР, PWR и BWR: Обзор.- Харьков: ННЦ ХФТИ, 1999. – 86 с.
3. Review of Fuel Failures in Water Cooled Reactors. – Vienna: International Atomic Energy Agency, 2010.
4. Кидд С. Частота повреждения топлива снижается // Атомная техника за рубежом. – 2009. – №4. – С. 22-24.
5. Типовой технологический регламент безопасной эксплуатации энергоблоков АЭС с реактором ВВЭР-1000 (В-320), ТРВ-1000-5, ВНИИАЭС, 2009.
6. Внесение изменений в проект активной зоны. Сообщение о значительном опыте эксплуатации WANO SOER 2004-1.
7. Соколова И.Д. Опыт эксплуатации топлива в реакторах PWR // Атомная техника за рубежом. – 2010. – №6 – С. 3-11.
8. Марков Д.В., Перепелкин С.О., Поленок В.С., Смирнов В.П., Смирнов А.В., Сухих А.В., Неугодников Д.С. Причины разгерметизации и послереакторное состояние негерметичных ТВЭЛов ВВЭР и РБМК // Атомная энергия. – 2005. – Т. 99. – вып. 5. – С. 376-380.
9. Вайдингер Х.Г. Характеристика топлива LWR // Атомная техника за рубежом. – 1997. – №8. – С. 23-26.
10. Белозерцев М.А. Нарушения в работе АЭС обусловленные попаданием посторонних предметов в оборудование и трубопроводы систем АЭС. Информационное сообщение № 675-ЦАЭ/01, ВНИИАЭС, 2001.
11. Гашенко В.А., Курсков В.С., Абакумова О.Н., Локтионов В.Д. О результатах испытаний антидебрисных фильтров для тепловыделяющих сборок реакторов ВВЭР-440. // Вопросы атомной науки и техники. – 2005. - №3. – С. 98-103.
12. Самойлов О.Б., Кайдалов В.Б., Романов А.И. и др. Технические характеристики и результаты эксплуатации ТВСА ВВЭР-1000. – В сб.: МНТК. – Подольск. – 2007.

УДК 659.039.53

О теплофизических свойствах металлического урана

Е.Ю. Синяткин, А.В. Кузьмин, В.Ю. Рождествин*
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия
**ОАО «Концерн Росэнергоатом», Калининская АЭС, г. Удомля*
E-mail: kuzminav@tpu.ru

Показаны основные физические особенности металлического урана, использование его в ядерных технологиях и влияние на конструктивные решения тепловыделяющих элементов ядерных реакторов. Прослеживается изменение расчетных зависимостей по теплофизическим свойствам. Установлена незаконченность обобщения экспериментальных данных по теплопроводности металлического урана.

Применение металлического уранового топлива началось с исторического эксперимента, проводимого под руководством Э.Ферми, в 1942 году на реакторе СР-1. Тогда ещё дефицитный материал (к началу опытов в топливную загрузку графито-воздушного реактора его удалось подготовить только некоторую часть: 5,6 т против почти 33-х т UO_2 и 3,7 т U_3O_8) позволил создать критическую массу, зафиксировать физическую мощность реактора в 200 Вт и тем самым доказать принципиальную возможность осуществления управляемой ядерной реакции. Практически сразу же началась организация военного производства плутония, в котором металлический уран естественного обогащения представлял идеальное сырье из-за наибольшей ядерной концентрации сырьевого нуклида ^{238}U и высокой теплопроводности.

Изучение урана позволило выявить его существенные физико-химические особенности, обозначить типы и конструктивные решения реакторов с металлическим топливом [1-3]. Экспериментальные данные, полученные до середины 60-х годов, легли в основу первого отечественного справочника по теплофизическим свойствам ядерных материалов [4], который до сих пор пользуется заслуженным вниманием. Более поздние результаты были обобщены Аргонской национальной лабораторией США [5] и представлены с некоторыми изменениями в справочнике [6].

Данная работа преследует следующие цели:

- во-первых, отметить наиболее существенные свойства металлического урана в качестве ядерного горючего, которые повлияли на выбор конструктивных решений тепловыделяющих элементов и реакторов;

- во-вторых, провести анализ возможных изменений данных по теплофизическим свойствам металлического урана. Многие свойства урана определяют его три аллотропические модификации, представленные в табл.1.

Таблица 1. Границы аллотропических модификаций U

Фаза	Тип решетки	Границы фаз, К [4]	Границы фаз, К [6]
α	Орторомбическая	<930	<942
β	Тетрагональная	930-941 – 1045±3	942-1049
γ	Ортоцентрированная, кубическая	1045±3 – 1406±2	1049-1408

Наименьшей симметрией кристаллической решетки обладает α-фаза U и именно ей характерна наибольшая анизотропия физических и механических свойств: теплопроводности, коэффициентов линейного расширения, модуля Юнга по всем трём кристаллографическим осям решетки [1]. Отличия коэффициентов термического расширения и удельных объёмов фаз приводят к высоким напряжениям в металле, к проявлению распухания за счет сдвигов и двойникования. Многократные циклические переходы через точки аллотропических превращений $\alpha \rightleftarrows \beta$ и $\beta \rightleftarrows \gamma$ заметно изменяют форму уранового стержня. Для предупреждения распухания и огрубления поверхности уранового стержня применялось легирование урана от массовых сотых долей % (Fe, Al, Si) до десяти % (Mo, Nb, Zr).

В работающем реакторе структура урана под действием нейтронного облучения и выгорания ядер ^{235}U подвергается радиационному росту и газовому распуханию, выражающимся в изменении его многих физических свойств, в том числе и в снижении коэффициента теплопроводности.

Несмотря на все предпринимаемые поиски легирующих добавок, не удалось изменить критическую температуру облучения равную ~600 ^{o}C, при превышении которой скорость распухания уранового сердечника и вероятность разгерметизации тепловыделяющего элемента (твэла) резко возрастает. Рождение разных типов реакторов с металлическим урановым топливом определялось разными государственными целями, но при выборе теплоносителя, материала оболочки и конструкции твэла помимо химической совместимости материалов ставилась основная теплофизическая задача – выполнение условия не превышения допустимой температуры топлива.

В реакторах по производству плутония из металлического нелегированного урана естественного обогащения параметры производства отвечали этому условию безопасной работы с использованием теплопроводной алюминиевой или магниевой оболочки и охлаждения водой. Снижение контактного термического сопротивления на границе топливо – оболочка обеспечивалось диффузионным сцеплением материалов, а снижение максимальной температуры –

применением внутренней полости. К таким реакторам относят уран-графитовые реакторы («Ханфорд», США) и тяжеловодные реакторы («Саванна Ривер», США; NRX, NRU, Канада).

В реакторах по производству плутония и электроэнергии потребовались более высокие параметры теплоносителя. К числу таких реакторов следует отнести, прежде всего, уран-графитовые реакторы («Колдер Холл», «Брадуэлл», «Беркли» и др., Великобритания; EDF и G, Франция; тяжеловодный реактор КС-150, ЧССР). Пришлось перейти на слаболегированный уран, принять с хорошей теплопроводностью оболочку из сплава магнокс (Mg – 0,55% Zr). В качестве теплоносителя был выбран углекислый газ. Поэтому для снижения термического сопротивления при передаче тепла от стенки к газу была осуществлена программа поиска эффективного оребрения и искусственно созданной шероховатости твэла. Во избежание превышения допустимой температуры топлива использовались и кольцевые твэлы. Переход к высокотемпературным реакторам типа AGR потребовал применения нержавеющих сталей для оболочки твэла с теплопроводностью меньшей, чем у сплава магнокс, и перехода к высоколегированному (до 10% Mo) урану.

Оценка условий выгорания топлива в виде стержней из металлического урана в реакторах на быстрых нейтронах была проведена на экспериментальном реакторе-размножителе EBR-II (США). Одна из композиций сплава U-Pu-Zr по условию распухания топлива показала хорошую совместимость с нержавеющей сталью до 668□ при достигнутом выгорании 5,6 % [2], а при облучении в тепловом реакторе СР-5 12,5% [3].

Таким образом, практика показала, что металлический уран и его сплавы в виде ядерного топлива могут использоваться только при низких температурах и малом выгорании, что исключает их из конкуренции с окисным топливом, применяемом в современных коммерческих энергетических реакторах.

Тем не менее, металлический уран по-прежнему находит нишу для своего применения в виде двухфазного дисперсионного топлива, в котором высокообогащенный металлический уран в виде небольших частиц внедряется в высокотеплопроводную матрицу. Уран-циркониевое дисперсное топливо применялось в первых водо-водяных энергетических реакторах и на подводных лодках. Обогащенный уран в алюминиевой матрице широко используется в исследовательских реакторах для получения потока нейтронов высокой плотности, одним из которых является реактор ИРТ-Т.

После определения возможностей применения металлического урана и его сплавов интерес к изучению его теплофизических свойств несколько поугас. И всё же имеющие к тому времени экспериментальные данные позволили выявить существенные различия между ранними [4] и более поздними обобщениями [5]. Такие свойства как теоретическая плотность и коэффициент теплопроводности металлического урана при 0,1 МПа и 298К остались неизменными и равными 19050 *кг/м*^{3} и 22,5 *Вт/(м·К)*, соответственно. Несколько изменилась температура плавления от 1406±2 к 1405К. Наиболее заметные изменения коснулись теплоемкости, значение которой снизилось от 0,134 до 0,116 кДж/(кг·К) и коэффициента линейного расширения – с 15·10-6 до $13{,}9\cdot10^{-6}\,K^{-1}$.

Плотность, теплоемкость и коэффициент теплопроводности твердого урана в зависимости от температуры определяются его аллотропическим состоянием. Зависимость плотности металлического урана от температуры Т в каждой из фаз определяется следующими соотношениями [6], представленными на рис.1:

$$\alpha-\text{фаза} \qquad \rho = 19{,}36 - 1{,}03\cdot10^{-3}\cdot \mathrm{T}, \tag{1}$$

$$\beta-\text{фаза} \qquad \rho = 19{,}092 - 0{,}9807\cdot10^{-3}\,\mathrm{T}, \tag{2}$$

$$\gamma-\text{фаза} \qquad \rho = 18{,}447 - 0{,}5166\cdot10^{-3}\cdot \mathrm{T}, \tag{3}$$

где ρ имеет размерность г/см3. Можно видеть, что наиболее сильные изменения зависимости $\rho = f(\mathrm{T})$ по сравнению с данными [4] коснулись α− и γ−фаз и не изменилась в β− фазе.

Теплоемкость в каждой из фаз по нижеприведенным данным [5] наиболее существенно отличается от ранних результатов [4]:

$$\alpha-\text{фаза} \qquad \mathrm{C_P} = 104{,}82 + 5{,}3686\cdot10^{-3}\cdot\mathrm{T} + 10{,}1823\cdot10^{-5}\cdot\mathrm{T}^2, \tag{4}$$

$$\beta-\text{фаза} \qquad \mathrm{C_P} = 176{,}4, \tag{5}$$

$$\gamma-\text{фаза} \qquad \mathrm{C_P} = 156{,}8, \tag{6}$$

что и показано на рис.2.

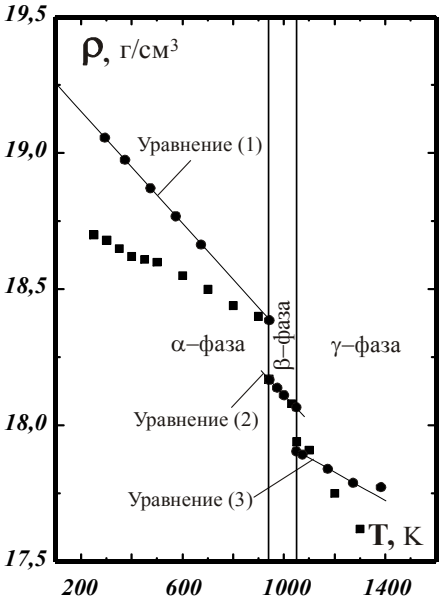


Рис. 1. Данные по плотности U:
■ - [4]; ● - [6]

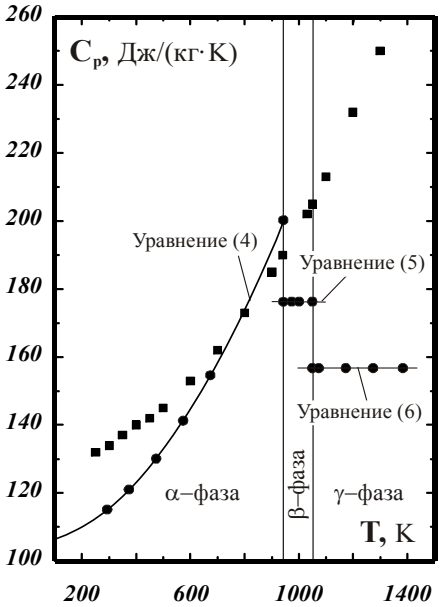


Рис. 2. Данные по теплоемкости U:
■ - [4]; ● - [5]

Аппроксимации для коэффициента теплопроводности металлического урана, полученные гораздо позже [4] на основе обработки новых коллекций экспериментальных данных, представлены на рис.3. В отличие от ρ и Ср, для которых расчетные зависимости определялись для каждой фазы, аппроксимации для λ находили в диапазоне 293–1405 K. Одно из рекомендуемых соотношений сделано на основании специальной выборки [5]:

$$\lambda = 20,457 + 1,2047 \cdot 10^{-2} \cdot T - 5,7368 \cdot 10^{-6} \cdot T^2. \quad (7)$$

Там же дается соотношение, предложенное ФЭИ по своей экспериментальной выборке:

$$\lambda = 22,356 - 0,0161 \cdot T + 0,000123 \cdot T^2 - 1,346 \cdot 10^{-7} \cdot T^3 + 3,756 \cdot 10^{-11} \cdot T^4 \quad (8)$$

и имеющее погрешность ± 15%.

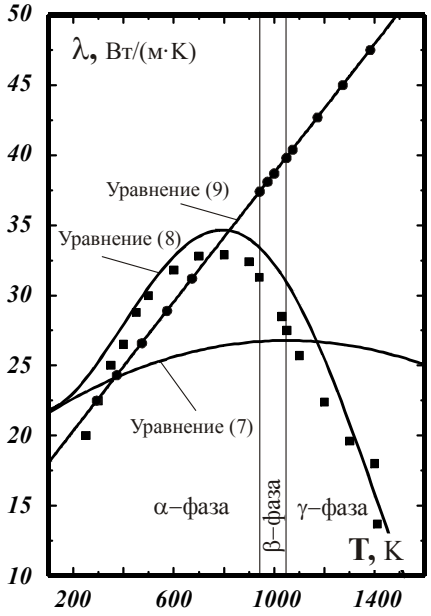


Рис. 3. Данные по теплопроводности U:
■ - [4]; ● - [6]

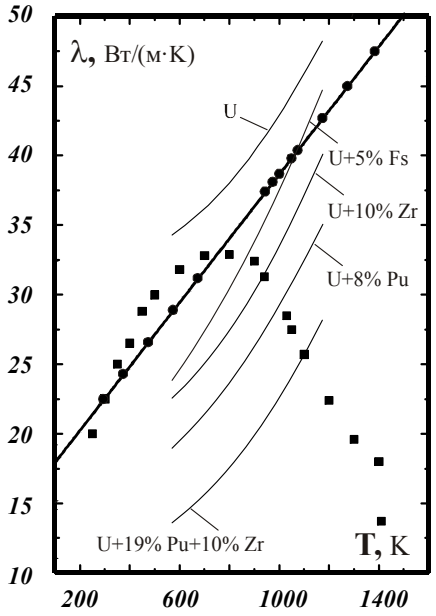


Рис. 4. Теплопроводность U и его сплавов:
■ - [4]; ● - [6]

Иная зависимость дается в справочнике [6], которая обобщает ряд экспериментальных данных, представленных в [5], с погрешностью ± 10%:

$$\lambda = 22 + 0,023 \cdot (T - 273). \quad (9)$$

На рис.3 и 4 она представлена в виде кружков для дискретных значений и связывающей прямой.

Для сопоставления со справочными данными [4,6] на рис.4 представлены значения коэффициента теплопроводности [3] для необлученного металлического топлива с теоретической плотностью и его сплавов.

Анализ расчетных формул для коэффициента теплопроводности металлического урана позволяет разбить их на 2 группы по характеру учета аллотропического эффекта:

- влияние фазового состояния урана прослеживается в экспериментальных данных [4] и в аппроксимациях (7), (8) [5];
- отсутствие влияния эффекта фаз на теплопроводность урана наблюдается в опытах [3] и в расчетной зависимости (9) [6].

Это позволяет предполагать о незаконченности обобщений данных по теплопроводности металлического урана.

Список литературы:

1. Самойлов А.Г. Тепловыделяющие элементы ядерных реакторов: учебное пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 224 с., ил.
2. Фрост Б. Твэлы ядерных реакторов: Перевод с английского. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 248 с.: ил.
3. Мурогов В.М., Ваньков А.А., Илюлин В.Г. Перспективы использования металлического урана в быстрых реакторах. – Обнинск: ФЭИ, 1988. – 64 с.
4. Чиркин В.С. Теплофизические свойства материалов ядерной техники: Справочник. – М.: Атомиздат, 1968. – 484 с.
5. Thermophysical Properties of Materials for Water Cooled Reactors: Report IAEA-TECDOC-949. – Vienna: IAEA, 1997.
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 621.039

Международные тенденции развития кооперации хранения, транспортировки и переработки ОЯТ атомных электростанций

А.П. Шадрин

Институт физико-технических проблем Севера СО РАН, г. Якутск, Россия

E-mail: a.p.shadrin@iptpn.ysn.ru

В XXI веке перед человечеством остро встали проблемы экологии, изменения климата и дефицита чистой пресной воды. В решении экологических проблем особое место занимают вопросы развития ядерной энергетики. Атомные электростанции (АЭС) не оказывают негативного воздействия на окружающую среду при условии соблюдения правил их эксплуатации. В странах мира стремятся к развитию экологически безопасной атомной энергетики. В настоящее время доля АЭС в мировом электропроизводстве достигла 17%. Во Франции они вырабатывают более 77% электроэнергии. Эта страна стала "экологической витриной" в Евросоюзе. Существенное увеличение количества атомных станций наблюдается в Азии, в частности, в Китае, Индии, Южной Корее и Японии. До 2020 г. в этом регионе планируется ввести в строй до 30 новых ядерных блока: в Китае - 12, России - 8, Южной Корее - 10, Тайване - 2 и Японии - 6. В целом на Ближнем и Дальнем Востоке и в Южной Азии работает 130 и более ядерных энергоблока и строится еще 35 (табл. 1 и 2).

Возрождение ядерной отрасли энергетики в последние годы вызывает необходимость реальной кооперации стран Северо-Восточной Азии по переработке отработавшего ядерного топлива (ОЯТ). Отработавшее ядерное топливо АЭС включает тепловыделяющие элементы и сборки, извлеченные из активной зоны реактора (после выдержки). Это особый вид высокорадиоактивных отходов. В некоторых странах (США, Канада, Швеция, Испания,

Финляндия и др.) отработавшее ядерное топливо полностью относят к радиоактивным отходам (РАО).

Таблица 1. Современное состояние развития атомной энергетики в странах АТР

Страна	Действующие АЭС		Строящиеся АЭС (до 2020г.)		Доля АЭС в производстве эл. энергии, %
	Число энергоблоков	Общая мощность, МВт (э)	Число энергоблоков	Общая мощность, МВт (э)	
Япония	53	43 490	4	3 200	33,8
Россия	30	20 800	8	4 800	17,0
Южная Корея	16	13 000	8	7 820	40,7
Индия	14	2 500	2	2 000	3,1
Тайвань	6	4 880	2	2 560	24,0
Китай	3	2 160	7	6 420	1,2
Иран	-	-	2 (10)	2 000 (20000)	-
Всего:	122 (130)	86 830	29	28 800	

Таблица 2. Сравнение параметров заводов-комплексов по переработке и хранению ОЯТ и доля электропроизводства АЭС в некоторых странах мира (по состоянию на 01.01.2010 г.)

Страна	Количество ядерных		Производитель-ность завода, т/год к . 2010-2020 гг.	Место размещения завода	Доля электро-выработки АЭС, %
	Работаю-щих	Строя-щихся			
США	110	-	1500-2100**	Штат Теннесси и др.	< 22
Франция	59	-	1600	Мыс Аг	< 78
Япония	54	3	900**	о. Хонсю, пос. Роккасё	< 35
Англия	35	-	1200	Селлафилд и другие	< 25
Россия	30	8	1900* (РТ-2)	г. Железногорск	17
Германия	19	-	1400	-	31
Канада	21	-	-	-	12
Южная Корея	16	4	-	-	41
Китай (Тайвань)	3 (6)	8 (2)	-	-	1,2(24)
Индия	14	-	600	-	3,1

* - с учетом II очереди; ** - реализуемые проекты

В России отработавшее ядерное топливо частично поступает на переработку (после выдержки в хранилищах мокрого и сухого метода) на радиохимические заводы (регенерация топлива - РТ-1 и РТ-2) для извлечения остатков старого и вновь образовавшегося топлива (U235, Pu239, Ри241). В результате радиохимической переработки ОЯТ также образуется большой объем радиоактивных отходов, поэтому многие страны мира ориентируются на долговременное (до 50-ти и более лет) хранение отработавшего ядерного топлива, т. е. работают по так называемому открытому топливному циклу. Это дает им возможность подготовиться к окончательному захоронению ОЯТ, но не исключает возможности его химической переработки в дальнейшем. На первом этапе развития атомной энергетики открытый ядерный топливный цикл был принят в Швеции, Канаде, США и некоторых других странах. Особый интерес представляет опыт Швеции, где отработавшие тепловыделяющие сборки накапливаются в бетонном бассейне (с водой) на глубине около 30 м в центральном хранилище для всех АЭС страны. Проектная вместимость этого хранилища до 9000 т и более.

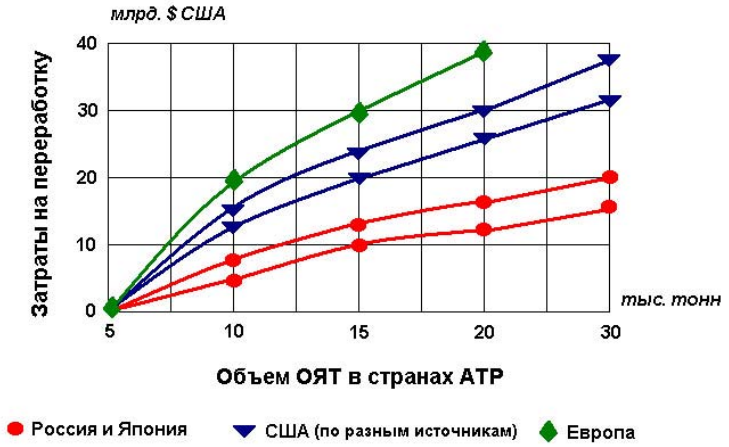


Рис. 1. Прогноз мировой тенденции по переработке ОЯТ

По оценкам специалистов к 2015-2020 гг. из всех действующих в мире реакторов будет выгружено более 350 тыс. т отработавшего ядерного топлива, основная часть которого удалена без переработки на хранение сроком на 20÷100 лет перед окончательным захоронением. Это связано с тем, что создание заводов-комплексов по переработке отработавшего ядерного топлива очень дорогой комплекс, затраты составляют от $50 до100 млрд., в зависимости от объема переработки (например, комплекс США штат Невада Макки-Юкка).

В таблице 3 приведены мощности существующих, вводимых и планируемых к строительству (до 2020 г. и более) заводов-комплексов. Эти данные показывают незначительные возможности отдельных государств перерабатывать отработавшее ядерное топливо, поэтому страны, развивающие атомную энергетику, должны кооперироваться. В настоящее время в Азиатско-Тихоокеанском регионе (АТР) заводы по переработке отработавшего ядерного топлива (РТ-1) мощностью 400 т/год имеет Россия и Япония (провинция Аомори). Это является комплексом замкнутого ядерного топливного цикла. Технология этого завода может обеспечивает переработку отработавшего ядерного топлива российских атомных станций, и может быть АЭС стран Восточной Европы и СНГ с реакторами типа LWR и БР В перспективе с вводом в России завода-комплекса РТ-2 объем переработки отработавшего ядерного топлива достигнет 1900 т/год, поэтому наша страна сможет принять отработавшее ядерное топливо стран Азиатско-Тихоокеанского региона (Китая, Южной Кореи и др.) по специальной договоренности, по экологии и стандартизации контейнеров доставки ОЯТ и колеи железных дорог.

Таблица 3. Совокупная структурная мощность заводов по переработке ОЯТ.

Страна	**Тип реактора**	**Мощность, т/год**	
		2000 г.	**2020 г.**
Великобритания	Газографитный (ГР) Легководный (LWR) Размножитель (БР)	1500 1200 10	1500 1200 10
Франция	ГР LWR БР	600 1600 5	- 1600 5
Россия	LWR	400 РТ-1	1900 (РТ-1 + РТ-2)
Япония	LWR	900	900
Всего		6215	6215

До недавнего времени Япония, например, возила ОЯТ на переработку во Францию (до порта Шербур и затем на мыс Аг). Расстояние доставки отработавшего ядерного топлива колеблется (в зависимости от маршрута) от 22,7 до 27,5 тыс. км. Заключение спецдоговора Японии с Россией о переработке части отработавшего ядерного топлива своих АЭС позволит сократить расстояние доставки в 4…5 раз, включая провинцию Аомори.

Рис. 1 показывает прогноз затрат на переработку отработавшего ядерного топлива (в зависимости от объема) после введения в России завода-комплекса РТ-2. Затраты могут сократиться в два…три и более раза.

Поэтому необходимо проанализировать национальные программы развития атомной энергетики, состояние и перспективы развития комплексов переработки и хранения ОЯТ в отдельных странах. Япония, транспортируя отработавшее ядерное топливо своих АЭС для переработки во Францию, несет огромные затраты. За переработку ОЯТ в Великобритании и Франции необходимо платить до 800-1300 долларов за килограмм. Вот почему Япония в ближайшие годы (до 2015-2020 гг.) планирует завершить строительство завода-комплекса в северо-восточной части острова Хонсю с производительностью первой очереди до 800 т/год. Таким образом, в Азиатско-Тихоокеанском регионе в области переработки ОЯТ целесообразны и необходимы общие усилия и кооперация в развитии комплексов переработки ОЯТ и его хранения с учетом формирования единых транспортных средств и контейнеров (морских, речных, железнодорожных и автомобильных). Согласованная стандартизация габаритных размеров вагонов-контейнеров, с учетом различий колеи железных дорог стран АТР, а также создание международного трансконтинентального центра по требованиям МАГАТЭ переработки и хранения ОЯТ и нераспространения делящихся материалов, что будет решать одну из важнейших проблем развития человеческой цивилизации в XXI веке, повышение безопасности АЭС для энергообеспечения экологически чистыми технологиями.

Список литературы:

1. Ядерное топливо для человечества // Сборник докладов Международной конференции 5-8 октября 1998. Электросталь. Россия. – М., 1999. – 835 с.
2. Ядерный топливный цикл // Научная конференция Минатома России «Атомная энергия». Октябрь, 2000. – Том 89. – Вып. 4. – С. 259-343.
3. Новая национальная энергетическая политика США // Ядерное общество. – № 34. Сентябрь, 2001. – С. 34-41.
4. Энергетика России: проблемы и перспективы. Труды науч. сессии РАН / под ред. В.Е. Фортова, Ю.Г. Леонова. –М.: Наука, 2006. -499 с.
5. Велихов Е.П., Гагаринский А.Ю., Субботин С.А., Цибульский В.Ф. Россия в мировой энергетике XXI века. –М.: ИздАТ, 2006. -136 с.
6. Нигматулин Р.И. Как обустроить экономику и власть России. Анализ инженера и математика. Экономика. –М.: 2007. -460 с.
7. Симонов К.В. Глобальная энергетическая война. Тайны современной политики. –М.: Алгоритм, 2007. -272 с.
8. Материалы IX Международного симпозиума по развитию холодных регионов 1-5 июня 2010 г. CD. Г. Якутск, 2010 г.
9. Шадрин А.П., Хрилев Л.С., Самойлов О.Б., Слепцов О.И., Кобылин В.П. Проблемы северного завоза топлива и роль использования плавучих АЭС. Межотраслевая научно-практическая конференция «Плавучие АТЭС – обоснование безопасности и экономичности, перспективы использования в России и за рубежом». ПАТЭС-2008. 25-26 ноября, Нижний-Новгород.

Прямое плазменное получение ядерного топлива из гексафторида урана

О.Д. Шахматова
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия
E-mail: olga29101991@rambler.ru

Проведено термодинамическое моделирование процесса прямой плазменной конверсии гексафторида урана в двуокись урана в различных плазменных теплоносителях и определены условия прямого получения двуокиси урана. Сделан вывод о принципиальной возможности процесса прямого получения ядерного топлива в виде двуокиси урана из обогащенного гексафторида урана.

При традиционном подходе к получению чистых оксидов урана из растворов процесс осуществляют с применением целого ряда следующих гидрохимических операций: осаждение нерастворимой соли (аммиакаты, оксалаты, карбонаты, фториды и пр.), фильтрация, сушка, прокалка, переработка маточного раствора, абсорбция оксидов азота и т.п. [1-3].

Однако, представляет интерес определение возможности прямого получения двуокиси урана непосредственно из гексафторида урана с применением плазменной техники в условиях

различных плазменных теплоносителей [2]. Это позволило бы радикально уменьшить стоимость целевого продукта за счет сокращения количества передельных операций, объема емкостного оборудования, затрат химических реагентов, энергозатрат и трудозатрат. Кроме того, все операции получения оксидных материалов, основанные на осаждении и последующих гидрохимических операциях, наносят большой ущерб окружающей среде.

В данной работе представлены результаты термодинамического моделирования процесса плазменной конверсии гексафторида урана при давлении P=0.1 МПа, в широком интервале рабочих температур 300…4000 K и при использовании различных плазменных теплоносителей. На рисунке 1 представлен характерный равновесный состав основных газообразных и конденсированных продуктов плазменной конверсии гексафторида урана в водородной плазме.

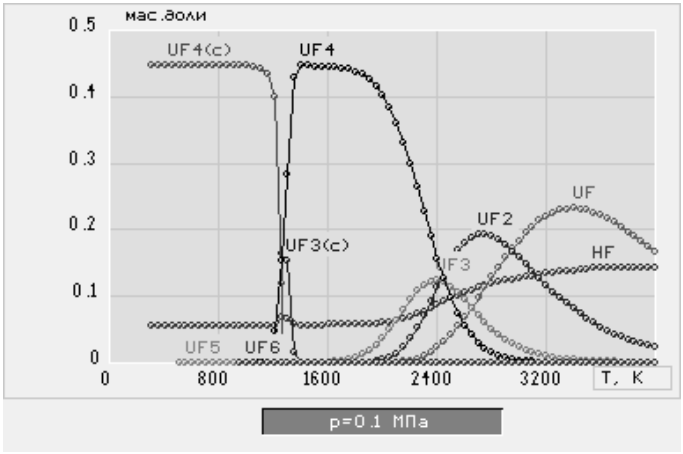


Рис. 1. Равновесный состав продуктов плазменной конверсии гексафторида урана в водородной плазме ($50\%UF_6 : 50\%H_2$)

Из анализа равновесных составов (рис. 1) следует, что при рабочих температурах до 1000 К основным продуктом плазменной конверсии гексафторида урана в водородной плазме является UF_4(c) в конденсированной фазе, а при температурах 1800…2000 К образуется UF_4 в газовой фазе. Требуемого целевого продукта в виде UO_2(c) в конденсированной фазе не образуется.

На рисунке 2 представлен характерный равновесный состав основных газообразных и конденсированных продуктов плазменной конверсии гексафторида урана в аммиачной плазме.

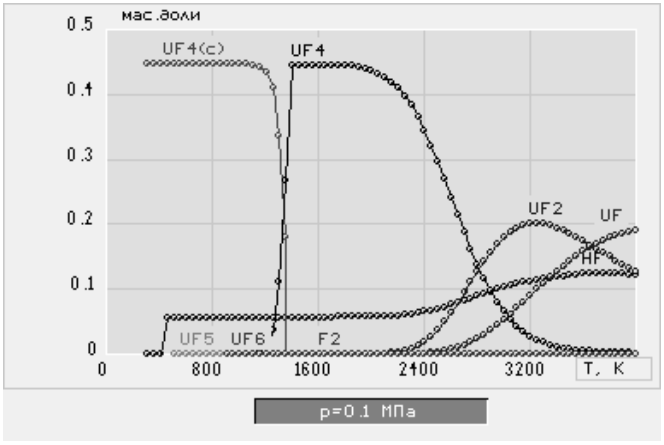


Рис. 2. Равновесный состав продуктов плазменной конверсии гексафторида урана в аммиачной плазме ($50\%\ UF_6 : 50\%\ NH_3$)

Из анализа равновесных составов (рис. 2) следует, что при рабочих температурах до 1000 К основным продуктом плазменной конверсии гексафторида урана в аммиачной плазме является UF_4(c) в конденсированной фазе, а при температурах 1800…2000 К образуется UF_4 в газовой фазе. Требуемого целевого продукта в виде UO_2(c) в конденсированной фазе не образуется.

На рисунке 3 представлен характерный равновесный состав основных газообразных и конденсированных продуктов плазменной конверсии гексафторида урана в пароводяной плазме.

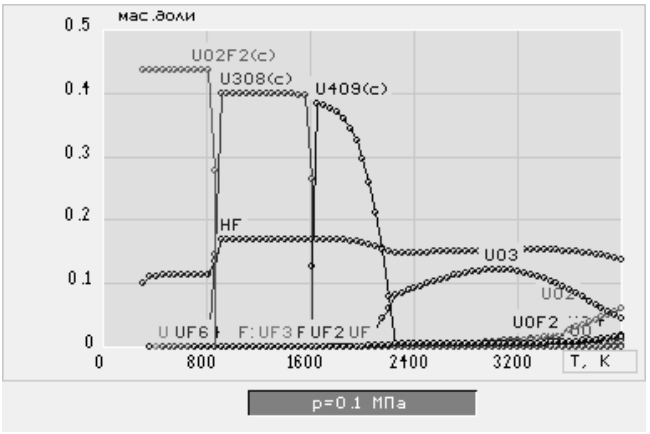


Рис. 3. Равновесный состав продуктов плазменной конверсии гексафторида урана в пароводяной плазме (50% UF_6 : 50% H_2O)

Из анализа равновесных составов (рис. 3) следует, что при рабочих температурах до 800К основным продуктом плазменной конверсии гексафторида урана в пароводяной плазме является UO_2F_2(c) в конденсированной фазе, а при температурах 900…1600 К образуется U_3O_8(c) в конденсированной фазе, а свыше 1800К – U_4O_9 (c) в конденсированной фазе. Требуемого целевого продукта в виде UO_2(c) в конденсированной фазе не образуется.

На рисунке 4 представлен характерный равновесный состав основных газообразных и конденсированных продуктов плазменной конверсии гексафторида урана в воздушной плазме.

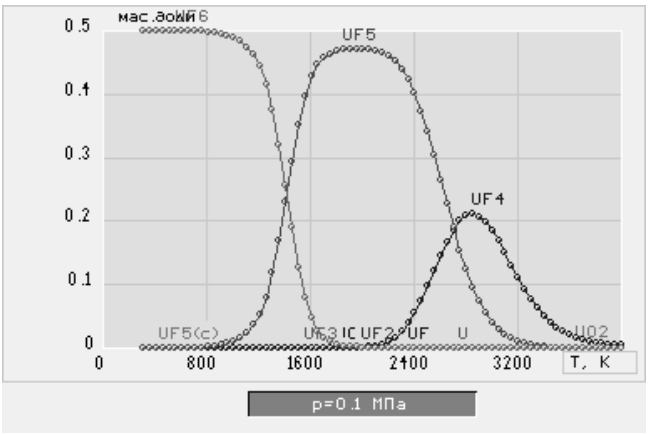


Рис. 4. Равновесный состав продуктов плазменной конверсии гексафторида урана в воздушной плазме (50%UF_6 : 50%Воздух)

Из анализа равновесных составов (рис. 4) следует, что при рабочих температурах до 1000К основным продуктом плазменной конверсии гексафторида урана в воздушной плазме является UF_6 в газовой фазе, при температурах 1800…2200 К образуется UF_5 в газовой фазе, а свыше 3000 К – UF_4 в газовой фазе. Требуемого целевого продукта в виде UO_2(c) в конденсированной фазе не образуется.

На рисунке 5 представлен характерный равновесный состав основных газообразных и конденсированных продуктов плазменной конверсии гексафторида урана в воздушно-водородной плазме.

Из анализа равновесных составов (рис. 5) следует, что при рабочих температурах до 800 К основным продуктом плазменной конверсии гексафторида урана в воздушно-водородной плазме является UF_4(c) в конденсированной фазе, а при температурах 1000…2000 К образуется требуемый целевой продукт в виде UO_2(c) в конденсированной фазе.

На рисунке 6 представлен характерный равновесный состав основных газообразных и конденсированных продуктов плазменной конверсии гексафторида урана в воздушно-аммиачной плазме.

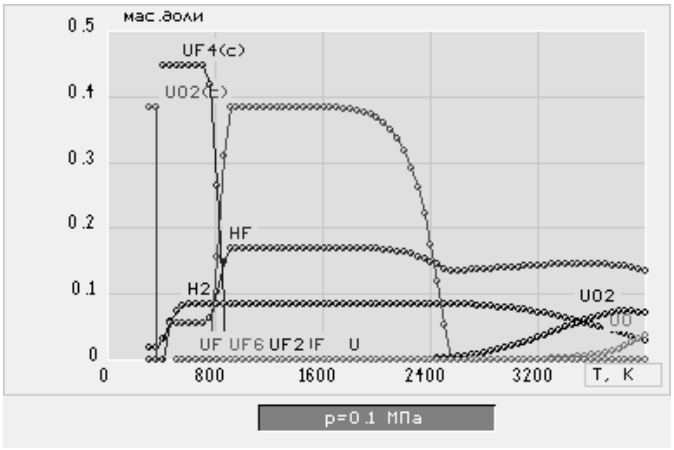


Рис. 5. Равновесный состав продуктов плазменной конверсии гексафторида урана в воздушно-водородной плазме (50%UF_6 : 10%H_2 : 40% Воздух)

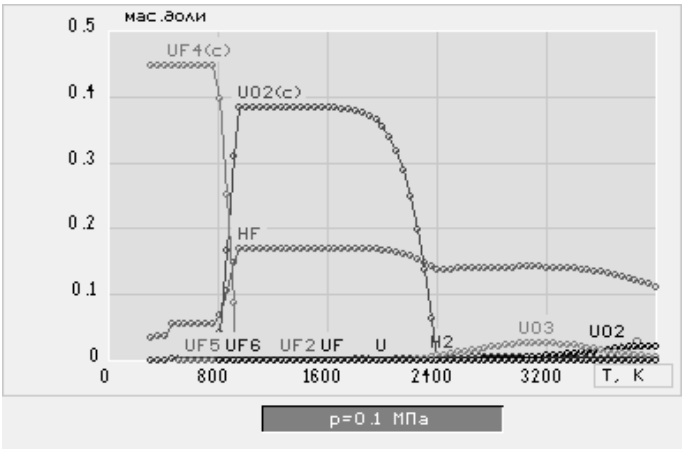


Рис. 6. Равновесный состав продуктов плазменной конверсии гексафторида урана в воздушно-аммиачной плазме (50%UF_6 : 10%NH_3 : 40% Воздух)

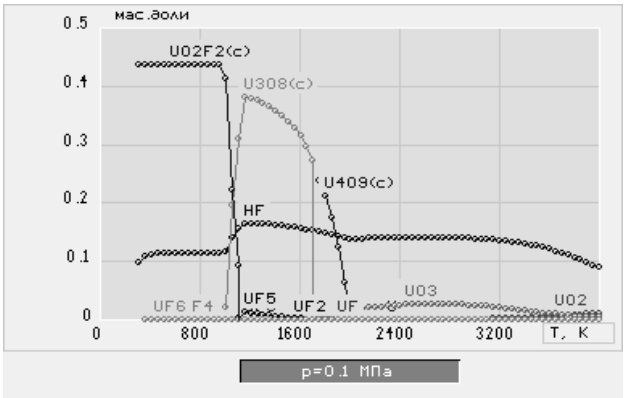


Рис. 7. Равновесный состав продуктов плазменной конверсии гексафторида урана в воздушно-аммиачной плазме (50%UF_6 : 5%NH_3 : 45% Воздух)

Из анализа равновесных составов (рис. 6) следует, что при рабочих температурах до 800 К основным продуктом плазменной конверсии гексафторида урана в воздушно- аммиачной плазме является UF_4(с) в конденсированной фазе, а при температурах 1000…2000 К образуется требуемый целевой продукт в виде UO_2(с) в конденсированной фазе. Снижение массовой доли аммиака с 10% до 5% приводит к резкому изменению состава продуктов (рис. 7)

Из анализа равновесных составов (рис. 7) следует, что при рабочих температурах до 900К основным продуктом плазменной конверсии гексафторида урана в воздушно- аммиачной плазме является UO_2F_2 (с) в конденсированной фазе, а при температурах 1200…1600 К образуется U_3O_8 (с) в конденсированной фазе, а свыше 1600 К – U_4O_9 (с) в конденсированной фазе. Требуемого целевого продукта в виде UO_2(с) в конденсированной фазе не образуется.

Учитывая, что применение воздушно-водородных плазменных теплоносителей является небезопасным, можно рекомендовать для практической реализации процесс плазменной конверсии гексафторида урана в воздушно-аммиачной плазме для прямого получения двуокиси урана UO_2(с).

Список литературы:

1. Шевченко В.Б., Судариков Б.Н. Технология урана. – М.: ГОСАТОМИЗДАТ, 1961. – 330с.
2. Туманов Ю.Н. Плазменные и высокочастотные процессы получения и обработки материалов в ядерном топливном цикле: настоящее и будущее. – М.: «Физматлит», 2003. – 759с.
3. Давыдов В.И., Гамрекели М.Н., Добрыгин Л.Г. Термические процессы и аппараты для получения окислов редких и радиоактивных металлов. – М.: «Атомиздат», 1977. – 270с.

Секция 3

Энергетическая безопасность и энергосбережение

УДК 681.3.06:66:048.57

О влиянии центробежных сил на полноту сгорания унитарных твердых топлив при тепловом воздействии на промышленные стоки

В.Д. Барсуков, С.А. Басалаев, С.В. Голдаев*

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

Научно-исследовательский институт прикладной математики и механики Томского государственного университета, г. Томск, Россия

E-mail: svgoldaev@tpu. Ru

Огневые методы применяются для обезвреживания промышленных сточных вод, содержащих большое количество органических примесей [1]. Они базируются на окислении токсичных органических примесей высокотемпературными продуктами сгорания химического топлива. Практическая реализация части огневых методов осуществляется использованием аппаратов погружного горения, представляющих собой цилиндрические сосуды с коническими днищами и сферическими крышками, на которых установлена погружная горелка с выносной камерой сгорания, рассчитанной на сжигание природного газа, непрерывного подаваемого в нее [1].

Частичное охлаждение дымовых газов до эксплуатационного уровня 800…900^{o}C, поступающих из камеры сгорания, осуществляется за счет смешения их с холодным воздухом. Для обеспечения долговечности работы погружная горелка снаружи имеет футерованный кожух. Истекающие из сопла газы барботируют через стоки и создают необходимую для их испарения тепловую нагрузку [1].

В работе [2] представлен качественный анализ возможности применения для обезвреживания промышленных сточных вод открытого газогенератора (ОГ), представляющего шашку твердого топлива баллиститного типа, имеющего полость, свободно сообщающуюся с внешней средой. Размеры полости выбраны с таким расчетом, чтобы на протяжении времени функционирования его в жидкой среде, истечение газов было дозвуковым. При этом осуществляется устойчивое функционирование. Отсутствие металлического корпуса снижает цену подобного устройства [3]. Использование барботажа продуктов сгорания через сточные воды способствует термическому воздействию на них. Дополнительная интенсификация процесса термического обезвреживания достигается при обеспечении вращения жидкости.

На основе предложенной в работе [4] физико-математической модели движения одиночного пузырька, заполненного высокотемпературными продуктами горения, в условиях воздействия массовых сил, осуществлен анализ снижения температуры газа внутри пузырька с изменяющейся вместимостью. Интенсивность теплообмена свободной конвекцией учитывалась через увеличение полного ускорения, обусловленного вращением системы, а также изменением плотности газа внутри пузырька, которая зависела от полного гидростатического давления, равного гидростатическому давлению плюс прирост давления, обусловленный влиянием центробежных сил и сил поверхностного натяжения [5]. Установлено, что увеличение перегрузки приводит к более интенсивному охлаждению и температура газа гораздо раньше приближается к температуре воды.

Эффективное использование ОГ в устройствах подъема с глубин 300…500 м затонувших объектов обеспечивается воздействием на горение УТТ окружающих давлений 3…5 МПа [3]. Однако при сжигании УТТ в диапазоне малых гидростатических давлений начинают сказываться эффекты химической неполноты, проявляющиеся в образовании промежуточных газообразных продуктов [6,7], для удаления которых требуется оснастить рабочий участок дополнительными средствами вентиляции. По этой причине большинство ракетных двигателей и газогенераторов на твердом топливе, в том числе и предназначенные для эксплуатации в жидкой среде, имеют прочные корпуса, выдерживающие перепад давлений, превышающий 0,3 МПа [6 –8].

Снижение отрицательного воздействия отмеченного эффекта может быть достигнуто за счет вращения стоков, окружающих ОГ. Поскольку прирост гидростатического давления жидкости в поле центробежных сил пропорционален квадрату угловой скорости [5], поэтому можно варьировать этот прирост, изменяя число оборотов кассеты, в которой установлены ОГ.

В работе [9] приведены результаты осуществления подводного горения УТТ типа Н в поле центробежных сил с помощью специального устройства, содержащего установленную на электромоторе горизонтально ориентированную дискообразную камеру сжигания с осевым отверстием в верхней части для выхода газов [10].

Опыты проводились при атмосферном давлении. Образцы диаметром 20 мм и высотой 50 мм на каждом торце имели углубления. В одном из них устанавливался воспламенитель в виде спирали накаливания, а в противоположном – размещалась навеска чёрного пороха массой 0,5 г. На боковую поверхность образца и на торец с навеской пороха наносилась бронировка из эпоксидной смолы.

Установлено, что при совпадении направлений действия перегрузки и распространения фронта газообразования («положительная» перегрузка) скорость горения возрастает с увеличением действия массовых сил.

На основе сравнения линейных скоростей горения УТТ, полученных в бомбе постоянного давления при горении в газовой среде, и при подводном горении в поле центробежных сил, был сделан вывод о том, что увеличение скорости во втором случае связано с соответствующим повышением гидростатического давления воды.

Таким образом, сжигание унитарных твердых топлив в установке, где на обезвреживаемые сточные воды действует центробежная сила, позволяет не только интенсифицировать процесс теплообмена между продуктами сгорания и окружающей жидкостью, но и повышает полноту химического тепловыделения и снижает количество промежуточных газообразных продуктов, удаление которых должно осуществляться специальными вентиляционными средствами.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (номер проекта 09-03-00054-а).

Список литературы:

1. Алабовский А.Н., Удыма П.Г. Аппараты погружного горения – М.: Изд-во МЭИ, 1994. – 256 с.
2. Басалаев С.А., Барсуков В.Д., Голдаев С.В. Об использовании центробежных сил для интенсификации теплового воздействия на промышленные стоки при горении в них унитарных твердых топлив / Энергетика и человек: Сб. трудов международной молодежной научной школы – Томск: Изд-во ТПУ, 2011. – С.176–179.
3. Барсуков В.Д., Голдаев С.В. Подводное зажигание и горение унитарных твердых топлив. Теория, эксперимент, технические приложения. Томск: Изд. Томского. ун–та. – 2003. – 352 с.
4. Барсуков В.Д., Голдаев С.В. Анализ влияния перегрузки на всплытие в воде пузырька нагретого газа. – Изв. вузов. Физика – 2010. –№12/2. –С.35–39.
5. Веркин Б.И., Кириченко Ю.А., Русанов К.В. Теплообмен при кипении в полях массовых сил различной интенсивности – Киев: Наукова думка, 1988. – 256 с.
6. Присняков В.Ф. Динамика ракетных двигателей твердого топлива. – М.: Машиностроение,1984. – 248 с.
7. Шишков А.А., Панин С.Д., Румянцев Б.В. Рабочие процессы в ракетных двигателях твёрдого топлива: Справочник. – М.: Машиностроение, 1989. – 240 с.
8. Мухутдинов А.Р., Тахавутдинов Р.Г., Корсуков М.С. Моделирование и разработка теплогенерирующих устройств на основе твёрдого топлива, эксплуатируемых в жидкой среде // Проблемы энергетики. 2007. № 3–4. С. 76 – 82.
9. Исследование подводного горения конденсированных веществ в поле центробежных сил /В.Д. Барсуков, С.А. Басалаев, С.В. Голдаев и др. Изв. вузов. Физика – 2010. –№12/2. –С.31–34.
10. Патент 2425283 РФ, МПК F23B 99/00, F02K 9/08. Устройство для исследования подводного горения унитарных твёрдых топлив при перегрузках / В.Д. Барсуков, С.В. Голдаев, К.В. Пахнутов, С.А. Басалаев. Заявл. 11.08.2009; Опубл. 27.07.2011 Бюл. № 21.

Энергия. Взаимосвязь цены и спроса

О.В. Белова

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

Мировая экономика в течение последних лет демонстрирует достаточно высокие темпы экономического роста, несмотря на сохраняющийся с 2002 г. рост цен на топливно-энергетические ресурсы. Реформирование национальных систем энергетики в ряде стран на основе конкурентных энергетических рынков началось достаточно давно. Великобритания и Норвегия, Франция и Соединенные штаты пошли разными путями к реализации в энергетики философии «свободного предпринимательства». Основным ориентиром преобразований предполагается глобальная цель:

повышение эффективности энергообеспечения как основы экономического роста и подъема жизненного уровня населения [1].

Тарифное регулирование на электрическую и тепловую энергию является одним из самых ответственных элементов воздействия государства на отношения, складывающиеся в этой сфере. Оно направлено на достижение:

- ✓ антимонопольной защиты потребителей от необоснованного повышения цены и дискриминации при разнесении общих издержек энергосбережения;
- ✓ устойчивого обеспечения финансовыми ресурсами энергокомпаний для покрытия их затрат;
- ✓ стимулирования снижения издержек производства и рационализации энергопотребления;
- ✓ повышения эффективности энергоиспользования и стимулирования энергосбережения;
- ✓ финансовой поддержки отдельных потребителей и социальной защиты населения.

Таким образом, уже при формировании тарифов предполагается их стимулирующая энергосбережение роль. Однако связь между уровнем тарифа и интенсивностью энергосбережения представляется не вполне отчетливой. Несмотря на рост тарифов последние 10 – 15 лет спрос на энергию продолжает расти. Это противоречит основному закону рынка. Вот что пишет Пол Хейне [2]: «Когда какого-нибудь блага становится мало – предложения уменьшаются по сравнению со спросом – его цена повышается. Возросшая цена побуждает покупателей приобретать меньше, оставляя тем самым больше другим. Она побуждает поставщиков производить больше. Понизившаяся цена сигнализирует о том, что благо стало менее редким. Цена побуждает покупателей заменять им другие блага и направляет усилия поставщиков на производство других, более ценных благ».

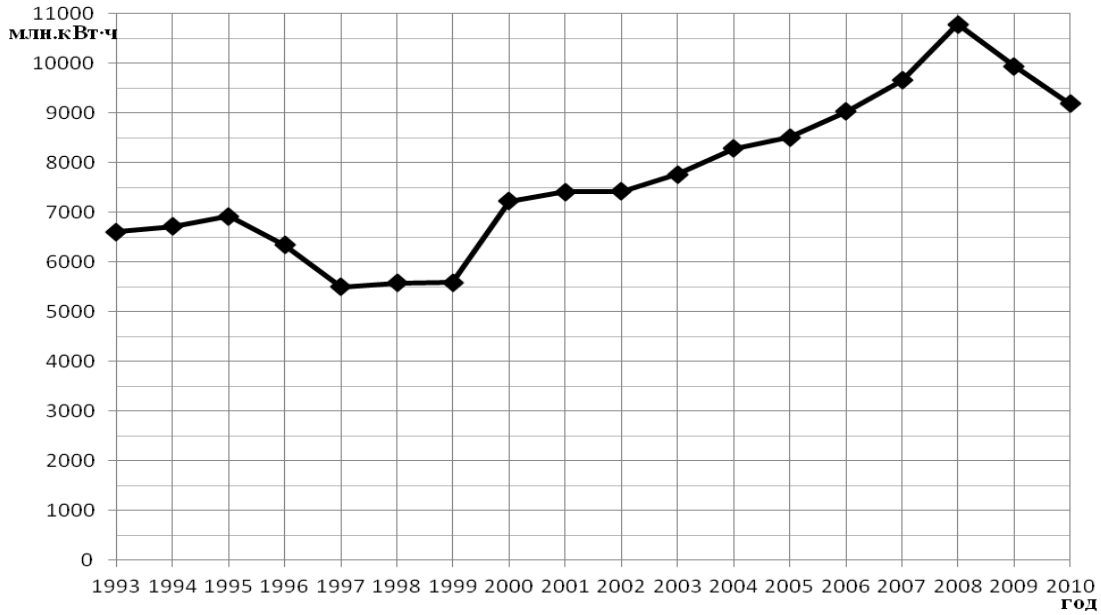


Рис. 1. Потребление электроэнергии в Томской области в 1993-2010 гг.

В случае электрической и тепловой энергии координирующая роль цены проявляется совершенно по-иному. На рисунке 1 общая тенденция спроса на электроэнергию в Томской области складывается из естественного ежегодного прироста и снижения из-за кризисных явлений в экономике 1998 и 2008 годов и определенных мер по энергосбережению, проведенных в этот период.

Средний ежегодный прирост потребления электроэнергии за этот период составил 190 млн.кВт·ч или 2.52%.

На рисунке 2 показано изменение среднего тарифа на электроэнергию за этот же период.

Средний ежегодный прирост тарифа за этот же период составил 6.1 руб./100кВт·ч или 9.1%. Таким образом, тарифы росли существенно быстрее, чем спрос. Эластичность спроса имеет отрицательный знак. Она определяется как процентное изменение величины спроса деленное на процентное изменение цены. В нашем случае средняя эластичность составила – 0.28. Спрос неэластичен. Рост цены сопровождается ростом спроса. Более того, коэффициент корреляции между ними равен 0.861. Разумеется, нельзя считать, что рост тарифа вызывает увеличение

спроса. Видимо электроэнергия для населения и экономики области является столь важной ценностью, что, несмотря на рост тарифа, потребление растет.

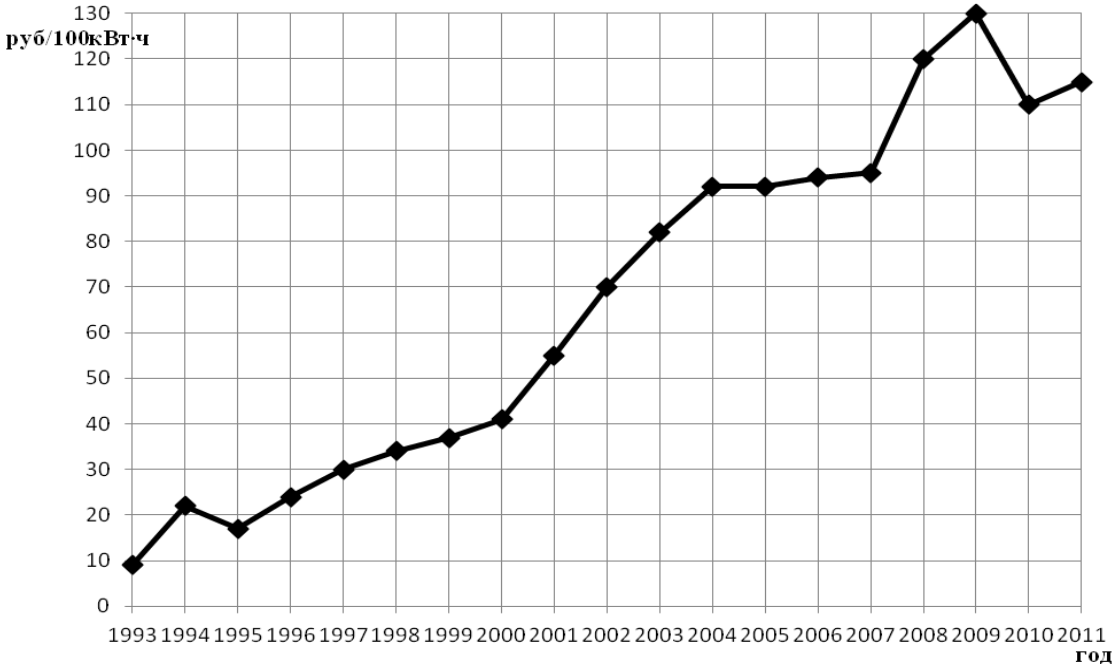


Рис. 2. Изменение среднего тарифа на электроэнергию.

Потребление тепловой энергии в Томской области изменяется в значительно более широких пределах, и характер этих изменений представляется совершенно иным. На рисунке 3 показано как изменяется спрос на централизованное тепло и тариф на него.

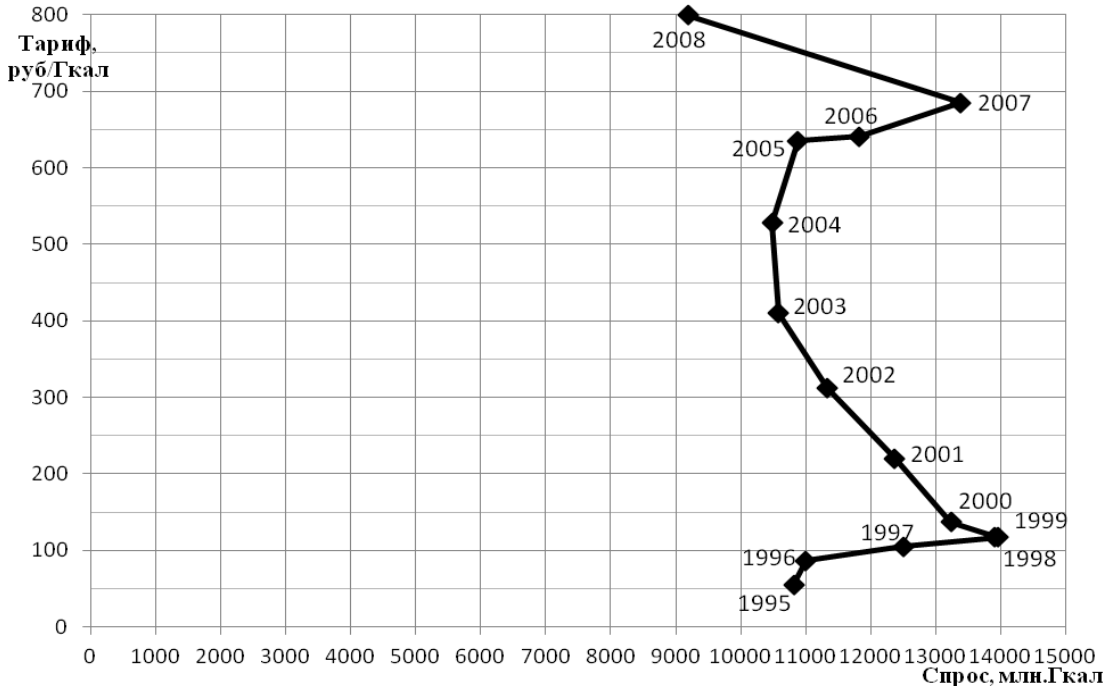


Рис. 3. Взаимосвязь изменений спроса и тарифа на тепловую энергию в Томской области.

Здесь выявляется довольно странное взаимодействие спроса и тарифа. Следует отметить, что коэффициент корреляции между ними равен - 0.56. Это говорит о наличии незначительной

отрицательной статической корреляционной связи между этими параметрами. С ростом тарифа спрос на тепловую энергию снижается. Что касается коэффициента эластичности, то он равен – 1.6. В отличие от электроэнергии он имеет противоположный знак – рост тарифа сопровождается некоторым снижением спроса. Средний ежегодный прирост тарифа на тепловую энергию за этот период в Томской области составил 13.3%, а среднее ежегодное снижение потребления тепла из централизованных источников – 7.3%.

Причины существенного снижения потребления тепла заключается в массовом отказе промышленных и подобных им потребителей от использования тепла из централизованных источников и перехода на его выработку в собственных котельных.

Можно ожидать продолжения процесса снижения спроса в связи с реализацией энергосберегающих мероприятий по областной программе: Повышения энергетической эффективности на территории Томской области на перспективу до 2020 года.

Выводы:

1. Потребление топливно-энергетических ресурсов в территориальных образованиях (область) определяется совместным действием многих факторов, среди которых природно-климатические, естественно-приростные, социально-экономические и энергосберегательные действуют в противоположных направлениях. Так, несмотря на рост тарифов спрос на электроэнергию за период 1993 – 2010 возрастал со среднегодовым темпом 2.52%. Спрос на тепловую энергию за период с 1995 по 2010 годы имеет тенденции к снижению с темпом 7.3% в год.
2. Взаимосвязь между спросом на электроэнергию и тарифом говорит о неэластичности. Коэффициент эластичности равен – 0.28. Взаимосвязь между спросом на тепло из централизованных источников и тарифом проявляется отчетливо.

Список литературы:

1. Гительман Л.Д., Ратников Б.Е. Рынки электроэнергии. – Екатеринбург/Изд-во Ур О РАН, 1997, 65 с.
2. Хейне П. Экономический образ мышления. Перевод с англ. Издание 2-е. – Москва/Изд-во Дело, 1993, 744 с.

Показатели энергоемкости валового регионального продукта субъектов сибирского федерального округа (на примере Красноярского края и Томской области)

М.В. Вахнер

Томский Политехнический Университет, г. Томск, Россия

vahkner@sibmail.com

В данной статье показана структура валового регионального продукта субъектов Сибирского Федерального округа. На примере Красноярского края и Томской области проведен анализ изменения потребления энергии, рассчитаны показатели энергоемкости ВРП и экономия энергоресурсов за период 2007-2009 гг. Также представлена динамика изменения энергоемкости ВРП и ВДС этих регионов.

Красноярский край и Томская область – субъекты Сибирского Федерального округа, площадь которых составляет 2366,8 тыс. кв. км. и 314,4 тыс. кв. км. соответственно, доля ВРП Красноярского края в ВВП Российской Федерации достигает 1,11%, доля ВРП Томской области – 0,61% Данные субъекты имеют высокий уровень удельного производства ВРП на душу населения обусловленный высокой в среднем по Сибирскому Федеральному округу производительностью труда и более высокой занятостью населения. (В 2009 году ВРП на душу населения в Красноярском крае составил 258834,6 руб./чел., в Томской области - 232901,1 руб./чел.)

В структуре валовой добавленной стоимости субъектов преобладает высокая доля электроемких отраслей специализации, так доля промышленности составляет 48% в Красноярском крае и 45% в Томской области, и низкая доля сфера услуг. Подробная структура валовой добавленной стоимости представлена на рисунке 1.

Структура валовой добавленной стоимости за период с 2005 по 2009 гг. меняется значительно, доля промышленности в Красноярском крае сократилась на 10%, в Томской области – на 13%.

Структурные сдвиги в экономике субъектов оказывают большое влияние на энергоемкость ВРП.

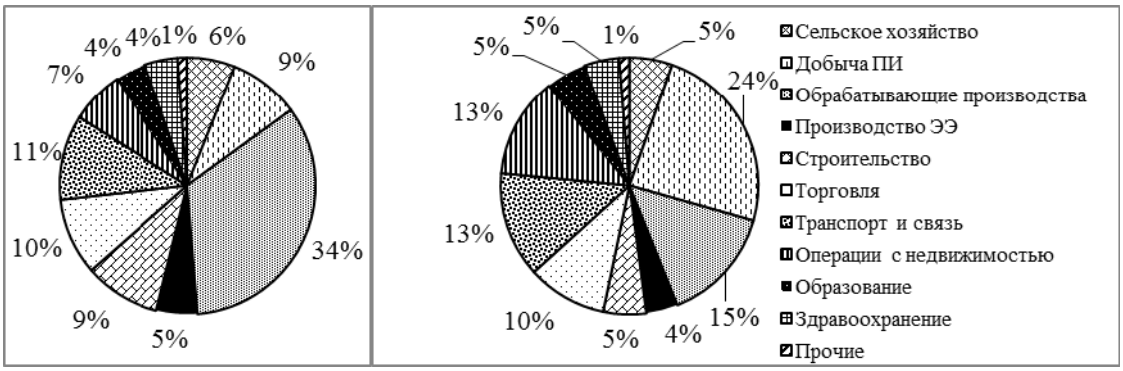


Рис. 1. Структура валовой добавленной стоимости Красноярского края и Томской области соответственно по видам экономической деятельности в 2009 году, %

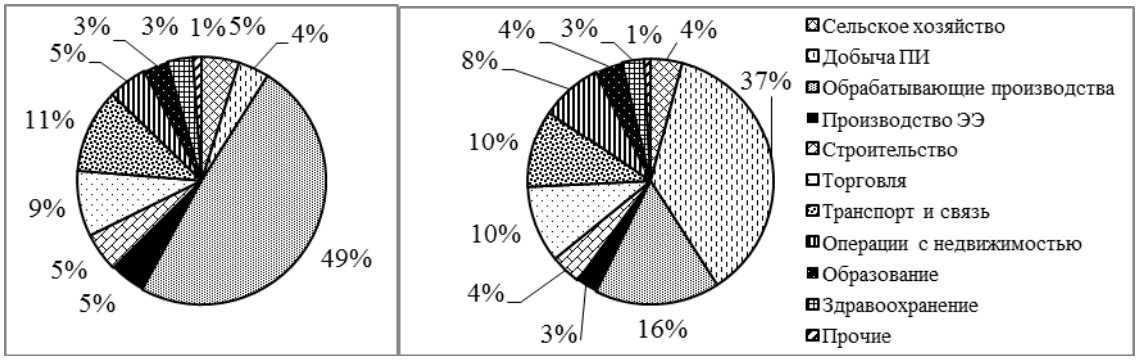


Рис. 2. Структура валовой добавленной стоимости Красноярского края и Томской области соответственно по видам экономической деятельности в 2005 году, %

На основе данных ТЭБ Красноярского края была определена структура прироста потребление первичной энергии по основным секторам. За период с 2005 по 2008 гг. 41% прироста пришлось на строительство, 22% - на промышленность (из них 20,5% прироста пришлось на обрабатывающие производства, почти 1% - на производство и распределение электроэнергии, воды и газа), 6% - на транспорт и связь. Больше 15% прироста потребления энергии в 2009 году по отношению к 2006 году пришлось на прочие виды деятельности, включающее коммунальное хозяйство. Наиболее резкий прирост потребления произошел в 2008 году, в кризисном 2009 году потребление энергии снизилось в 1,5 раза.

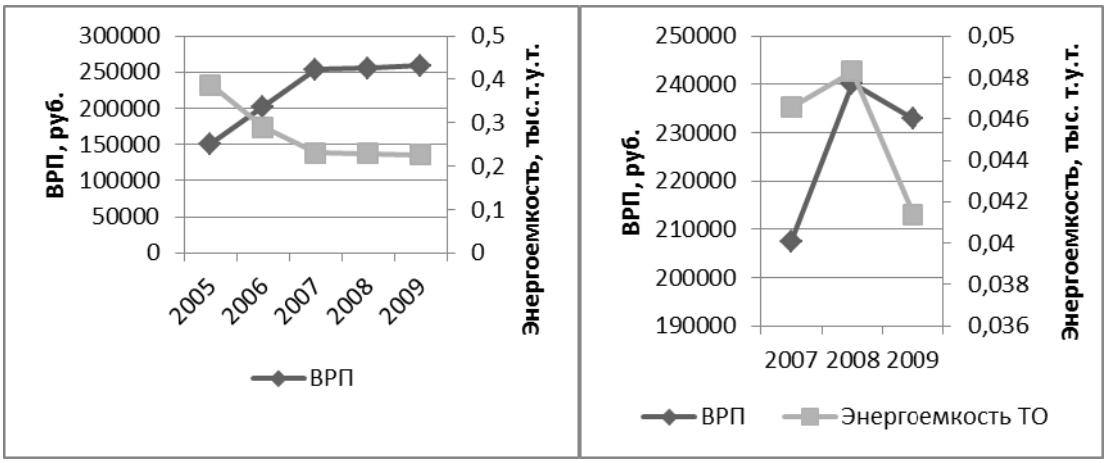


Рис. 3. Динамика ВРП и электроемкости Красноярского края и Томской области соответственно

Такую же картину мы видим в Томской области, резкий прирост потребления был в 2008 году, затем так же снижение в кризисном 2009 году. Годовой прирост потребления энергии в промышленном секторе составил 1,3%, потребление в секторе прочих видов деятельности

увеличилось в 4,4 раза. Разный характер потребление энергии имеет сельскохозяйственный сектор экономики, в Томской области, в отличие от Красноярского края, потребление энергии растет, и годовой прирост в 2008 году составил 75%.

В 2005-2009 годах энергоемкость ВРП Красноярского края снизилась практически в 2 раза, или на 42%. В среднем она снижалась на 8,4% в год. В 2009 году энергоемкость Красноярского края снизилась только на 2% по сравнению с уровнем 2008 года, это связано с незначительным ростом ВРП края (всего 1,4%). Это обстоятельство существенно затрудняет решение задачи по снижению энергоемкости на 40% от уровня 2007 года к 2020 году. В Томской области также была тенденция снижение энергоемкости до 2008 года, в среднем снижение в год составляло 4,2. Динамика энергоемкости ВРП и самого валового регионального продукта показана на рисунки 3.

Наиболее электроемкими секторами экономика является промышленность, прочие виды деятельности, включающее коммунальное хозяйство. В период с 2005 по 2008 гг. энергоемкость промышленности снизилась на 23% в Красноярском крае, и с 2007 по 2008 гг. – на 18% в Томской области. В основном это происходило за счет структурных сдвигов в экономике (снижение доли энергоемкой промышленной продукции).

Таблица 1. Энергоемкость валовой добавленной стоимости Красноярского края в 2008 году

	Энергоемкость ВДС т.у.т/1000 рублей	**Энергоемкость рубля заработной платы, т.у.т/1000 руб.**
Промышленность, всего	425,1	440,4
Добыча ПИ	20,1	23,3
Обрабатывающее производство	802,2	1760,1
Производство ЭЭ	63,8	89,7
Строительство	10,5	28,9
Сельское хозяйство	15,0	73,7
Транспорт и связь	21,0	71,0
Прочие	296,1	182,9
Торговля	10,8	69,6

Таблица 2. Энергоемкость валовой добавленной стоимости Томской области в 2008 году.

	Энергоемкость ВДС т.у.т/1000 рублей	**Энергоемкость рубля заработной платы, т.у.т/1000 руб.**
Промышленность, всего	81,7	118,9
Строительство	3,5	4,4
Сельское хозяйство	52,1	75,4
Транспорт и связь	20,1	25,5
Прочие	474,1	115,5
Торговля	0,79	0,1

Экономия энергоресурсов за счет снижение энергоемкости ВРП в 2009 году по отношению к уровню 2007 года в Красноярском крае составила 16004 тыс. т.у.т, из них электроэнергия -15290 тыс. т.у.т, дизельное топливо – 2127 тыс. ту.т, нефть – 514 тыс. т.ут. В Томской области этот экономия не значительна 165 тыс. т.у.т электроэнергии, 456 тыс. т.у.т тепловой энергии, 358 тыс. т.у.т. нефтепродуктов.

Таким образом, снижение энергоемкости ВРП субъектов Сибирского Федерального округа имело место за счет структурного фактора или за счет неравномерности роста индикаторов экономической активности в разных секторах энергопотребления по отношению к ВРП. Роль технологического фактора ограничена. Для решения задачи по снижению энергоемкости ВРП на 40% к 2020 году от уровня 2007 года необходимо существенно повысить вклад технологического фактора в снижение ВРП регионов.

Список литературы:

1. Литвак В.В. Основы регионального энергосбережения (научно---технические и производственные аспекты) – Изд. 2-е испр. - Томск: Изд-во НТЛ, 2007. – 288 с.
2. Яворский М.И., Литвак В.В., Огородникова О.В. «Дорожная карта» энергосбережения и повышения энергетической эффективности // Журнал «Энергосбережение». – 2010. – № 5. – С. 32–35.

3. Башмаков И.А. Динамика энергоемкости валового регионального продукта Москвы// Журнал Энергосбережение – 2011 - №3
4. Функционирование и развитие электроэнергетики Российской Федерации в 2009 году // Информационно-аналитический доклад – Министерство энергетики РФ -http://www.e-apbe.ru/upload/iblock/b0e/doklad2009.pdf

Основные критерии для классификации медицинских учреждений по энергоэффективности

Ю.Н. Вербич
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия
ski-89@mail.ru

С каждым годом необходимость дальнейшей работы в области повышения эффективности потребления энергии становится всё острее. Низкая энергетическая эффективность, гигантские энергозатраты на производство продукции снижают конкурентоспособность российской экономики и в дальнейшем могут привести к серьёзным последствиям в этой сфере. Снижается потенциал экспорта энергоресурсов. При повышении тарифов растет социальная напряженность. Масса денег уходит на строительство и ремонт систем энергоснабжения, около 60 % коммунальных сетей уже находятся в аварийном состоянии. И с каждым годом положение становится все отчаяннее. Энергосбережение в современных экономических условиях является не просто составной частью, а ключевым элементом реформы.

В мировой практике важным инструментом энергосберегающей политики является информирование об энергоэффективности электробытовых приборов, строительных и теплоизоляционных материалов, зданий, коммунального теплоэнергетического оборудования, автотранспорта. Маркировка (этикетирование) являются лучшими способами получения информации об энергетической эффективности оборудования или объекта. За рубежом уже давно успешно используются различные методики присвоения зданиям уровней энергоиндексации в ходе энергообследования объекта. В дальнейшем класс энергоэффективности заносится в энергетический паспорт здания. Вся эта классификация приносит пользу для энергосбережения в целом и делает её более эффективной. В России это явление новое и только начинает развиваться. Использование зарубежных методик классификации зданий не представляется возможным. Методы расчетов, применяемые для оценки энергоэффективности в различных странах, значительно различаются. Одна из причин – Директива по энергетическим характеристикам зданий, которая задаёт общие рамки и оставляет контроль над деталями за государствами. Но даже если в будущем методики энергоэффективности будут полностью урегулированы, по прежнему сохранится большое количество различий на национальном уровне, которые будут влиять на энергопотребление. Например, требования охраны труда, которые влияют на уровень воздухообмена зданий, качество внутреннего микроклимата и климатические условия в силу географического расположения, строительные нормы и т.д. Всё это не позволяет использовать зарубежные методики классификации.

В ноябре 2009 года был принят закон № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» Впоследствии к закону прилагались «правила определения класса энергетической эффективности многоквартирных домов». Использованная в этом законе методика классификации неприменима для медицинских зданий, муниципальных учреждений, зданий производства и других объектов социальных сфер Российской Федерации. Энергетическая эффективность зданий должна рассчитываться на основании методик, которые будут учитывать особенности каждого социального здания, и включать в себя такие факты как тепловая изоляция домов, эффективность систем отопления, кондиционирования и установленное оборудование. Медицинские объекты являются важнейшими объектами энергоснабжения в нашей стране и принадлежат к особой группе по энергоснабжению, но не подлежат энергоиндексации, что пагубно влияет на энергоэффективность в этой социальной отрасли в целом. Целью данной статьи является определение основных критериев для создания методики классификации медицинских учреждений по энергоэффективности.

Энергоэффективность зданий зависит в основном от качества их эксплуатации, которое определяется не только наличием современных приборов, но и соответствующей организацией эксплуатационных служб.

Медицинские учреждения являются потребителями:

- Тепловой энергии в виде отопления, ГВС, вентиляции, технологического тепла, потерь;
- Электроэнергии в виде освещения, работы оборудования и различных установок, потерь;
- Холода в холодильных камерах (отрицательное тепло);
- Невозобновляемых источников энергии: газ, уголь и т.д.

Исходя из типов потребления энергии медицинскими учреждениями можно составить основные критерии, по которым стоит рассматривать общую энергоэффективность медицинских учреждений:

- термическое сопротивление здания. На сделанных из космоса инфракрасных снимках российские города выглядят как сияющие точки. Настолько много тепла выделяют дома старой постройки через щели в окнах, стенах и крышу! Наличие большого количества сосулек на крышах домов – это первый признак некачественной теплоизоляции крыши, т.к. теплый воздух нагревает крышу, снежный покров подтаивает, и образуются сосульки. Общее термическое сопротивление здания складывается из сопротивления покрытия, стен, окон;
- годовое потребление электрической энергии системами на оборудование и освещение. Как правило, в различных организациях ведется постоянный учет расхода электроэнергии, оборудован ее входной коммерческий учет на ТП, на распределительных устройствах для крупных внутренних потребителей и на индивидуальных вводах установлены электросчетчики;
- удельное годовое потребление тепловой энергии системам. Это количество полезной тепловой энергии за отопительный период, израсходованное на компенсацию теплопотерь здания с учетом воздухообмена и дополнительных тепловыделений при нормируемых параметрах микроклимата помещений в нем, отнесенное к единице площади пола квартир здания (или отапливаемой площади одноквартирных домов), и градусо-суткам отопительного периода;
- количество углекислого газа выброшенного в воздух. В результате сжигания на Земле органических топлив происходит ежегодный прирост выбросов CO_2 сверх сбалансированного круговорота, что способствует образованию парникового эффекта. На долю ТЭС приходится примерно 22 % общих мировых выбросов CO_2. Россия взяла на себя обязательства до 2008 – 2012 гг. не превышать выбросы парниковых газов относительно уровня 1990 г. Удельный выброс CO_2 на единицу выработанной электрической и тепловой энергии в РФ составляет 0,414 кг/(кВтч). Для расчёта выброса углекислого газа применяются коэффициенты эмиссии, которые приведены в (табл. 1). На основании этого показателя можно судить об энергоэффективности предприятий.

Пример расчета одного из критериев определения класса энергоэффективности – количество углекислого газа выброшенного в воздух при сжигании топлива.

Воспользуемся коэффициентом эмиссии углекислого газа (табл. 1).

Таблица 1. Коэффициенты эмиссии углекислого газа

Вид топлива	**Коэффициенты эмиссии** CO_2	
	$mCO_2 / m.y.m$	$mCO_2 / ГДж$
Твердое	2,76	25,68
Газообразное	1,62	15,07
Мазут	2,28	21,22

В среднем для производства 1 кВтч требуется 400 г.у. т, следовательно:

$$2,76\ г\ CO_2 \longrightarrow 1\ г.у.т$$

$$2,76 \cdot 400 = 1104\ г\ CO_2$$

$$1104\ г\ CO_2 \longrightarrow 1\ кВт\ ч$$

Зная годовое потребление электрической энергии можно получить количество выброшенного при этом CO_2 в год для дальнейшего анализа.

Предполагаемая таблица для определения класса энергоэффективности:

Показатель		Единица измерения	Количество	Соответствие классу
1.Общие характеристики зданий				
1.1Общая площадь		$м^2$		
1.2 Количество этажей		Эт.		
1.3 Количество людей		Чел.		
2.Энергетические показатели				
2.1 Термическое сопротивление	Стены	$м^2 \cdot К / Вт$		
	Окна			
	Покрытия			
	Общее			
2.2 Годовое потребление электрической энергии	Освещение	$КВт \cdot ч / м^2$		
	Оборудование			
2.3 Годовое потребление тепловой энергии	Отопление	$КВт \cdot ч / м^2$		
	ГВС			
	Вентиляция			
	Холодильные установки			
2.4 Количество углекислого газа выброшенного в воздух		$кгCO_2 / м^2$		

Список литературы:

1. Специализированный журнал №7 – Энергосбережение, 2007 – 94 с.
2. В.И. Беспалов, С.У. Беспалова, М.А. Вагнер Природоохранные технологии на ТЭС: учебное пособие; Томский политехнический университет. – 2-е изд. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 240 с.
3. www.pamag.ru

Комплексный подход к энергосбережению на примере реновации оборудования фермерского хозяйства

Д.М. Глухов, А.М. Ефанов, И.С. Воронков
ООО «Энергобаланс» г. Воронеж, Россия
E-mail: mitbor@rambler.ru

23 ноября 2009 г. Президент Российской Федерации Д.А. Медведев подписал Федеральный закон № 261-ФЗ [1], который регулирует отношения по энергосбережению и повышению энергетической эффективности, с целью создания правовых, экономических и организационных основ стимулирования энергосбережения и повышения энергетической эффективности. Подобный уровень обозначения проблемы свидетельствует о том, что актуальность энергосбережения на сегодня высока, как никогда прежде.

В условиях экономического кризиса, проблемы энергосбережения особенно актуальны для представителей малого и среднего бизнеса различных видов деятельности. В частности, для фермерских хозяйств, созданных на базе бывших колхозов или совхозов с их устаревшим энегохозяйством, расходы на электроэнергию могут быть настолько велики, что достижение какой-либо осязаемой прибыли становится весьма затруднительным.

Общие принципы энергосбережения давно известны. Это, в первую очередь, утепление помещений. Во-вторых, учитывая то обстоятельство, что зачастую электрообогрев является единственным способом отопления, в настоящее время существует много современных способов

отопления, имеющих явные преимущества по сравнению с традиционными: длинноволновые обогреватели, теплые полы, теплонакопители. [2].

Целью работы является рассмотрение комплексного подхода к энергосбережению – снижение расходов на электроэнергию путём применения комплексно-инновационного подхода к электро- и теплосбережению.

На сегодняшний день одним из самых эффективных методом достижения энергосбережения является энергоаудит [3]. Энергоаудит или энергетическое обследование предприятий и организаций предполагает оценку всех аспектов деятельности предприятия, которые связаны с затратами на топливо, энергию различных видов и некоторые ресурсы, например, воду. Цель энергоаудита — оценить эффективность использования топливно-энергетических ресурсов и разработать эффективные меры для снижения затрат предприятия.

Часто, вернее — всегда, перед заключением договора на энергоаудит, заказчика интересуют результаты будущей работы. Авторы считают необходимым заявить, что любые количественные прогнозы результатов предстоящего энергетического обследования безосновательны, недостоверны и потому не могут иметь практического смысла.

Дело в том, что максимальный потенциал повышения энергоэффективности имеет место на предприятиях, характеризующихся: а) низким уровнем производственной активности; б) значительными структурными изменениями основного производства; в) примитивной кадровой политикой омоложения и сокращения штатов; г) безсистемно реализуемой модернизацией объектов энергохозяйства, приводящей к деградации проектных схем ресурсообеспечения.

На современных, устойчиво работающих производствах потенциальные возможности увеличения эффективности использования ресурсов минимальны, поэтому гарантий какой-либо результативности при оценке энергоэффективности энергоиспользования грамотный и честный энергоаудитор вам не даст.

Советская государственная политика заниженных цен на энергоресурсы, доля которых в себестоимости промышленной продукции составляла до нескольких процентов, а в коммунальную сферу ресурсы отдавались в 3 раза ниже себестоимости, обусловила низкую эффективность энергоиспользования. В настоящее время ситуация кардинально изменилась.

С одной стороны, ввиду быстрого увеличения цен на энергоносители, затраты на них и в коммунальной сфере и в промышленности выросли многократно, и только в себестоимости промышленной продукции составляют от 10% до 40%, а иногда и более. С другой стороны, положение с энергоэффективностью свидетельствует о значительных резервах экономии энергоресурсов.

А теперь перейдём к практическому опыту реализации энергоаудита на примере небольшого фермерского хозяйства. Для достижения экономии в потреблении хозяйством электроэнергии были предприняты следующие шаги.

Для уличного освещения вместо ламп накаливания 300 Вт применили энергосберегающие натриевые лампы 70 Вт с фотодатчиками, а в помещениях офиса, гостиницы, жилого дома и мастерской – бытовые энергосберегающие лампы и датчики движения и присутствия. В свинарнике и МТФ применили дежурный свет и датчики движения при раздаче кормов в целях оптимизации режима дополнительного освещения. Крупоцех, маслоцех, зерносклад, помимо оптимизации энергопотребления на освещение вышеперечисленными способами, были оборудованы частотными преобразователями для управления асинхронными двигателями. Была модернизирована также система электроприводов зерноочистительного комплекса. На трансформаторной подстанции фермы заменили трансформаторы тока и приборы учета электроэнергии с повышенным классом точности и смонтировали автоматическую установку компенсации реактивной мощности для поддержания cosφ на уровне 0,9. Провели лабораторные испытания электрооборудования, кабельных линий, электропроводки и, соответственно, заменили несоответствующие нормам ПУЭ.

Оборудование крупоцеха и зерносклада, по технологическому процессу требующее электроподогрева, было утеплено новейшим жидконаносимым теплоизоляционным покрытием «ИзоТерм» (коэффициент λ=0,004), которое при толщине слоя в 1 мм обеспечило теплоизоляционную эффективность, эквивалентную 100 мм современного минераловатного утеплителя. Все технологические трубопроводы, подводящие горячий теплоноситель, а также электрические котлы отопления и нагрева воды также были покрыты «ИзоТермом».

В итоге суммарная экономия в потреблении электроэнергии фермерского хозяйства составила 30,61% [4]. Срок окупаемости затрат на модернизацию для владельца за счёт экономии на оплату электроэнергии составил 8,2 месяца.

Небольшое лирическое отступление. Необходимо отметить, что «советские» принципы ведения хозяйства экономически неэффективны. Трудно объяснить руководителю хозяйства, работающего на земле, что вложенные средства сегодня вернутся сторицей завтра. Он привык верить в то, что «держит в руках».

Выводы по работе:

1. Дальнейшее эффективное развитие Российской Федерации без внедрения энергосберегающих технологий невозможно.
2. Энергоаудит, проведённый грамотными специалистами, позволит выявить резервы по энергосбережению предприятия.
3. Практические результаты в области повышения энергоэффективности фермерского хозяйства полностью подтвердили результаты теоретических исследований.
4. Использование новейших достижений в области инновационных теплоизолирующих материалов в ряде случаев позволяет решить сложные задачи по теплосбережению.
5. Необходимо развивать «дальновидность и экономический резерв» руководителей предприятий.

В заключение авторы считают нужным отметить, что привычка экономить электроэнергию это признак разумного и современного потребителя. Энергосберегающие технологии доступны ныне каждому, используйте и получайте удовлетворение не только от экономической выгоды, но и от помощи перегруженным, и зачастую пережившим свой срок эксплуатации энергосетям России.

Список литературы:

1. Федеральный закон РФ от 23 ноября 2009 года № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской федерации.
2. http://www.energosbit.net/energosber.htm.
3. http://www.energovent.com/ru/section.php?id=6.
4. http://www.energovrn.ru – акт энергетического обследования фермерского хозяйства, описание продукта «Изотерм».

УДК 621.311

Реализация в среде турбо паскаль методики прогнозирования показателей надежности объектов, подчиняющихся распределению гаусса

С.В. Голдаев, А.М. Коровина, К.Н. Радюк
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия
E-mail: SVGoldaev.tpu@.ru

Предложена автоматизированная методика прогнозирования показателей надежности объектов в среде Турбо Паскаль, описываемых нормальным законом, снижающая трудоемкость расчета и повышающая его точность. В ней использованы интерполяционные зависимости для функции Лапласа и квантиля уровня стандартного нормального распределения.

В ходе количественного анализа надежности различных технических систем часто используется нормальное (гауссовское) распределение [1–6]**.** Например, время восстановления ремонтируемых изделий в ряде случаев приближенно распределено по нормальному закону. Иногда близко к нему располагается наработка до отказа невосстанавливаемых изделий. Оно применяется и для учета постепенных отказов, возникающих в одной системе независимо от внезапных отказов, описывающихся экспоненциальным распределением. Такую систему представляют состоящей из двух элементов, включенных в смысле надежности последовательно [1]. Распределению Гаусса подчиняются ошибки измерений [5].

Затруднения количественного анализа показателей надежности объектов, обработки статистических данных, подчиняющихся нормальному закону распределения, обусловлены тем, что расчетные формулы содержат определенные интегралы, которые не выражаются через элементарные функции. В ряде источников по надежности [2– 4] и теории вероятностей [5] ограничиваются табличным представлением значений этих интегралов. Рассматриваются иллюстративные примеры, в которых аргументы специальной функции имеют целые значения, что не требует применения интерполяции.

В докладе описан алгоритм, позволяющий заменить использование табличных значений этих интегралов, на интерполяционные формулы и в результате автоматизировать эту процедуру.

Вероятность попадания в интервал (β_1, β_2) значения случайной величины x_c, подчиняющейся нормальному закону распределения, вычисляется по формуле

$$P(\beta_1 < x_c < \beta_2) = \frac{1}{2}\left[\Phi_0\left(\frac{\beta_2 - a}{\sigma}\right) - \Phi_0\left(\frac{\beta_1 - a}{\sigma}\right)\right], \quad (1)$$

где a – параметр, равный математическому ожиданию; σ^2 – дисперсия случайной величины; $\Phi_0(x)$ – нормированная функция Лапласа, определяемая в виде

$$\Phi_0(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_0^x \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right)dt \cdot \quad (2)$$

Например, расчет нестационарного коэффициента готовности в предположении о том, что времена наработки на отказ и восстановления имеют распределение Гаусса [4], осуществляется с использованием функции (2). Математическая запись теоремы Муавра–Лапласа [5] содержит интеграл вида (2). В ходе проверки гипотезы о нормальном распределении генеральной совокупности по критерию Пирсона приходится многократно вычислять функцию $\Phi_0(x)$ [1–5].

Нижняя и верхняя доверительные границы для P вычисляются так [2]:

$$P_H(t) = P_c - U_\gamma\sqrt{D}\,; \qquad P_B(t) = P_c + U_\gamma\sqrt{D}\,. \quad (3)$$

Здесь $P_C(t) = 1/2 - \Phi_0[(t - x_c)/\sigma]$ – значение оценки надежности из нормальной совокупности; $D \cong \varphi^2(1 + 0{,}5\cdot z^2)/n$ – приближенное значение дисперсии для n испытаний объекта; $z = (t - a)/\sigma$; $\varphi = \varphi(z) = \exp(-z^2/2)/\sqrt{2\pi}$; U_γ – квантиль уровня стандартного нормального распределения; параметр $\gamma = (1 + \beta)/2$, где β – достоверность, равная 0,9; 0,95. При «ручных» расчетах значения U_γ находятся по таблицам [2].

Часто используется функция Лапласа, которая определена в монографии [7] таким образом

$$\Phi_L(x) = \sqrt{\frac{2}{\pi}}\int_0^x \exp(-t^2/2)dt \cdot \quad (4)$$

Нормированная функция Лапласа в виде (2) связана с (3) таким образом

$$\widetilde{\Phi}_0(x) = 0{,}\cdot 5\cdot\Phi_L(x). \quad (5)$$

Для нахождения значений $\Phi_0(x)$ используют табличные данные [3], [5], встроенные функции в Microsoft Excel [4] или в пакет Mathcad [8]. Изучение публикаций в специализированных журналах по теплоэнергетике показало, что до настоящего времени встречаются только модельные задачи, решение которых было получено применением этого пакета.

Однако реализация инженерных методик расчета характеристик теплоэнергетических установок, основанных на использовании громоздких эмпирических зависимостей, в пакете MathCad потребует больших затрат времени, т. к. в математическом обеспечении отсутствуют соответствующие средства.

Можно воспользоваться средой Турбо Паскаль, остающейся эффективным средством выполнения прикладных теплотехнических и надежностных расчетов [9 – 11].

Известен ряд интерполяционных зависимостей для $\Phi_L(x)$. Приведем одну из них, обеспечивающую погрешность менее 1% [7]:

$$\Phi_L(x) = \sqrt{1 - \exp\left[-(2/\pi - k)x^2\right]/(1 + kx^2)}, \quad (6)$$

где k = 0,1253.

Формулу (6) можно использовать при расчетах на микрокалькуляторах, а тем более на персональном компьютере в среде Турбо Паскаль, что упрощает количественный анализ надежности различных объектов.

Для вычисления U_γ, входящего в формулы (3), была использована достаточно точная интерполяционная зависимость из [7]

$$U_\gamma = 4{,}91\left[\gamma^{0{,}14} - (1 - \gamma)^{0{,}14}\right]. \quad (7)$$

Таким образом, автоматизация расчета показателей надежности объектов, описываемых нормальным законом, расширяет возможности программного обеспечения (методы структурных

схем, статистических испытаний и интенсивностей переходов), реализованного в среде Турбо Паскаль [9], [11].

Список литературы:

1. Надежность теплоэнергетического оборудования ТЭС и АЭС: /Г.П. Гладышев, Р.З. Аминов, В.З. Гуревич и др. – Под ред. А.И. Андрющенко.– М.: Высшая школа,1991. – 303 с.
2. Шубин В.С. Рюмин Ю.А. Надежность оборудования химических и нефтеперерабытывающих производств – М.: Химия, 2006. – 359 с.
3. Голдаев С.В. Надежность и оптимизация систем теплоэнергоснабжения промпредприятий. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 168 с.
4. Половко А.М., Гуров С.В. Основы теории надежности /2-ое изд., пераб. и доп. – СПб: БХВ-Петербург, 2008 – 704 с.
5. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. – М.: Наука,1988.– 480 с.
6. Никитин О.Ф. Надежность, диагностика и эксплуатация гидропривода мобильных объектов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 312 с.
7. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников – М.: Физматлит, 2006. – 816 с.
8. Ивановский Р.И. Теория вероятностей и математическая статистика. Основы, прикладные аспекты с примерами и задачами в среде Mathcad. –СПб:БХВ-Петербург, 2008. – 528 с.
9. Голдаев С.В. Практикум по надежности и оптимизации систем теплоэнергоснабжения. – Томск: Изд-во ТПУ, 2005. – 100 с.
10. Голдаев С. В., Загромов Ю. А., Ковалев М. В. Решение задач по теплотехнике в среде Турбо Паскаль – Томск: Изд-во ТПУ, 2006. – 184 с.
11. Голдаев С.В., Коровина А.М., Радюк К.Н. Автоматизация расчета показателей надежности объектов, подчиняющихся распределению Вейбулла-Гнеденко / Материалы шестнадцатой Всероссийской научно-технической конференции «Энергетика: экология, надежность, безопасность». – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – С.333–335.

УДК 536.46

Расчет энергетических характеристик композиций, используемых для термогазодинамического воздействия на нефтеносные пласты

В.М. Горбенко, М.В. Горбенко
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия
E-mail: gorbenkovm@mail.ru

В работе представлены результаты термодинамического расчета энергетических характеристик смесевых композиций, используемых в газогенераторах для термогазодинамического воздействия на призабойную зону скважины. Получено, что смесевая композиция на основе перхлората аммония и активного горючего-связующего, содержащая 15 масс. % алюминия имеет наиболее высокие энергетические возможности, высокий газоприход по сравнению с исследованными системами на других типах окислителя, горючего-связующего и металлических добавок.

Создание конкурентно способной продукции невозможно без широкого использования новых технологий, обеспечивающих экономию топливных и энергетических ресурсов [1–3]. В настоящее время в России, в частности, в Западной Сибири, крупные нефтяные месторождения характеризуются значительным падением дебита наиболее продуктивных пластов. Доля таких месторождений (по оценкам ИХН СО РАН г. Томск) превышает 40 %. Актуальной задачей является поиск эффективных методов повышения нефтедобычи обедненных пластов. Одним из перспективных методов является метод газодинамического воздействия на призабойную зону скважины (ПЗС). Известно [3], что термогазохимическое воздействие на ПЗС возможно за счет использования газогенераторов, работающих на твердых смесевых композициях (СК). Время сгорания смесевых композиций в газогенераторе регулируется подбором соответствующей рецептуры и может длиться от нескольких минут до долей секунды. В соответствии с этим изменяется и скорость выделения газа при сгорании, что в свою очередь влияет на давление и температуру в зоне горения. Количество подводимых в скважину газов определяется массой заряда газогенератора, которая может варьироваться от 20 до 500 кг.

При сгорании заряда происходит нарастание давления и температуры в зоне горения. Для быстрогорящих композиций давление на забое может достигать 50…120 МПа, так как столб

жидкости в скважине играет роль уплотнительного поршня, который не успевает мгновенно сдвинуться с места благодаря своей инерции. При быстром процессе горения осуществляется механическое воздействие на пласт, приводящее к образованию в нем новых трещин и к расширению существующих. Это воздействие аналогично гидроразрыву пласта, но без закрепления образовавшихся трещин наполнителем. При разгрузке давления продукты горения движутся из пласта, вынося расплавы парафинов и смол, песчано-глинистые частицы, продукты химических реакций, тем самым, очищая трещины и перфорированные каналы.

При медленном горении смесевых композиций на забое скважины создается высокая температура (до 350°С), так как на фронте горения СК температура достигает 2000…3500°С. В результате происходит прогрев призабойной зоны скважины. Нагретые газообразные продукты сгорания проникают по порам и трещинам в глубь пласта, расплавляют смолы, асфальтены и парафины, выпавшие в призабойной зоне в процессе эксплуатации скважины. Такое воздействие аналогично термическому воздействию на пласт.

При горении смесевых композиций образуется большое количество газообразных продуктов горения. Физико-химическое воздействие продуктов горения, состоящих в основном из оксида и двуокиси углерода, азота, хлорводородных соединений, проявляется в снижении коэффициентов вязкости и поверхностного натяжения нефти на границе с водой и частичном растворении карбонатных пород в прискважинной зоне обрабатываемого пласта. Это способствует повышению продуктивности скважины.

Следует отметить, также, что процесс горения смесевых композиций в газогенераторе хотя и является кратковременным, но существенно отличается от взрывного. Поэтому вследствие «плавного» нарастания давления в скважине при работе газогенератора в обсадной колонне не возникает остаточных деформаций и не происходит повреждений обсадных труб, что является весьма важным обстоятельством при дальнейшей эксплуатации скважины. К достоинствам термогазодинамического метода можно отнести также достаточно долгий период последействия (до 7 месяцев), дешевизну оборудования и работ. Данный метод может применяться практически на всех видах скважин.

Важным моментом является и то, что газогенераторы, могут применяться не только для повышения нефтеотдачи пластов, но также в системах наддува спасательных средств и понтонов, в системах перекрытия магистралей газо- и нефтепроводов и других объектах народного хозяйства.

Таким образом, актуальной является задача термодинамического моделирования эффективных смесевых композиций, обладающих высокими энергетическими характеристиками, большим газообразованием, допустимым содержанием конденсированных веществ в продуктах сгорания.

Цель работы – расчет энергетических характеристик металлизированных смесевых композиций в зависимости от типа окислителя и горючего-связующего. В качестве металлического горючего использовали алюминий или смесь алюминий/бор.

Термодинамический расчет проведен в допущении полностью равновесных процессов преобразования химической энергии смесевой композиции в теплоту и далее в механическую работу (при расширении продуктов сгорания на выходе из камеры газогенератора).

Известно, что скорость истечения продуктов сгорания определяется по формуле

$$W = \sqrt{\frac{2k}{k-1}\frac{R}{\mu}T\left[1-\left(\frac{p_a}{p}\right)^{\frac{k-1}{k}}\right]},$$

где k – показатель адиабаты; R – универсальная газовая постоянная; μ – средняя молярная масса продуктов сгорания; T – температура; p – давление в камере газогенератора, p_a – давление в его выходном сечении. Скорость истечения продуктов сгорания существенно зависит от T, μ, k.

Наличие в рецептуре СК металлических частиц (алюминия, бора) приводит к тому, что в продуктах сгорания заряда с газовой фазой содержится конденсированная фаза в виде частиц окислов металлов. Наличие двухфазной смеси ведет к повышению μ и уменьшению величины показателя адиабаты k. Следует отметить, что присутствие металлических добавок в СК приводит к значительному росту температуры продуктов сгорания, а следовательно, к росту W.

В данной работе по стандартной программе расчета термодинамических равновесий «Астра-4» (МГТУ им. Н.Э. Баумана, [4]) определены энергетические характеристики – адиабатическая температура горения в камере газогенератора ($T_{ад}$, К); адиабатическая температура продуктов сгорания (T, К) и скорость истечения продуктов сгорания (W, м/с) в выходном сечении

газогенератора; удельный объем газа (V, м^3/кг); массовая доля всех конденсированных фаз (z). Расчеты вели для стандартного значения степени расширения p/p_a=40/1. В данной работе проводится сравнительный анализ энергетических возможностей СК на основе перхлората аммония (ПХА), нитрата аммония (НА), двойного бесхлорного окислителя нитрат аммония/энергетическая добавка (НА/ЭД), взятых в соотношении 1/1.

Поскольку выбор связующего очень важен для максимального использования потенциала окислителя, то в расчетах использовали три различных типа связующих, а именно:

инертное горючее-связующее (СКДМ), ΔH= -1086,800 кДж/кг;

активное горючее-связующее (АС 1), ΔH= -1046,672 кДж/кг, коэффициент избытка окислителя α=0,61;

активное горючее-связующее (АС 2), ΔH= -1571,680 кДж/кг, α=0,41;

В настоящей работе приведены расчетные данные (см. табл.) для систем с фиксированным содержанием энергетического компонента – 15 масс. % Al. При таком содержании алюминия СК близки к оптимуму по энергетике. Также приведены расчеты систем, содержащих смешанное металлическое горючее, где в качестве второго энергетического компонента взят бор. В системах, содержащих смешанное металлическое горючее, содержание алюминия варьировалось от 0 до 20 масс. %, а содержание бора – от 5 до 15 масс. %. В работе рассмотрено такое соотношение компонентов, которое обеспечивает технологичность смесевых композиций, то есть возможность изготовления с удовлетворительными физико-механическими и реологическими характеристиками.

Анализ термодинамических расчетов показал, что система 3 на активном горючем-связующем АС 1, содержащая ПХА и алюминий, имеет самую высокую температуру продуктов сгорания, высокую скорость истечения продуктов сгорания, наибольший удельный объем выделившихся газов и сравнительно большое значение массовой доли конденсированной фазы. Получено, что для системы 4 на двойном бесхлорном окислителе выигрыш в объеме выделившегося газа снижается, а скорость истечения газов увеличивается по сравнению с системой 3. Полная замена ПХА на НА в системах на инертном горючем-связующем приводит к значительному снижению значений T, W и V по сравнению с системой 1.

Таблица 1. Энергетические характеристики систем с различными окислителями и связующими, металлическими добавками Al, B (масс. %)

№	Системы	α	$T_{ад}$, (К)	T, (К)	W, (м/с)	V, (м^3/кг)	z
1	ПХА+СКДМ+Al(15)	0,5	3074	1757	2404	5,73	0,28
2	НА+СКДМ+Al(15)	0,5	1827	1065	1927	3,74	0,28
3	ПХА+АС 1+Al(15)	0,9	3687	2747	2406	6,51	0,28
4	НА/ЭД+АС 2+Al(15)	0,55	3257	1940	2449	6,19	0,28
5	ПХА+СКДМ+Al(0), B(5)	0,5	2264	1370	2239	5,07	0,16
6	ПХА+СКДМ+Al(10), B(10)	0,5	2904	1991	2036	5,82	0,21
7	ПХА+СКДМ+Al(10), B(15)	0,5	3054	2096	2289	5,69	0,22
8	ПХА+СКДМ+Al(20), B(5)	0,5	3267	2233	2366	6,07	0,32

Для систем 1-4 массовая доля конденсированной фазы составляет z=0,28. Использование смешанного металлического горючего алюминий/бор (системы 5-7) приводит к значительному снижению конденсированной фазы в продуктах сгорания в 1,3…1,75 раза по сравнению с системами 1-4. При этом скорость истечения газов в системах на смешанном металлическом горючем достаточно высокая. Расчеты показали, что присутствие в рецептуре СК алюминия выше 20 масс. % в смешанном металлическом горючем приводит к повышению величины z. Если предположить, что образующаяся конденсированная фаза (преимущественно Al_2O_3) представляет собой пористую структуру, то это может оказаться полезным для предупреждения смыкания трещин при снятии давления и сохранения проницаемости трещин пласта.

Выводы

1. Эффективность газодинамического воздействия на призабойную зону скважины зависит от энергетических возможностей СК, которые в данном случае могут оцениваться параметрами:

температурой продуктов сгорания, скоростью истечения продуктов сгорания, удельным объемом выделившихся газов и значением массовой доли конденсированной фазы.

2. Из СК на смешанном металлическом горючем интерес представляет система 7, содержащая алюминий (до 10 масс %) и бор (до 15 масс. %). Эта система обеспечивает приемлемо высокий уровень значений *T*, *W* и *V*, при одновременном снижении массовой доли конденсированной фазы в 1,3…1,75 раза по сравнению с системами, содержащими алюминий.

3. В смесевых композициях, содержащих 15 масс % Al, наиболее высокие энергетические характеристики по температуре, скорости, объему и содержанию конденсированной фазы в продуктах сгорания достигаются в системе 3 на основе перхлората аммония и активного горючего-связующего АС 1.

4. При практической реализации исследованных СК использование ультрадисперсных порошков металлов может привести к существенному повышению *T*, *W* и *V* и одновременному снижению содержания конденсированных веществ в продуктах сгорания.

Список литературы:

1. Балакиров Ю.А., Маряк С.Г. Повышение производительности нефтяных пластов и скважин. – Киев: Техника, 1985. – 118 с.
2. Нефтяная энциклопедия. В 3-х т. / Под общ. ред. Валецкого Ю.В. – М.: Моск. отд. «Нефть и газ» МАН, ОАОВНИИО-ЭНГ, 2002.
3. Муравлев Е.В. Дисс. …канд. тех. наук. Бийск. ИПХЭТ СО РАН, 2007. – 121 с.
4. Трусов Б.Г. Астра–4. Моделирование химических и фазовых равновесий при высоких температурах.– М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1991. –35с.

УДК 621.398

Соблюдение условий электробезопасности в сетях 6-35 кВ с резестированной нейтралью

Ю.Л. Жуковский

Санкт-Петербургский Государственный Горный Университет, Санкт-Петербург, Россия
E-mail: spmi_energo@mail.ru

Рассмотрены условия электробезопасности при замыканиях на землю в сети среднего напряжения с нейтралью заземленной через резистор при использовании групповой защиты. Представлен способ выбора значения сопротивления резистора в нейтрали позволяющий обеспечить работоспособность и селективность действия защиты при больших переходных сопротивлениях.

Среднее число повреждений, вызывающих отключения линий электропередач (ЛЭП) напряжением до 35 кВ, составляет около 25 на 100 км линии в год [1]. Не менее 75 % из этих аварийных повреждений в данных сетях связаны с однофазными замыканиями на землю (ОЗЗ).

Рассмотрим условия электробезопасности при замыканиях на землю в сети среднего напряжения с нейтралью заземленной через резистор, которые определяются значениями напряжений, возникающими на заземленном оборудовании. К этим напряжениям относятся: напряжение на заземляющем устройстве; напряжение прикосновения; напряжение шага.

Значения напряжений в свою очередь определяются сопротивлением заземляющего устройства (ЗУ) и параметром прикосновения (шага). Под последним понимается параметр, определяемый степенью выравнивания потенциала, измеряемый в омах и равный отношению возникшего напряжения прикосновения к току, стекающему в землю с заземляющего устройства.

Длительный опыт эксплуатации сетей напряжением 6-35 кВ показывает, что установленная Правилами устройства электроустановок минимальная норма напряжения на заземляющем устройстве 125 В (1.7.57 ПУЭ [2]) в основном обеспечивает безопасность на подстанциях и в местах выноса потенциала с подстанции, например, по нулевым проводам сети 0,4 кВ. Поэтому можно считать, что если напряжение на ЗУ не превышает 125 В, то условия безопасности обеспечены. При норме на сопротивление заземляющего устройства 4 Ома с него может стекать ток до 125/4=31,25 ампера [3].

Таким образом, если сопротивление резистора равно емкостному сопротивлению сети и активный и емкостной токи равны, то значение активного тока не должно превышать 22 А. То есть по условиям электробезопасности сопротивление резистора в нейтрали сети 35 кВ не может быть меньше 920 Ом. Таким образом, грубая оценка позволяет ограничить по условиям электробезопасности сопротивление резистора в нейтрали минимальным значением 920 Ом. Соответственно при емкостном токе более 22А, выполнение условия электробезопасности сети

при выборе сопротивления резистора по условию равенства емкостному сопротивлению сети становится не возможным. Если емкостной ток больше 22 ампер, то в принципе, сопротивление резистора можно увеличить, а активный ток уменьшить, не превышая суммарного тока в 31,25 ампер, но тогда не будет выполняться принцип равенства емкостного и активного тока предложенный как базовый при выборе сопротивления резистора в нейтрали сети рядом авторов[3,4,5].

В соответствии с ПУЭ требуемая величина коэффициента чувствительности $k_ч$ для защит, установленных на воздушных ЛЭП, должна быть не ниже 1,5 [2]. Однако стоит учитывать тот факт, что в сети с воздушными ЛЭП в месте (ОЗЗ) может появится переходное сопротивление порядка нескольких кОм и более. При этом напряжение нулевой последовательности на шинах подстанции уменьшится. Во столько же раз уменьшится ток, протекающий через защиту поврежденной линии и коэффициент чувствительности.

Проанализируем, какие значения переходных сопротивлений способна почувствовать защита в сетях разного напряжения с разными величинами токов ОЗЗ при нормируемом коэффициенте чувствительности в режиме металлического замыкания. Для этого воспользуемся следующим выражением приведенным в [5]:

$$R_{П} \le U_{сети} \frac{\sqrt{k_ч^2 (I_R^2 + I_c^2) - I_c^2} - I_R}{\sqrt{3}(I_R^2 + I_c^2)}, \quad (1)$$

где I_R - ток заземляющего резистора, I_C- емкостной ток, $k_ч$ - коэффициент чувствительности, $U_{сети}$ - напряжение сети, $R_П$- величина переходного сопротивления.

Рассмотрим данное выражение в качестве примера для двух вариантов построения защиты от ОЗЗ в сетях 6-35 кВ с резистивно-заземленной нетралью. В первом случае предположим, что для построения защиты от ОЗЗ заземляющий резистор выбирается таким образом, что его ток равен полному емкостному току сети. Тогда соответственно активный ток резистора равен полному ёмкостному току сети и выражение (1) примет вид:

$$R_{\text{П}} \le U_{\text{сети}} \frac{\sqrt{2k_{\text{ч}}^2 - 1} - 1}{2\sqrt{3} I_{\text{с}}}. \quad (2)$$

Во втором случае найдем значение переходного сопротивления, при котором будет обеспечиваться срабатывания групповой защиты (ГЗ) от ОЗЗ. Основу рассматриваемой ГЗ составляют терминалы защиты с обратнозависимой от тока временной характеристикой, подключенные к трансформаторам тока нулевой последовательности (ТТНП) различных присоединений в сетях 6-35 кВ.

Логика защиты предусматривает одновременный пуск всех терминалов при возникновении ОЗЗ в защищаемой сети, и последующий запрет набора выдержки времени по факту срабатывания первого из них. Поскольку в поврежденном присоединении протекает наибольший суммарный ток однофазного замыкания по сравнению с собственным емкостными токами каждого из неповрежденных присоединений, то оно отключается с наименьшей выдержкой времени, согласно выбранной характеристики срабатывания.

Определим первоначально значения сопротивления резистора в нейтрали, при котором будет обеспечиваться селективное срабатывание ГЗ от ОЗЗ для заданной системы электроснабжения. Для этого воспользуемся известным двойным неравенством регламентирующим ток срабатывания защиты от ОЗЗ, с учетом резистивного заземления нейтрали:

$$\frac{\sqrt{(I_{C\Sigma}^{(1)} - I_{\text{л.с.max}})^2 + I_{\text{R}}^2}}{k_ч} \ge I_{\text{ср.з.min}} \ge k_н k_{\text{бр}} I_{\text{л.с.min}} \quad (3)$$

где $k_н$ - коэффициент надёжности, $k_{\text{бр}}$=3-5- коэффициент “броска”, учитывающий бросок емкостного тока в момент возникновения ОЗЗ, а также способность защиты реагировать на него, $I_{C\Sigma}^{(1)}$- ток однофазного замыкания на землю в данной сети; $I_{\text{ср.з.}}$– ток срабатывания защиты (первичный), $I_{\text{л.с.}}$– собственный емкостной ток линии.

Введем следующие обозначения коэффициентов долевого участия:

$$n_{\min} = \frac{I_{л.собст.\min}}{I_{C\Sigma}^{(1)}}, \quad n_{\max} = \frac{I_{л.собст.\max}}{I_{C\Sigma}^{(1)}}, \quad n_R = \frac{I_R}{I_{C\Sigma}^{(1)}}$$

соответственно линии с наименьшим, наибольшим собственным током в общем токе ОЗЗ и активной составляющей тока заземляющего резистора в общем токе ОЗЗ, тогда выражение (3) можно представить в виде:

$$\sqrt{(I_{C\Sigma}^{(1)} - I_{C\Sigma}^{(1)} n_{\max})^2 + I_{C\Sigma}^{(1)^2} n_R^2} \geq k_{\text{ч}} k_{\text{н}} k_{бр} I_{C\Sigma}^{(1)} n_{\min},$$

преобразовав данное выражения получим

$$n_{\max}^2 - 2n_{\max} + n_R^2 + 1 - k_{\text{ч}}^2 k_{\text{н}}^2 k_{бр}^2 n_{\min}^2 \geq 0.$$

Решим данное неравенство относительно коэффициента долевого участия линии с наибольшим собственным емкостным током в общем токе ОЗЗ:

$$n_{\max} = 1 \pm \sqrt{k_{\text{ч}}^2 k_{\text{н}}^2 k_{бр}^2 n_{\min}^2 - n_R^2}.$$

Но так как значение долевого участия линии с наибольшим собственным током в общем токе ОЗЗ не может быть больше 1, т.е. больше общего тока однофазного замыкания на землю в данной сети, то окончательно получим:

$$n_{\max} = 1 - \sqrt{k_{\text{ч}}^2 k_{\text{н}}^2 k_{бр}^2 n_{\min}^2 - n_R^2}.$$

Определим при помощи полученного выражения значение коэффициента n_R, при котором для данного значения коэффициента долевого участия линии с наименьшим собственным током в общем токе ОЗЗ n_{min} будет выполнятся условие селективности действия защиты:

$n_R^I \geq k_{ч} k_{н} k_{бр} n_{\min}$, что равноправно выражению $I_R^I \geq k_{\text{ч}} k_{\text{н}} k_{\text{бр}} I_{\text{л.с.min}}$,

где I_R^I - ток заземляющего резистора, при котором будет обеспечиваться срабатывание ГЗ для заданных условий системы электроснабжения. Воспользовавшись полученным выражением, найдем искомое значения сопротивления резистора:

$$R_{\text{рез}} \leq \frac{U_{\text{сети}}}{\sqrt{3} k_{\text{ч}} k_{\text{н}} k_{\text{бр}} I_{\text{л.с.min}}}. \quad (4)$$

По выражениям (2) и (4) для сети 6-35 кВ с резистивным заземлением нейтрали были рассчитаны наибольшие значения $R_{\text{П}}$ в зависимости от емкостного тока сети, которые способна почувствовать защита от ОЗЗ при нормированном коэффициенте чувствительности в режиме металлического ОЗЗ равном $k_{\text{ч}}$=1,5. Результаты расчетов показали, что в сети напряжением 35 кВ с полным током ОЗЗ равным 10 ампер при нормированном значении коэффициента чувствительности защита будет работать только при переходном сопротивлении не более $R_{\text{П}}$≈880 Ом. При использовании ГЗ от ОЗЗ настраиваемой по минимальному собственному емкостному току одной из линий, при коэффициенте долевого участия линии с наименьшим собственным током в общем токе ОЗЗ $n_{\min}$=0,2, защита будет работать при переходном сопротивлении равном $R_{\text{П}}$≈1315 Ом. При $n_{\min}$=0,5 значения переходного сопротивления для ГЗ от ОЗЗ будет уже равно $R_{\text{П}}$≈1987 Ом, что более чем 2,25 раза больше чем значение переходного сопротивления общепринятых защит для сетей с резистивным заземлением нейтрали основанных на равенстве активных и емкостных токов в сети при ОЗЗ.

Соблюдение условия электробезопасности в защищаемой сети, использование ГЗ от ОЗЗ и способа выбора значения сопротивления резистора в нейтрали по выражению (4) позволит охватить более разветвленную электрически связанную сеть, в сравнении с рядом защит основанных на равенстве активного и емкостного тока сети. При этом работоспособность и селективность действия защиты при больших переходных сопротивлениях, позволят получить большую чувствительность защит от ОЗЗ.

Список литературы:

1. Воротницкий В. Э., Воротницкий В. В. Надежность распределительных электрических сетей 6(10) кВ Автоматизация с применением реклоузеров. // «Новости электротехники», 5, 2002 г.
2. Правила устройства электроустановок, 7-е издание, 2003 г.
3. Целебровский Ю.В. Выбор сопротивления резистора в нейтрали по условиям электробезопасности // Труды второй всероссийской научно-технической конференции “Ограничений перенапряжений и режимы заземления нейтрали сетей 6-35 кВ”, Новосибирск 2002.
4. Евдокунин Г.А. Анализ внутренних перенапряжений в сетях 6-10 кВ и обоснование

необходимости перевода сетей в режим с резистивньм заземлением нейтрали. Ограничение перенапряжений и режимы заземления нейтрали сетей 6-35 кВ // Труды Второй всероссийской научно-технической конференции. - Новосибирск: ГЦРО, 2002. С. 9-13.
5. Хабаров А.М. Разработка и исследование характеристик защит от однофазных замыканий на землю в сетях 6-35 кВ с резистивным заземлением нейтрали. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Новосибирск: НГТУ, 2006

УДК 624.9

Принципы проектирования энергосберегающих зданий

Ю.Ю. Ильинский, Р.С. Федюк
Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток, Россия
E-mail: gera 210307@mail.ru

Определена цель проектирования и строительства энергоэффективных зданий, которая состоит в более эффективном использовании энергоресурсов, затрачиваемых на энергоснабжение здания, путем применения инновационных решений, которые осуществимы технически, обоснованы экономически, а также приемлемы с экологической и социальной точек зрения и не изменяют привычного образа жизни. Решающее значение при выборе энергосберегающих технологий имеют технические решения, одновременно способствующие улучшению микроклимата помещений и защите окружающей среды.

Методология проектирования энергоэффективного здания должна основываться на системном анализе здания как единой энергетической системы. Представление энергоэффективного здания как суммы независимых инновационных решений нарушает принципы системности и приводит к потере энергетической эффективности проекта. Проектирование энергоэффективного здания в соответствии с принципами системного анализа включает в себя три этапа [1]:

1. построение математической модели тепломассобменных процессов в здании, то есть описание их на языке математики;
2. выбор целевой функции, то есть определение ограничивающих условий и формулирование оптимизационной задачи в зависимости от цели оптимизации (снижение затрат энергии на отопление, снижение установочной мощности оборудования, снижение затрат энергии на климатизацию в годовом цикле и т.д.);
3. решение поставленной оптимизационной задачи.

В соответствии с принципами системного анализа целесообразно при проектировании энергоэффективного здания рассматривать две независимые энергетические подсистемы:

1. наружный климат как источник энергии;
2. здание как единая энергетическая система.

Анализ первой подсистемы позволяет вычислить энергетический потенциал наружного климата и определить методы его использования для тепло- и холодоснабжения здания [2]. Анализ второй подсистемы позволяет определить характеристики архитектурно-конструктивных, теплотехнических или энергетических показателей здания как единой энергетической системы.

Методика построения математической модели теплового режима здания как единой энергетической системы предполагает декомпозицию здания на три основные энергетически взаимосвязанные подсистемы:

1. энергетическое воздействие наружного климата на оболочку здания;
2. энергия, накопленная (содержащаяся) в оболочке здания, то есть в наружных ограждающих конструкциях здания;
3. энергия, накопленная (содержащаяся) внутри объема здания, то есть во внутреннем воздухе, внутреннем оборудовании, внутренних ограждающих конструкциях и т.д.

При необходимости каждая из указанных подсистем может быть представлена методом декомпозиции более мелкими энергетически взаимосвязанными элементами.

Проектирование энергоэффективного здания заключается в оптимизации трех вышеуказанныъх энергетически взаимосвязанных подсистем и здания в целом как единой энергетической системы и включает в себя:

1. определение оптимальных архитектурно-планировочных, теплотехнических или энергетических параметров отдельных элементов здания с учетом взаимосвязи между ними;
2. определение оптимальных архитектурно-планировочных, теплотехнических или энергетических параметров здания как единой энергетической системы.

При реальном проектировании выбор оптимальной совокупности взаимосвязанных инновационных архитектурно-планировочных и инженерных решений энергоэффективного здания может быть стеснен рядом ограничений, так называемых «дисциплинирующих условий», которые фиксированы с самого начала и не могут быть нарушены (например, этажность или протяженность здания). При этом ставится задача оптимизации с заданными ограничениями, и цель достигается при получении оптимального решения с учетом заданных ограничений. В этом случае целесообразно ввести показатель тепловой эффективности проектного решения η, который характеризует отличие принятого к проектированию здания от здания, наиболее эффективного в тепловом отношении:

$$\eta = \frac{W\min}{W}, 0 \prec \eta \le 1$$

Здесь Wmin - затраты тепловой энергии на обеспечение теплового режима здания, наиболее эффективного в тепловом отношении, *Вт; W* - затраты тепловой энергии на обеспечение теплового режима здания, принятого для проектирования, *Вт.* Максимальная тепловая эффективность достигается при η=1.

В соответствии с представлением здания как единой энергетической системы тремя основными энергетически взаимосвязанными подсистемами показатель тепловой эффективности проектного решения может быть записан так:

$$\eta = \eta_1 \eta_2 \eta_3$$
$$0 < \eta_i, \le 1,\ i = 1,2,3$$

Здесь η_1 - показатель тепловой эффективности в части оптимального учета наружного климата; η_2- то же в части оптимального выбора теплозащиты ограждающих конструкций; η_3- то же в части оптимального выбора системы обеспечения теплового режима здания.

Принятие окончательного решения относится к компетенции ответственного лица (чаще группы лиц), которому предоставлено право окончательного выбора и на которого возложена ответственность за этот выбор. Делая выбор, он может учитывать наряду с рекомендациями, вытекающими из математического расчета, еще ряд соображений количественного и качественного характера, которые в проведённых расчетах не были учтены.

Список литературы:

1. Табунщиков Ю.А., Бродач М.М. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий. М. АВОК-ПРЕСС, 2002
2. Bogoslovskiy V.N. 1982. Building thermophysics. Stroyizdat, Moscow.

УДК 533.9 (075.8)

Расчет реактора плазменного генератора тепла

А.А. Каренгин, А.Г. Каренгин, А.Д. Побережников
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия
E-mail: karenginaa@sibmail.com

Проведен расчет и оптимизация реактора плазменного генератора тепловой энергии из нефтяных отходов (шламов). Для расчётов использовался лицензионный программный комплекс ANSYS FLUENT 6.3, имеющий обширную базу данных по газообразным, жидким и твердым топливным материалам и позволяющий рассчитывать многофазные ламинарные и турбулентные течения, процессы теплопередачи и химические реакции. Результаты проведенных исследований могут быть использованы для создания промышленных передвижных и стационарных плазменных генераторов тепла.

Как показано в работах [1-4], образующиеся в процессе добычи и переработки нефти нефтяные отходы (шламы) содержат значительное количество нефтепродуктов, обладают значительной теплотворной способностью (до 30…32 МДж/кг) и могут быть использованы для промышленного получения тепловой и электрической энергии.

На рисунке 1 приведена схема плазменного генератора тепла (ПГТ) на базе высокочастотного факельного (ВЧФ) плазмотрона.

Мощный поток тепловой энергии от горячих продуктов плазменного горения диспергированных горючих композиций на основе нефтяных отходов (шламов) идет на образование и нагрев водяного пара в баке-парогенераторе 13, который установлен внутри корпуса реактора 5. Из бака-парогенератора 13 перегретый пар направляется на повышение

температуры и снижение вязкости подготовленных горючих композиций для получения более тонкого распыления, а также на другие технологические цели.

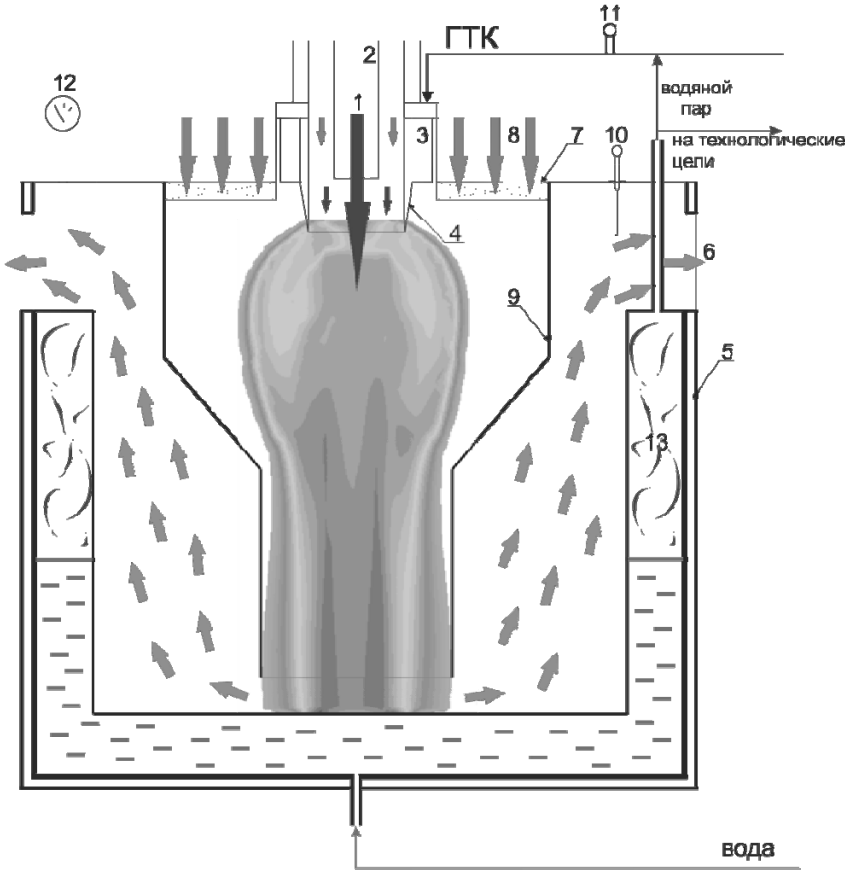


Рис. 1. Схема плазменного генератора тепла: 1 – плазменный факел ВЧФ-плазмотрона, 2 – кварцевая разрядная камера, 3 – привод диспергатора горючих композиций, 4 – диспергатор горючих композиций, 5 – корпус реактора, 6 – отходящие газы, 7 – импеллер реактора с переменной входной площадью, 8 – забор наружного воздуха, 9 – реактор, 10, 11 – термопары, 12 – манометр, 13 – бак-парогенератор.

На рисунке 2 представлена схема реактора плазменного генератора тепла

Рис. 2. Схема реактора плазменного генератора тепла: 1 – воздушный поток; 2 – воздушная плазменная струя; 3 – диспергатор горючих композиций; 4 – отходящие газы

Подача воздушного потока 1 в реактор осуществляется с различной скоростью $V_{ВП}$ через импеллер с переменным углом закрутки φ. Воздушная плазменная струя 2 с различной температурой $T_{ПС}$ и скоростью $V_{ПС}$ вводится по оси реактора. Диспергатор 3 преобразует горючие композиции в диспергированные горючие композиции (ДГК) с различными размерами $D_{ДГК}$, скоростью $V_{ДГК}$ и температурой $T_{ДГК}$ капель. Образующиеся продукты горения ДГК в виде отходящих газов 4 выводятся из реактора.

При расчёте реактора использовался лицензионный программный комплекс ANSYS FLUENT 6.3, имеющий большую базу данных по газообразным, жидким и твердым топливным

материалам и позволяющий рассчитывать многофазные ламинарные и турбулентные течения, процессы теплопередачи и химические реакции.

Для построения геометрии и расчетной сетки модели реактора использовалась программа Gambit 2.4.

Для расчёта реактора выбрана модель горения без предварительного смешения (non-premixed combustion model).

Движение капель диспергированных горючих композиций в реакторе рассчитывалось с помощью модели дискретных фаз (discrete phase model).

Обмен импульсом, теплотой, и массой между газом и каплями включался в расчет, чередуясь с расчётом траекторий капель и уравнений непрерывной газовой фазы.

Начальные условия ввода диспергированных горючих композиций в реактор задавались поверхностью диспергатора 3 с равномерно распределенным на нём конечным количеством точечных источников. Исходные параметры для расчета реактора плазменного генератора тепла представлены в таблице 1.

Таблица 1. Исходные параметры для расчета реактора ПГТ

Параметр	**Диапазон значений**	**Шаг дискретизации**
Скорость воздушного потока на входе в реактор, $V_{ВП}$	30…100 м/с	10 м/с
Угол закрутки воздушного потока на входе в реактор, φ	30…60^0	15^0
Скорость воздушной плазменной струи на входе в реактор, $V_{ПС}$	5…20 м/с	5 м/с
Температура воздушной плазменной струи на входе в реактор, $T_{ПС}$	2000…4000 K	500 K
Размер капель ДГК на входе в реактор, $D_{ДГК}$	10^{-6}…10^{-5} м	$2\cdot10^{-6}$ м
Скорость капель ДГК на входе в реактор, $V_{ДГК}$	1…10 м/с	1 м/с
Температура капель ДГК на входе в реактор, $T_{ДГК}$	300…600 K	100 K
Расход ДГК на входе в реактор, $W_{ДГК}$	500…1500 л/ч	500 л/ч

Состав горючих композиций оптимального состава на основе нефтяного шлама, имеющих адиабатическую температуру горения $t_{ад}\geq1200$ ^{o}C и обеспечивающих экологически безопасное сжигание, определялся из рисунка 3.

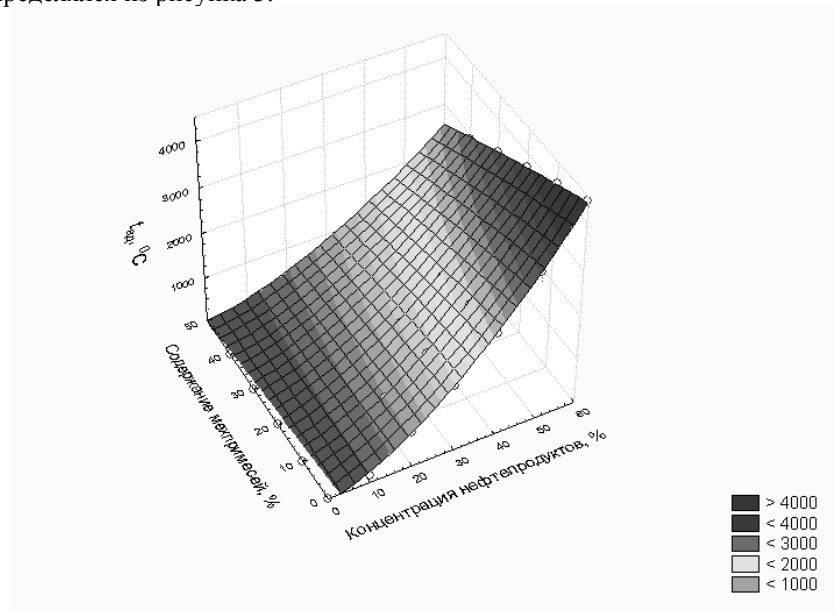
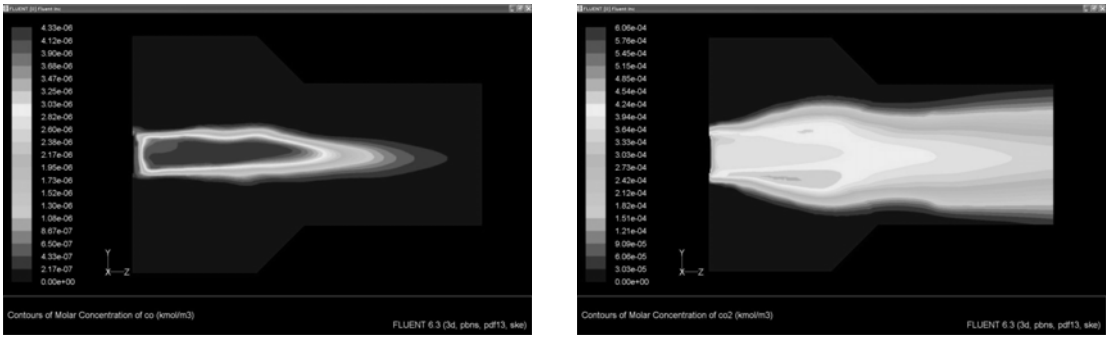


Рис. 3. Влияние содержания нефтепродуктов и механических примесей на адиабатическую температуру горения горючих композиций на основе нефтяных шламов

На рисунке 4 представлено характерное распределение в продольном сечении реактора молярной концентрации CO (а) и CO_2 (б) при плазменном горении нефтяных шламов в виде диспергированных горючих композиций оптимального состава.



а) б)

Рис. 4. Содержание CO и CO_2 в продуктах плазменного горения диспергированных горючих композиций оптимального состава

Анализ полученных результатов показывает, что во всём диапазоне изменения исходных параметров для расчёта реактора ПГТ (таблица 1) при плазменном сжигании нефтяных шламов в виде диспергированных горючих композиций оптимального состава образование CO происходит только в ограниченной области на входе в реактор при взаимодействии воздушной плазменной струи и капель диспергированных горючих композиций, а затем CO полностью переходит в CO_2. Это подтверждает экологически безопасную переработку нефтяных шламов в виде диспергированных горючих композиций оптимального состава.

На рисунке 5 представлено характерное распределение температуры в продольном сечении реактора при плазменном сжигании нефтяных шламов в виде диспергированных горючих композиций оптимального состава.

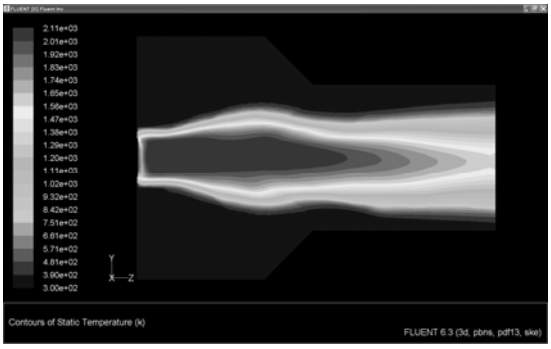


Рис. 5. Распределение температур в продольном сечении реактора при плазменном сжигании диспергированных горючих композиций оптимального состава

Анализ полученных результатов показывает, что во всём диапазоне изменения исходных параметров для расчёта реактора (таблица 1) плазменное сжигание нефтяных шламов в виде диспергированных горючих композиций оптимального состава позволяет получать тепловые потоки с рабочей температурой не менее 1200 ^{o}C, при этом с каждой тонны отходов может быть получено не менее 2,0 МВт·ч (1,7 Гкал) тепловой энергии.

По результатам проведенных расчетов и анализа полученных результатов определены и могут быть рекомендованы для практической реализации следующие оптимальные технологические режимы работы реактора ПГТ, обеспечивающие экологически безопасное сжигание нефтяных шламов в виде горючих композиций оптимального состава: $V_{ВП}$ = 80 м/с; φ = 30^{o}; $T_{ПС}$=3000 K; $V_{ПС}$ = 20 м/с; $T_{ДГК}$ = 600 K; $V_{ДГК}$ = 3м/с; $W_{ДГК}$ = 1000 л/ч.

Список литературы:

1. Каренгин А.Г, Ляхова В.А., Шабалин А.М. Установка плазмокаталитической утилизации нефтяных шламов // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. - 2007. - №4. - С. 10-12.
2. Способ утилизации нефтяных шламов и плазмокаталитический реактор для его осуществления: пат. Рос. Федерация. №2218378; заявл. 09.12.2002; опубл. 10.12.2003, Бюл. № 34. − 14 с.

3. Мазалов Е.А., Мещеряков С.В. Проблемы утилизации нефтешламов и способы их переработки. М.: Издательский дом «Ноосфера», 2001. - 52 с.
4. Бернадинер М.Н., Шурыгин А.П. Огневая переработка и обезвреживание промышленных отходов. М.: Химия. - 1990. – 302 с.

УДК 533.9 (075.8)

Плазменный генератор тепла из нефтяных отходов

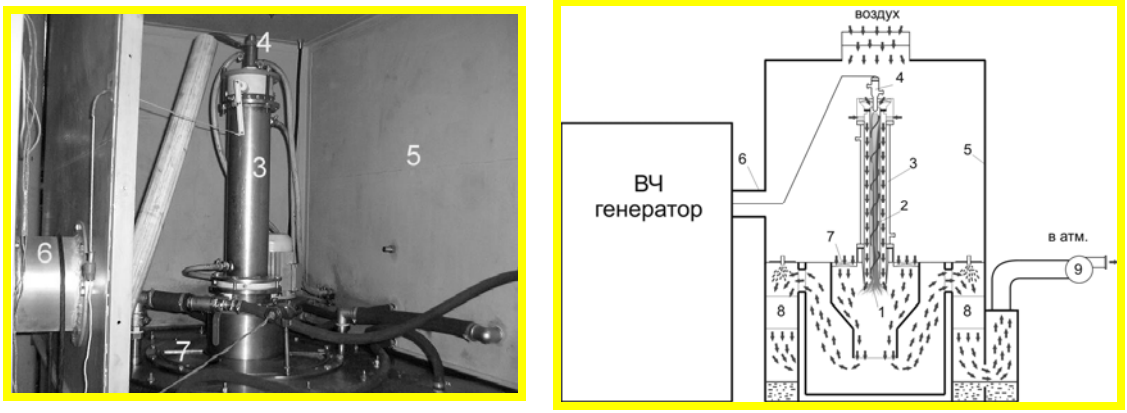
А.А. Каренгин, А.Г. Каренгин, А.Д. Побережников
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия
E-mail: karenginaa@sibmail.com

Показана возможность прямого получения тепловой энергии при плазменном сжигании оптимальных горючих композиций на основе нефтяных отходов (шламов). Установлено, что с каждой тонны горючих композиций оптимального состава может быть получено до 2,0 МВт·ч (1,7 Гкал) тепловой энергии. Результаты проведенных исследований могут быть использованы для создания промышленных передвижных и стационарных плазменных генераторов тепла.

Ежегодно только в России в процессе добычи и переработки нефти образуются миллионы тонн нефтяных отходов (шламов), содержащих тяжелые вязкие нефтепродукты (асфальтены, смолы, масла и др.), механические примеси (ил, песок) и воду, которые представляют серьёзную угрозу для окружающей среды, а традиционно применяемые технологии для утилизации таких отходов (в основном, термические) требуют специального оборудования, химических реагентов и связаны с получением вредных и токсичных веществ [1-4].

Следует также отметить, что эти отходы имеют значительную теплотворную способность (до 32 МДж/кг) и могут быть использованы в качестве топлива для промышленного получения дешевой тепловой и даже электрической энергии [5].

На рисунке 1 представлены фотография (а) и схема (б) плазменного модуля на базе высокочастотного факельного (ВЧФ) плазмотрона, предназначенного для исследования и оптимизации технологиеских режимов плазменного горения нефтяных отходов (шламов) в виде диспергированных горючих композиций оптимального состава в неравновесной воздушной плазме высокочастотного факельного разряда.



а) б)

Рис. 1. Плазменный модуль на базе ВЧФ-плазмотрона: 1 – факельный разряд; 2 – кварцевая разрядная камера; 3 – корпус плазмотрона; 4 – водоохлаждаемый медный электрод; 5 – защитный корпус; 6 – фидер ВЧ генератора ВЧГ8-60/13-01; 7 – импеллер реактора с переменной входной площадью; 8 – узел мокрой очистки отходящих газов; 9 – высоконапорный вытяжной вентилятор ВР 240-26 (№4)

ВЧФ-плазмотрон предназначен для генерирования потоков воздушной неравновесной плазмы со среднемассовой температурой 2000…4000 ^{0}С.

Для питания ВЧФ-плазмотрона используется высокочастотный генератор ВЧГ8-60/13-01 с номинальной колебательной мощностью 60 кВт и рабочей частотой (13,56±0,13) МГц.

На первом этапе были проведены расчёты показателей горения горючих композиций на основе нефтяных шламов для широкого диапазоны нефтепродуктов, воды и механических

примесей.

На рисунке 2 показано влияние содержания нефтепродуктов и механических примесей на адиабатическую температуру горения $t_{ад}$ горючих композиций на основе нефтяных шламов.

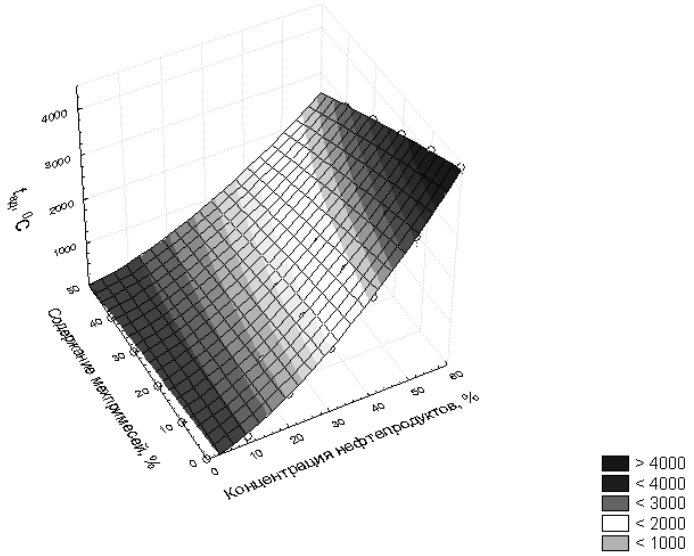


Рис. 2. Влияние содержания нефтепродуктов и механических примесей на адиабатическую температуру горения горючих композиций на основе нефтяных шламов

Представленный график позволяет определять различные горючие композиции оптимального состава, имеющие $t_{ад} \geq 1200$ ^{0}C и обеспечивающие экологически безопасное сжигание таких отходов. Например, оптимальная горючая композиция на основе нефтяного шлама, включающая 10% механических примесей, должна содержать не менее 40% нефтепродуктов, остальное – вода.

На втором этапе были определены режимы работы ВЧФ-плазмотрона, обеспечивающие до подачи в реактор диспергированных горючих композиций на основе нефтяных отходов (шламов) достижение отходящими из реактора газами температуры вспышки нефтяного шлама.

На рисунке 3 показано влияние на температуру отходящих из реактора газов величины анодного тока генератора (мощности ВЧФ-разряда) и входной площади импеллера реактора.

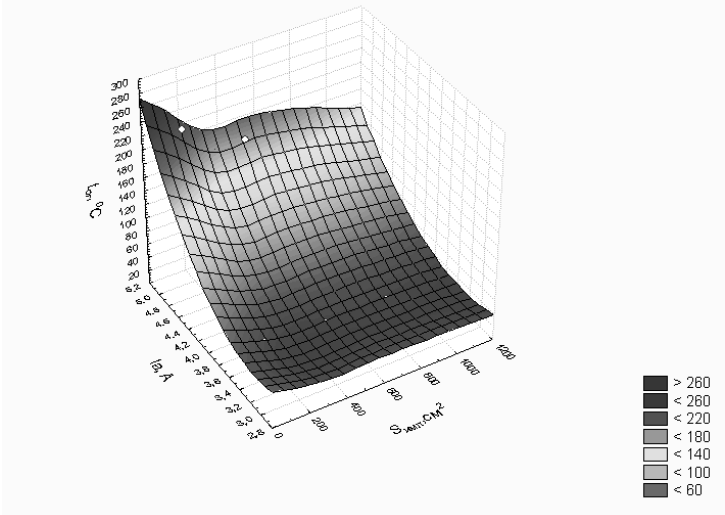


Рис. 3. Влияние анодного тока генератора и входной площади импеллера реактора на температуру отходящих газов

Из анализа полученной графической зависимости следует, что температура отходящих из реактора газов превышает температуру вспышки нефтяного шлама (210 ^{0}C) при анодном токе

генератора $I_a \geq 5$ А и входной площади импеллера реактора $S_{имп} \leq 330$ см^2.

Для повышения эффективности работы плазменного модуля его работу следует начинать в режиме «Прогрев» ($I_a \geq 5$А, $S_{имп}=330$ см^2) для быстрого повышения температуры отходящих из реактора газов до температуры вспышки горючих отходов, а после подачи в реактор подготовленной горючей композиции и розжига реактора плазменный модуль необходимо перевести в режим «Работа» ($I_a \leq 3{,}0$А, $S_{имп} \geq 1320$ см^2).

Для подтверждения расчетных данных были проведены экспериментальные исследования процесса плазменного горения диспергированных горючих композиций на основе нефтяных шламов различного оптимального состава.

На рисунке 4 показано влияние величины анодного тока генератора и содержания воды на рабочую температуру плазменного горения диспергированных горючих композиций на основе нефтяного шлама в режиме «Работа» (расход 1000 л/ч).

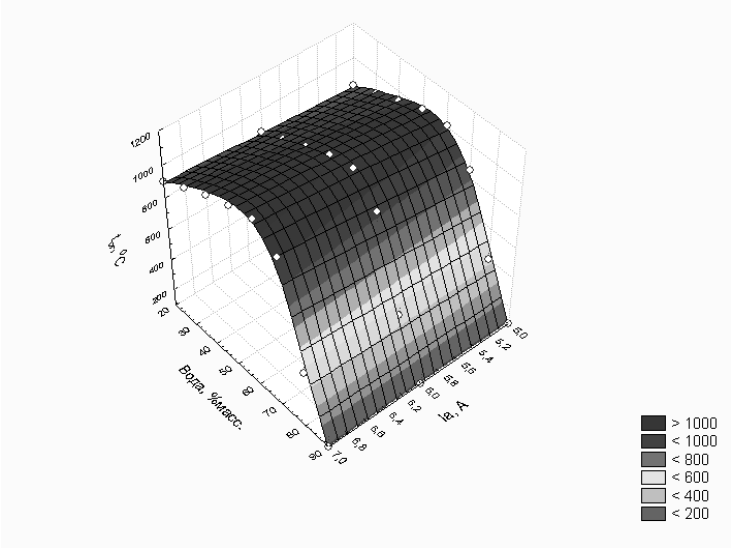


Рис. 4. Влияние анодного тока генератора и содержания воды в горючей композиции на рабочую температуру плазменного горения

Из анализа полученной графической зависимости следует, что во всём диапазоне изменения анодного тока генератора (3…5 А) рабочая температура плазменного горения горючих композиций достигает максимального значения ≈1200 ^{0}С при содержании воды ≈40%, что удовлетворительно согласуется с расчетными данными. При плазменном сжигании 1 т/ч оптимальной горючей композиции на основе нефтяного шлама может быть получено до 2,0 МВт·ч (1,7 Гкал) тепловой энергии, которая может быть использована для бытовых нужд и на технологические цели. При этом потребление плазменным модулем электрической энергии от промышленной сети составляет не более 50 кВт·ч.

Таким образом, результаты проведённых исследований указывают на реальную возможность прямого промышленного получения тепловой энергии из нефтяных и других горючих промышленных отходов.

Список литературы:

1. Мазалов Е.А., Мещеряков С.В. Проблемы утилизации нефтешламов и способы их переработки. М.: Издательский дом «Ноосфера», 2001. - 52 с.
2. Бернадинер М.Н., Шурыгин А.П. Огневая переработка и обезвреживание промышленных отходов. М.: Химия, 1990. – 302 с.
3. Анисимова С.А. Проблема сгорит в плазменном факеле // Недра и ТЭК Сибири. – 2009. - №3 (40). - С. 20-21.
4. Способ утилизации нефтяных шламов и плазмокаталитический реактор для его осуществления: пат. Рос. Федерации. №2218378; заявл. 09.12.2002; опубл. 10.12.2003, Бюл. № 34. − 14 с.
5. Каренгин А.Г, Ляхова В.А., Шабалин А.М. Установка плазмокаталитической утилизации нефтяных шламов // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. – 2007. - №4. - С. 10-12.

УДК 621.311

Энергоемкость производства валовой добавленной стоимости – новый индикатор энергетической эффективности Томской области

Г.Н. Климова, В.В. Литвак
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия
E-mail: gariki@tpu.ru

Среди других регионов России Томская область характеризуется показателями социально-экономического развития близкими к среднероссийскому уровню.

Удельный вес Томской области в общероссийских показателях по статистическим данным на 1 января 2010 года составил: в площади территории РФ – 1,84% (16 место среди субъектов Российской Федерации); в численности населения – 0,73% (51 место); в производстве ВВП – 0,76% (12 место); в добыче топливно-энергетических ресурсов – 1,71% (15 место); в обрабатывающих производствах – 0,42% (49 место); в производстве и распределении ЭЭ, газа и воды – 0,76% (43 место); в производстве сельскохозяйственной продукции – 0,67% (46 место); в строительстве – 0,81% (18 место); в обороте розничной торговли – 0,54% (45 место); в инвестициях в основной капитал – 0,9% (14 место); в экспорте – 0,17%; в импорте – 0,08%.

Соотношение удельного ВВП на душу населения соответственно для Российской Федерации и для Томской области показано на рис. 1.

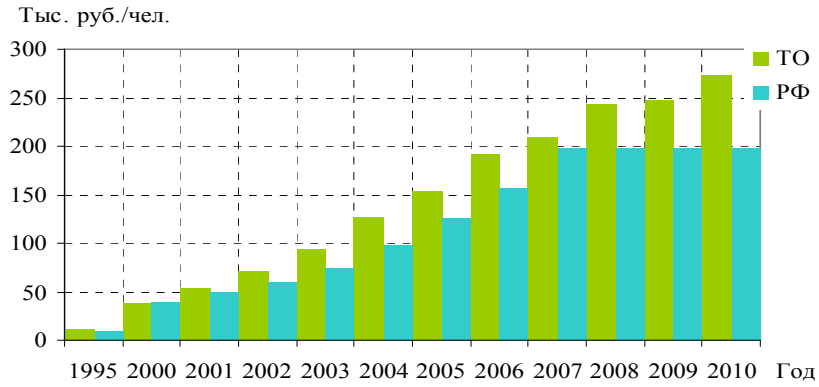


Рис. 1. Соотношение удельных ВВП на душу населения в России и ВРП в Томской области, тыс. руб./чел.

Более высокий уровень удельного производства ВРП в Томской области по сравнению со страной в целом говорит о более высокой в среднем производительности труда и более высокой занятости населения.

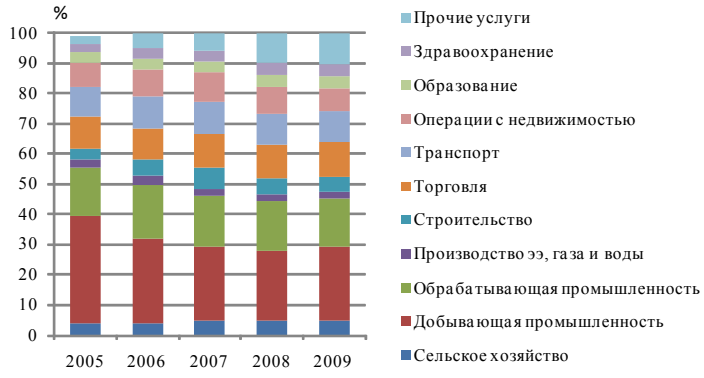


Рис. 2. Отраслевая структура ВДС, % [1]

Отраслевая структура валовой добавленной стоимости (ВДС) также несет в себе заметные изменения (рис. 2). Сокращается объем ВДС, создаваемый добывающими отраслями промышленности, организациями, занятыми в строительстве, операциях с недвижимостью. При этом наметилось увеличение производства ВДС организациями оптовой и розничной торговли, здравоохранении.

Наметившееся за последние 20 лет снижение численности населения в стране в определенной мере коснулось и Томской области. На фоне этого снижения сокращается и количество лиц, занятых в экономике. Структура численности лиц, занятых в экономике области

по видам экономической деятельности в 2009 году (по данным на 01.01.2010г.) представлена на рис. 3 [2, 3].

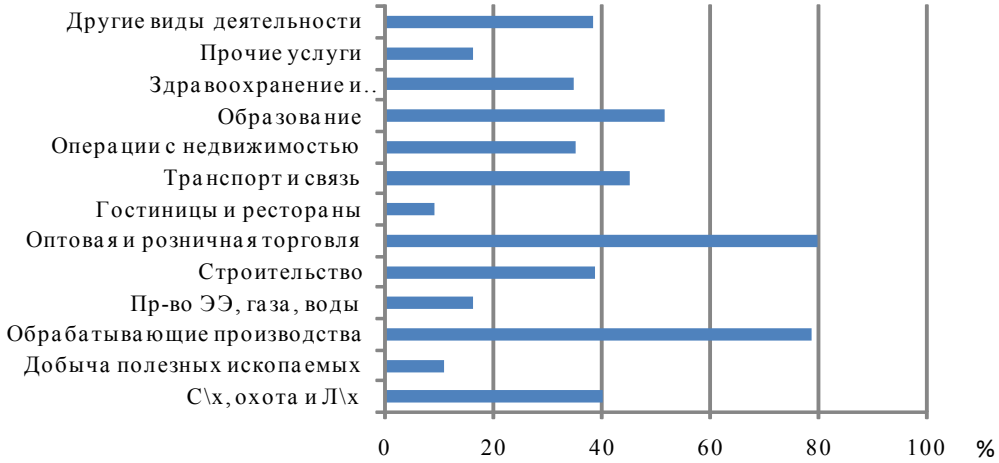


Рис. 3. Распределение количества лиц, занятых в отраслевых комплексах, %

Только в пяти отраслевых комплексах (оптовая и розничная торговля, обрабатывающие отрасли промышленности, образование, транспорт и связь, сельское хозяйство, охота, лесное хозяйство, рыболовство и рыбоводство) сосредоточено две трети численности лиц, занятых в экономике области.

В 2009 году каждый работник, занятый в экономике в среднем по области создавал валовую добавочную стоимость в 540 тыс. рублей.

Распределение удельной валовой добавленной стоимости, создаваемой одним занятым по видам экономической деятельности, представлено на рис. 4.

Удельные ВДС в разных отраслевых комплексах различаются весьма существенно. Так, в добыче полезных ископаемых одно рабочее место в 2009 году создавало 7130,4 тыс. руб., а в образовании только 176,2 тыс. руб.

Отрасли, обеспечивающие наиболее существенный вклад в валовую добавленную стоимость, имеют и наибольший уровень начисленной среднемесячной заработной платы работников

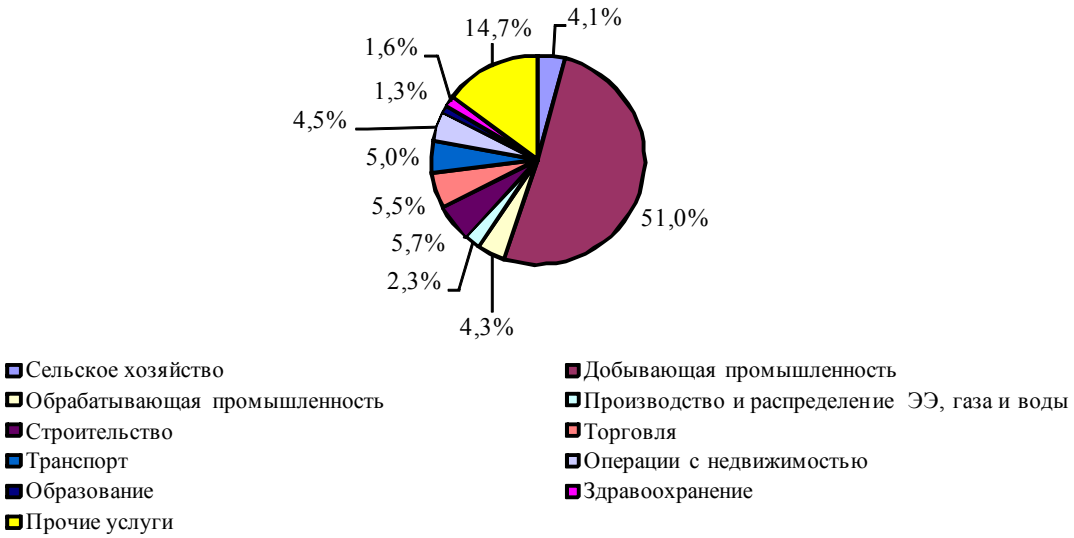


Рис. 4. Структура распределения удельной ВДС, 2009г., %

При средней в 2009 году по области зарплате 18307 руб. уровень заработной платы в добывающей отрасли промышленности составил 69433,4 руб. Самый низкий уровень отдачи в валовой региональный продукт показывают рабочие места в образовании и здравоохранении. Специфика этих отраслей такова, что вряд ли возможно ожидать существенного нарастания

показателей. Полезно посмотреть какую добавочную стоимость создает рубль заработной платы в соответствующих отраслях (таблица 1).

Таблица 1. Удельная валовая добавочная стоимость в отраслях экономики на 1 рубль заработной платы работников

Вид экономической деятельности	2005	2006	2007	2008
Сельское хозяйство	6,82	6,98	6,42	4,72
Добывающая промышленность	16,50	13,31	9,13	8,44
Обрабатывающая промышленность	3,31	3,66	3,57	4,11
Производство ээ, газа и воды	1,75	2,04	1,61	1,61
Строительство	3,09	3,26	3,95	5,43
Торговля	8,38	8,36	9,3	8,99
Транспорт	2,92	3,23	3,26	3,11
Операции с недвижимостью	3,17	3,59	3,50	2,87
Образование	1,19	1,13	1,09	1,12
Здравоохранение	1,58	1,65	1,33	1,34
Прочие услуги	3,81	8,03	9,52	14,19
В среднем по области	**3,33**	**3,56**	**3,48**	**3,32**

Наиболее интенсивный рост этого показателя дают «Прочие услуги», где сосредоточены в основном предприятия малого бизнеса и жилищно-коммунальные услуги.

Анализ удельной валовой добавленной стоимости на единицу зарплаты работников отрасли показывает их существенные различия, и значительные изменения во времени. Так, в добывающей отрасли промышленности отдача рубля заработной платы за четыре года снизилась вдвое, а в прочих отраслях промышленности выросла втрое. Наиболее низкий уровень отдачи рубля заработной платы имеет место в образовании и здравоохранении. В среднем по области этот показатель сохраняет удивительную стабильность – размах его изменений составляет 6,7%.

Энергоемкости производства 1 руб. ВДС, 1 руб. заработной платы и расход топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) на 1 рабочее место по видам экономической деятельности в 2009г. представлены в табл. 2.

Таблица 2. Удельные показатели потребления ТЭР по видам экономической деятельности, 2009г.

	С\х, охота и л\х	Добыча полезных ископаемых	Обрабатывающие производства	Пр-во ЭЭ, газа, воды	Строительство	Оптовая и розничная торговля	Транспорт, связь	Прочие ВЭД*
Энергоемкость ВДС, г у.т./1р.	10,89	13,43	72,92	118,7	3,15	0,49	-	17,97
Энергоемкость заработной платы, кг у.т./1 руб.	12,15	13,38	319,94	112,9	7,08	4,11	15,01	32,15
Расход ТЭР на одно рабочее место, кг у.т./чел.	3912	86841	51770	119208	2137	382	7283	2630

Наибольшая энергоемкость ВДС (118,7 г у.т./1р.) и расход ТЭР на 1 рабочее место (119208 кг у.т.) наблюдаются при производстве и распределении электрической энергии, газа и воды (доля создаваемой ВДС 2,3%), наименьшая энергоемкость производства ВДС (0,49 г у.т./1р.) и расхода ТЭР на 1 рабочее место (382 кг у.т.) отмечена в организациях оптовой и розничной торговли (доля создаваемой ВДС 5,5%). Энергоемкость производства ВДС добывающей отраслью промышленности, которая создает 51% валовой добавленной стоимости, 13,43 г у.т./1р. (4 место).

Список литературы:

1. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2010: Р32 Стат. сб. / Росстат. – М., – 2010. – 996 с.

2. Шульга В.А. Национальная экономика. – М.: Издательство Российская экономическая академия, – 2002. – 550с.
3. http://www.gks.ru (Электронный ресурс).

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ №10-08-00588 «Создание системы прогностического моделирования эволюции спроса на энергию на территориях с отрицательными среднегодовыми температурами в России».

Снижение энергопотребления в бюджетных организациях

И.В. Кузнецов
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Рассмотрены проблемы энергосбережения и причины низкой энергоэффективности в госбюджетной сфере российской экономики. Намечены пути и предложены рекомендации по повышению эффективности энергопотребления в госбюджетных учреждениях.

Проблемы энергосбережения и энергоэффективности являются одними из наиболее актуальных в Российской экономике. Суммарное энергопотребление России в 2007 году составило 990 млн. т.у.т. и продолжает увеличиваться. В связи с этим вопросам энергосбережения и энергоэффективности в России стало уделяться значительно больше внимания в том числе и в таких основополагающих документах развития ТЭК, как «Энергетическая стратегия России до 2030 года», Закон Российской федерации №261-ФЗ «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» принятый ГД РФ 29.11.2009 и др.

Промышленно развитые страны Европы, США, Япония еще после первого нефтяного кризиса приняли жесткие меры по повышению эффективности потребления энергоресурсов, которые привели к снижению энергоемкости валового национального продукта на 33-35% [3]. Несмотря на существенный прогресс в повышении энергоэффективности экономики в последние годы, Россия все еще находится в группе стран с очень высокой энергоемкостью ВВП [1], а потенциал энергосбережения Российской экономики составляет около 45%. Этот потенциал можно и необходимо использовать. Экономические расчеты и практика энергосбережения показывает, что затраты на реализацию мероприятий по повышению эффективности использования энергоресурсов часто бывают значительно меньшими чем затраты на их добычу. Но для того, чтобы начать использовать этот потенциал, необходимо преодолеть ряд барьеров. Основными из которых являются:

- несовершенство нормативно-правовой базы, которое проявляется в недостаточной мотивации и заинтересованности во внедрении энергосберегающих технологий, отсутствии на предприятиях и в организациях органов и лиц ответственных за реализацию энергосберегающих мероприятий, отсутствии государственных органов, устанавливающих передовые нормативы потребления энергоресурсов и контролирующих их соблюдение, особенно в системе ЖКХ и организациях бюджетной сферы;
- отсутствие систем учета потребления энергоресурсов в жилом фонде;
- отсутствие системы оплаты населением потребленных энергоресурсов по данным систем учета;
- отсутствие статистической отчетности предприятий ЖКХ в рациональном использовании энергоресурсов и соответствие потребления их нормативным значения;
- недостаток опыта и заинтересованности в финансировании энергосберегающих проектов со стороны инвестиционных банков;
- недостаток кадров, прошедших обучение в области энергосбережения;
- отсутствие информации, особенно для населения, о реальной выгоде, которое оно будет иметь реализуя энергосберегающие мероприятия, а также информации дающей сравнение нормативных общедомовых величин потребления энергоресурсов и этих величин в конкретных домах, а также причин их большой разницы.

Недостаток организации и координации внедрения энергосберегающих проектов, которые имеют место на всех уровнях принятия решений. Ярким примером отсутствия координации в области энергосбережения является отсутствие в большинстве регионов перспективных энергетических программ, отсутствие подробных отчетных и перспективных энергетических

балансов, позволяющих определить взаимосвязь развития отдельных систем энергоснабжения и жизнеобеспечения, а, главное, уровень их энергоэффективности.

В 2010 году в России был своеобразный юбилей – 15 лет официальному энергосбережению. В 1995 году энергосбережение было принято за основу энергетической стратегии и энергетической политики России на длительную перспективу. Одним из факторов, повлиявшим на такое решение правительства было то, что Россия по энергоэффективности в 1995 году заняла 118 место из 128, обогнав несколько развивающихся стран и стран бывшего СССР. Если страны Восточной Европы за последние годы сделали рывок в вопросе эффективного использования энергоресурсов (Польша увеличила энергоэффективность в 2,3 раза, Венгрия, Чехия, Словакия - в 1,5 раза) [2], то в России пока видимых успехов нет. По различным данным [3] общий потенциал энергосбережения Российской экономики составляет 40-45% от всех потребляемых энергоресурсов. Для реализации этого потенциала необходим поиск и внедрение в производство энергетически и экономически эффективных мероприятий в условиях полного контроля потоков энергоресурсов. Начальным этапом работ по повышению энергоэффективности, разработки программ энергосбережения, составления бизнес-плана внедрения энергосберегающих мероприятий, является энергоаудит, т.к. только он, проведенный квалифицированными специалистами, даст точный ответ на вопросы: какой потенциал энергосбережения имеет предприятие, на сколько можно снизить энергопотребление в результате внедрения предложенных экономически и технически обоснованных мероприятий, сколько потребуется инвестиций, за какой срок они окупятся и т.д.

Энергоаудит – это методически и инструментально достоверное обследование энергопотребления предприятия, с целью поиска мест нерационального использования энергоресурсов, выявления мест их «утечки» составление энергетического баланса предприятия, структурирование потоков энергоресурсов выбор мероприятий по повышению эффективности энергопотребления, разработки бизнес-плана по внедрению этих мероприятий, выбор контролируемых параметров энергоэффективности с целью мониторинга выполнения бизнес-плана и эффективности внедренных мероприятий. Наиболее полную картину дает комплексный аудит – финансовый, технический, энергетический. Финансовый и технические аудиторские проверки помогают выявить виды энергоресурсов и места их нерационального использования, определить места внедрения энергосберегающих мероприятий, показать их инвестиционную привлекательность.

При выборе целей и мероприятий необходимо исходить из следующих принципов:

- в первую очередь необходимо начинать экономить те энергоресурсы, на которые приходится больше всего финансовых затрат;
- экономить энергоресурсы надо там, где потенциал энергосбережения аномально велик;
- внедрение энергосберегающих мероприятий надо начинать с тех, которые позволяют экономить энергоресурсы при минимальных затратах.

Опыт показывает, что квалифицированный энергоаудит и технико-экономическое обоснование первоочередных энергосберегающих мероприятий позволяет снизить финансовые расходы организаций на оплату потребленной электроэнергии на 10-20%, тепловой энергии на 10-25%, водоснабжения на 5-30%. При этом беззатратные или малозатратные энергосберегающие мероприятия могут составить реализацию всего потенциала энергосбережения предприятия 30-50% со сроком окупаемости до одного года. В большинстве стран доля государственных организаций в ВВП составляет около 20%. Расходы на коммунальные услуги этих организаций равны 5-10% от суммарных расходов бюджетных учреждений или 1% от ВВП, причем не все здания госучреждений современные. Так 80% общественных зданий в США построены до 1980 года по устаревшим проектам с расточительным, по сегодняшним меркам, использованием энергии. Снижением потерь энергоресурсов в этих зданиях занимаются специализированные энергосервисные компании (ЭСКО), которые работают на контрактной основе с оплатой по схеме гарантированной экономии энергоресурсов или на условиях раздела полученной экономии за снижение потребления энергоресурсов. Средний срок окупаемости проектов составляет 6-7 лет.

Этот опыт зарубежных стран необходимо внедрять и в российскую экономику, особенно в бюджетных организациях и в жилищно-коммунальном хозяйстве, в котором особенно высокий потенциал энергосбережения. Реализация этого потенциала даст значительную экономию бюджетных средств и снизит затраты населения за услуги ЖКХ

Список литературы:

1. Протокол энергетической Хартии по вопросам энергетической эффективности и соответствующим экологическим аспектам – ПЭЭСЭЛ. Российская Федерация: Регулярный

обзор, 2007.
2. Энергоэффективность в России: скрытый резерв: - Отчет Международной финансовой корпорации и Мирового банка реконструкции и развития (International Finance Corporation and The International Bank for Reconstruction and Development), 2008.
3. Ушаков В.Я. Современная и перспективная энергетика: технологические, социально-экономические и экологические аспекты. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008.–46.

УДК 621.643

Оценка влияния нештатных условий эксплуатации тепловых сетей на увеличение транспортных тепловых потерь

Г.В. Кузнецов, И.П. Озерова, В.Ю. Половников, Ю.С. Цыганкова
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия
E-mail: tsygankovays@nipineft.tomsk.ru

Введение

С 1990-х годов в России интенсивно применяется прогрессивная конструкция прокладки тепловых сетей «труба в трубе» с пенополиуретановой (ППУ) теплоизоляцией [1]. Наряду с ППУ изоляцией все еще применяется устаревший тип изоляции из минеральной ваты (МВ). Именно эти два варианта теплоизоляционных материалов имеют в настоящее время наибольшее распространение.

На практике доказано, что тепловые потери теплопроводов, изолированных ППУ в несколько раз ниже, чем изолированных минеральной ватой [1]. Однако теоретические расчеты, выполненные по методике [2, 3], показывают преимущества ППУ по сравнению с минеральной ватой всего на 20…30% [1]. Это подтверждает только одно – недостаточную точность методики расчета [2, 3]. Значения теплотехнических характеристик теплоизоляционных материалов в конструкциях под воздействием эксплуатационных факторов изменяются во времени и могут значительно отличаться от значений, указанных в ГОСТах. При расчете потерь по действующей методике не учитывается влияние влажности и температуры материала в конструкции, влияние возможной усадки в процессе эксплуатации, фактор старения материала и как следствие его разрушение со временем. Это объясняет несоответствие измеренных и рассчитанных [2, 3] значений потерь.

В связи с этим является актуальной разработка новой методики расчета фактических транспортных потерь тепловой энергии через теплоизоляционные конструкции, учитывающей реальную конфигурацию и условия эксплуатации на каждом характерном участке трубопровода.

Цель работы – оценить влияние нештатных условий эксплуатации и плохого технического состояния тепловых сетей на изменение теплофизических характеристик наиболее распространенных в настоящее время теплоизоляционных материалов. Рассчитать соответствующее увеличение тепловых потерь через теплоизоляционные конструкции. Показать возможность ужесточения существующих нормативов потерь тепловой энергии [2] для современных типов тепловой изоляции.

Постановка задачи

В качестве примера рассматривается фрагмент магистральной двухтрубной тепловой сети от источника теплоснабжения до центрального теплового пункта (рис.). Трубопровод проложен под землей в непроходном канале. Условный диаметр трубопроводов d_y = 400 мм. Для анализа влияния негативных факторов, возникающих в процессе эксплуатации тепловых сетей, на изменение тепловых потерь рассматривался ряд наиболее типичных [4-7] нештатных режимов работы подземных трубопроводов:

1)увлажнение тепловой изоляции (от незначительного до полного);
2)отсутствие изоляции на теплопроводе (полное или частичное);
3)деформация теплоизоляционного покрытия.

Расчет проведен для двух случаев:
1) тепловая изоляция из пенополиуритана, толщиной по [8];
2) тепловая изоляции из минеральной ваты, толщиной по [9].

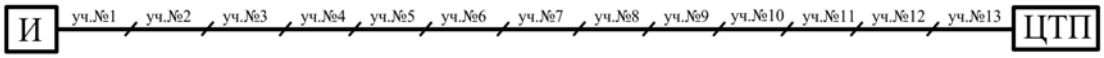


Рис. 1. Фрагмент магистральной тепловой сети: И – источник теплоснабжения, ЦТП – центральный тепловой пункт, уч. № 1–13 – характерные участки тепловой сети с различающимися условиями прокладки или состоянием изоляции.

Расчет тепловых потерь проводился по методике [10] с учетом условий [4-7] в разработанном программном комплексе, который в настоящее время проходит государственную регистрацию. Результаты расчетов приведены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты расчета фактических потерь тепла

№ уч.	Длина, м	Условия прокладки	Удельные нормативные потери, Вт/м	Удельные фактические потери, Вт/м	
				ППУ	МВ
1	1450	Проектные	110	64.90	109.29
2	25	Отсутствует изоляция	110	467.2	421.24
3	657	Проектные	110	64.83	109.14
4	450	Увлажнение изоляции 40 %	110	113.08	246.04
5	40	Отсутствует 1/2 изоляции	110	103.12	147.26
6	350	Проектные	110	64.78	108.91
7	150	Деформация	110	76.01	125.89
8	790	Проектные	110	64.75	108.82
9	510	Влажный воздух в канале	110	81.38	117.83
10	50	Нет 1/4 изоляции	110	80.04	124.04
11	370	Увлажнение изоляции 100 %	110	166.09	324.05
12	600	Проектные	110	64.65	108.44
13	128	Деформация	110	75.86	125.34
	Общая	**Средние потери, Вт/м:**	**110**	**114**	**167**
	5570	**Общие потери, Вт**	**612700**	**444073**	**767581**

Как и следовало ожидать, увлажнение и отсутствие изоляции приводят к наибольшему увеличению тепловых потерь (табл.). Для ППУ удельные тепловые потери в условиях отсутствия изоляции возрастают по сравнению с проектными в 7 раз, для минеральной ваты - в 4 раза. Разница в величине возрастания тепловых потерь для ППУ и минеральной ваты объясняется тем, что термическое сопротивление ППУ изоляции в проектных условиях больше, чем для минеральной ваты.

При полном (100 %) увлажнении изоляции удельные тепловые потери для ППУ изоляции возрастают в 2,5 раза, для минеральной ваты в 3 раза. Величина открытой пористости материала минеральной ваты больше, чем у ППУ ($f_{МВ}$=0,73, $f_{ППУ}$=0,1) [10], поэтому она может вместить в себя больше влаги, значительнее увеличить коэффициент эффективной теплопроводности, а значит, увеличить тепловые потери.

Деформация изоляции (уплотнение сверху и провисание снизу) вызывает увеличение удельных тепловых потерь для обоих типов изоляции в среднем в 1,15…1,17 раза.

Наличие влажного воздуха в канале вызывает гарантированное увеличение удельных потерь тепла для ППУ изоляции в 1,25 раза, для минеральной ваты в 1,1 раза. Увлажнение изоляции влажным воздухом в канале ограничено влагонасыщением воздуха ($\varphi_{ВОД}$=0,0126). Допустимая доля воды в воздухе меньше открытой пористости обоих теплоизоляционных материалов, поэтому тепловые потери возрастают примерно на одну величину, но относительно проектных для минеральной ваты потери изменяются меньше, чем для ППУ.

Из табл. можно заметить, что для современной ППУ изоляции проектные потери на 40 % ниже нормативных потерь, поэтому при вводе типичного набора негативных факторов,

осложняющих работу тепловых сетей, увеличение теплопотерь в некоторых случаях не превышает допустимые нормы. Это вызвано тем, что существующие нормативные потери [3] не учитывают различие в теплофизических свойствах материалов теплоизоляции. Для минеральной ваты все закономерно: нормативные потери равны проектным, и при любом нештатном режиме работы фактические потери сразу превышают нормативные (табл.).

В результате, при использовании ППУ изоляции, остается огромный запас (порядка 30…40 %) на возможный рост тепловых потерь в процессе эксплуатации трубопроводов. Рост тепловых потерь, не превосходящий установленные нормы, не отслеживается тепло-сетевыми компаниями.

Из сказанного следует, значительной экономии в системе транспорта теплоэнергии (не менее 30 %) можно достичь, если пересмотреть существующие нормативные потери [3, 4]. Необходимо разделить нормативные потери в зависимости от типа используемого теплоизоляционного материала.

Выводы

Проведено сравнение влияния негативных факторов и нештатных условий эксплуатации трубопроводов на изменение тепловых потерь в действующих тепловых сетях для трубопроводов с тепловой изоляцией из пенополиуритана и минеральной ваты.

Показана возможность теплосбережения при транспортировке теплоносителя за счет разделения нормативных тепловых потерь в зависимости от материала теплоизоляционной конструкции и ужесточения норм потерь тепла для пенополиуритановой изоляции не менее чем на 30 %.

Список литературы:

1. Мунябин Л.И., Арефьев Н.Н. К вопросу о методике расчета тепловых потерь при различных вариантах тепловой изоляции // Новости теплоснабжения.- 2002.-№ 4.- С. 35-38.
2. Методические указания по составлению энергетической характеристики для систем транспорта тепловой энергии по показателю «тепловые потери», часть 3: РД 153–34.20.523–2003.М.: СПО ОРГРЭС, 2003.–28 с.
3. Методические указания по определению тепловых потерь в водяных тепловых сетях: РД 34.09.255-97.М.: СПО ОРГРЭС, 1988.- 18 с.
4. Кузнецов Г.В., Половников В.Ю. Тепловые потери магистральных трубопроводов в условиях полного или частичного затопления // Извести высших учебных заведений: Проблемы энергетики.–2006.–№ 3–4.– С. 3–12.
5. Кузнецов Г.В., Половников В.Ю. Численное исследование тепловых режимов теплопроводов в условиях деформации и нарушения целостности слоя тепловой изоляции // Тепловые процессы в технике.–2011. в печати.
6. Кузнецов Г.В., Половников В.Ю. Численный анализ потерь тепла магистральными теплопроводами в условиях полного или частичного затопления // Инженерно-физический журнал.– 2008.– т.81,– № 2.– С. 303–311.
7. Кузнецов Г.В., Половников В.Ю. Численное моделирование теплового состояния трубопровода в условиях затопления с учетом нестационарности процесса насыщения изоляции влагой // Теплоэнергетика.- 2008.- № 5.-С.60-64.
8. ГОСТ 30732-2006 Трубы и фасонные изделия стальные с тепловой изоляцией из пенополиуретана с защитной оболочкой. М.: ФГУП «Стандартинформ», 2007.- 49 с.
9. СП 41–103–2000 Проектирование тепловой изоляции оборудования и трубопроводов. М.: Госстрой России.– 2001.–42 с.
10. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: учебник для ВУЗов.– М.: Изд. дом МЭИ, 2006.– 472 с.

УДК 621.643

Возможности теплосбережения в системе транспорта тепловой энергии

Г.В. Кузнецов, И.П. Озерова, В.Ю. Половников, Ю.С. Цыганкова
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия
E-mail: tsygankovays@nipineft.tomsk.ru

Проведена оценка фактических тепловых потерь в сетях централизованного теплоснабжения с учетом неоднородности теплоизоляции по длине трубопроводов и реальных условий эксплуатации тепловых сетей. Показана возможность теплосбережения в системе транспорта тепловой энергии.

Введение

В современных условиях, когда проблеме энергосбережения уделяется значительное внимание [1], необходимым фактором экономически эффективной работы тепловых сетей является снижение непроизводительных потерь тепла через теплоизоляционные конструкции при транспортировке теплоносителя.

В ходе эксплуатации различные физико-химические воздействия окружающей среды вызывают деструктивные процессы в теплоизоляционных конструкциях теплопроводов, которые приводят к увеличению эксплуатационной влажности и резкому снижению ее теплозащитных свойств [2].

На увеличение тепловых потерь в значительной степени сказывается разрушение тепловой изоляции в процессе эксплуатации теплопроводов [3].

Не редко в процессе работы тепловых сетей происходит уплотнение и снижение толщины теплоизоляционного слоя в верхней части конструкции и провисание, с образованием воздушной прослойки между теплоизоляционным слоем и трубопроводом, в нижней ее части [4]. Вследствие деформации изоляции снижается ее приведенное термическое сопротивление, и существенно возрастают теплопотери [4].

Несмотря на то, что в современной научной литературе уделяется достаточно большое внимание вопросам, связанным с определением тепловых потерь в сетях теплоснабжения [2, 5, 6–11], до настоящего времени отсутствовал целостный подход к расчетной оценке тепловых потерь реальных участков систем транспортировки тепла, учитывающий все возможные негативные факторы и процессы, возникающие при эксплуатации и влияющие на интенсификацию теплопереноса в рассматриваемых системах.

Целью данной работы является оценка фактических потерь тепла при транспортировке теплоносителя с учетом технического состояния и реальных условий эксплуатации каждого характерного участка теплотрассы. Анализ возможности теплосбережения в системе транспорта тепловой энергии при декомпозиционном подходе к определению потерь тепла.

Постановка задачи

В данной работе в качестве примера рассматривается однотрубная тепловая сеть в г. Кемерово. Схема фрагмента тепловой сети и геометрические характеристики приведены на рис. Типы изоляции: пенополиуритановая (ППУ), толщиной по[12], минеральная вата (МВ), толщиной по [13].

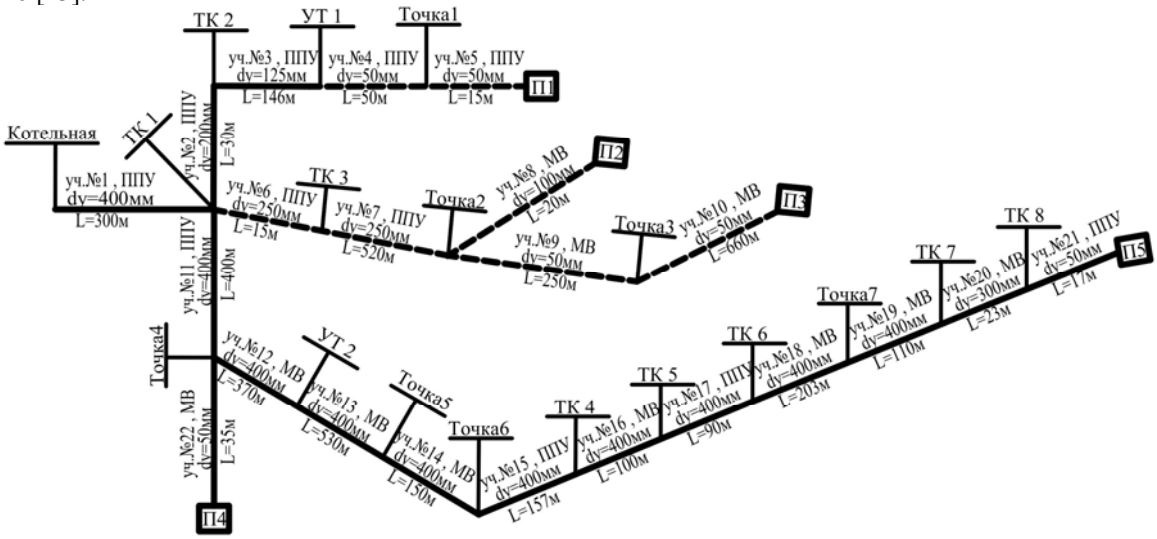


Рис. 1. Схема фрагмента тепловой сети: котельная – источник теплоснабжения; П1–П5 – потребители № 1–5; уч. № 1–22 – характерные участки трубопроводов, отличающиеся условиями прокладки или состоянием изоляции; точки 1–6 – точки, обозначающие границу изменения условий прокладки или состояния изоляции; ТК 1-8 – тепловая камера № 1-8; УТ 1, 2 – узел тепловой № 1, 2, --- - надземная прокладка, ⎯ – подземная прокладка.

Тепловые потери для надземной и подземной в непроходных каналах прокладках тепловых сетей вычисляются по формулам [14] с учетом условий [4, 6].

Исходные данные

Согласно [13] расчет тепловых потерь при качественном регулировании проводится при

средних климатических условиях района. Для г. Кемерово средняя годовая температура наружного воздуха составляет 273 К [15]. Средняя температура теплоносителя равна 363 К, температура воздуха в канале, в соответствии с [14], составляет 296 К, а средняя температура грунта на глубине заложения (8м) – 278 К.

Для оценки влияния нештатных условий работы теплопроводов на изменение тепловых потерь рассматривалось несколько типичных вариантов эксплуатации тепловых сетей:

Вариант 1. Влажный воздух в непроходных каналах. Такая ситуация наиболее распространена, поскольку большинство каналов не вентилируются.

Вариант 2. Изоляция на участке № 13 увлажнена на 30 %, на участке № 14 – на 100 %, на участке № 15 – на 30 %, на участке № 18 – на 70 %.

Вариант 3. Изоляция на участке № 1 увлажнена на 100 %, на участке № 11 – на 70 %, на участке № 22 – на 10 %.

Вариант 4. Тепловая изоляция отсутствует на участках № 4, 6, 8, 20

Вариант 5. На участках № 1, 4, 19 наблюдается умеренная деформация слоя изоляции [4].

Под проектным режимом подразумеваются, что трубопроводы изолированы в соответствии с [13], изоляция находится в сухом состоянии.

Результаты исследований

Основные результаты расчетов потерь тепловой энергии теплоносителя приведены в табл.

Таблица 1. Результаты расчета тепловых потерь теплоносителя

Вариант	Qп1, Вт	Qп2, Вт	Qп3, Вт	Qп4, Вт	Qп5, Вт
Нормативные потери	29500	51489	71601	49840	170488
Проектные потери	17290	30245	53274	29292	170030
Вариант 1	21748	33560	56587	37106	190220
Вариант 2	21748	33560	56587	37106	287170
Вариант 3	39939	51743	74752	72604	225000
Вариант 4	56711	94898	90338	37106	190220
Вариант 5	24669	36482	59350	39871	194530

Из табл. видно, что эксплуатация рассматриваемой тепловой сети (рис.) в условиях, отличающихся от проектных, приводит к ожидаемому увеличению тепловых потерь. Например, при учете увлажнения воздуха в непроходных каналах (вариант 1), тепловые потери на пути к потребителям с преобладанием подземного способа прокладки теплопроводов возрастают в 1,12…1,25 раз по сравнению с проектными.

По варианту 2 при незначительном увлажнении (до 30 %) около 28 % протяженности тепловой сети до потребителя П5 и при полном увлажнении (100 %) 14 % протяженности тепловой сети тепловые потери на пути к потребителю П5, по сравнению с проектными, возрастают в 1,69 раз.

В варианте 3 при значительном увлажнении (более 70 %) 95 % протяженности трубопроводов до потребителя П4 и при незначительном увлажнении 5 % трубопроводов потери тепла увеличиваются в 2,48 раза.

В случае отсутствия изоляции (вариант 4) наблюдаются максимальные потери тепла. В частности, при разрушении изоляции всего на 9 % длины тепловой сети до потребителя П1 потери тепла увеличиваются в 3,28 раза по сравнению с потерями при проектных условиях эксплуатации.

При деформации изоляции (вариант 5) на 64 % длины тепловой сети от общей протяженности трубопроводов до потребителя П1 теплопотери возрастают в 1,43 раза.

Полученные результаты свидетельствуют о важности и необходимости учета реальных условий эксплуатации тепловых сетей при расчетной оценке потерь тепла. Расчет фактических тепловых потерь позволит оценить масштаб тепловых потерь, выявить «проблемные» места на участках тепловых сетей и принять соответствующие меры по устранению непроектных режимов работы. Своевременные ремонтные работы и оперативное реагирование теплоснабжающих компаний в свою очередь обеспечат частичное выполнение программы энергосбережения [1].

Следует обратить внимание, что нормативные потери по [1,13] для трубопроводов с изоляцией из пенополиуретана (табл.) в среднем на 30 % превышают проектные потери. Поэтому при учете неудовлетворительного состояния изоляции трубопроводов фактические потери,

возрастая на 30–50 %, в некоторых случаях не превышают нормативные (табл.). Это обстоятельство позволяет говорить о возможном пересмотре и ужесточении нормативных потерь для участков тепловых сетей, имеющих изоляцию с высоким термическим сопротивлением.

Завышенные нормы потерь тепла позволяют относить к нормативным потерям даже потери, связанные с плохим техническим состоянием и непроектными условиями работы тепловых сетей. Такая ситуация не стимулирует теплоснабжающие компании к действиям в сторону сокращения потерь тепла, скорее наоборот, способствуют их бездействию.

Выводы

Проведена аналитическая оценка фактических тепловых потерь с учетом неоднородности тепловой изоляции по длине трубопровода и реальных условий эксплуатации тепловых сетей. Показана возможность теплосбережения в результате пересмотра и ужесточения нормативных потерь для участков тепловых сетей, имеющих теплоизоляцию с высоким термическим сопротивлением.

Список литературы:

1. ФЗ № 261 от 23 ноября 2009 г. «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».
2. Слепченок В.С., Рондель А.Н., Шаповалов Н.Н. Влияние различных эксплуатационных факторов на тепловые потери в бесканальных подземных трубопроводах тепловой сети // Новости теплоснабжения. – 2002. – № 6. – С. 18 – 23.
3. Шойхет Б.М., Ставрицкая Л.В. Обследование технического состояния и реконструкция тепловой изоляции эксплуатируемых магистральных теплопроводов // Энергосбережение. – 2002. – № 3. – С. 60–62.
4. Кузнецов Г.В., Половников В.Ю. Численное исследование тепловых режимов теплопроводов в условиях деформации и нарушения целостности слоя тепловой изоляции // Тепловые процессы в технике. – 2011. – № 0. – С. 00–00.
5. Мунябин Л.И., Арефьев Н.Н. К вопросу о методике расчета тепловых потерь при различных вариантах тепловой изоляции // Новости теплоснабжения. – 2002. –№ 4. – С. 35–38.
6. Кузнецов Г.В., Половников В.Ю. Численный анализ потерь тепла магистральными теплопроводами в условиях полного или частичного затопления // Инженерно-физический журнал. – 2008. – Т. 81. – № 2. – С. 303–311.
7. Пахомов А.А. Как посчитать тепловые потери в реальных условиях эксплуатации? // Жилищно-коммунальный комплекс Урала. – 2007. – № 6 (38). – С. 10–17.
8. Гудзюк В.Л., Шомов Е.В. Оперативная оценка реальных тепловых потерь при транспорте пара и горячей воды // Новости теплоснабжения. – 2010. – № 11. – С. 30–33.
9. Байбаков С.А. К вопросу о методах и проблемах определения фактических тепловых потерь в тепловых сетях // Новости теплоснабжения. – 2010. – № 6. – С. 36–39.
10. Семенов В.Г. Определение фактических тепловых потерь через теплоизоляцию в сетях централизованного теплоснабжения // Новости теплоснабжения. – 2003. – № 4. – С. 30–33.
11. Хромченков В.Г., Иванов Г.В., Хромченкова Е.В. Определение потерь тепла в тепловых сетях // Новости теплоснабжения. – 2006. – № 6. – С. 39–43.
12. ГОСТ 30732-2006 Трубы и фасонные изделия стальные с тепловой изоляцией из пенополиуретана с защитной оболочкой. М.: ФГУП «Стандартинформ», 2007.- 49 с.
13. СП 41-103-2000. Проектирование тепловой изоляции оборудования и трубопроводов. – М.: Госстрой России, 2001. – 42 с.
14. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети. – М.: Издательский дом МЭИ, 2006. – 472 с.
15. СНиП 23-01-99. Строительная климатология. – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 70 с.

УДК 62-663

Поисковые исследования возможности производства из угля марки 3Б высококалорийного топлива с низким содержанием летучих

М.В. Кулеш

ООО «СИБТЕРМО», г. Красноярск, Россия

E-mail: aim@inbox.ru

Значительную часть угольных запасов России составляют бурые угли Канско-Ачинского бассейна – до 100 млрд тонн, пригодных для открытой добычи. Это – самые дешевые угли и в то

же время их использование крайне ограничено из-за экономической невозможности дальней транспортировки, поскольку по массе они содержат более 1/3 влаги. Программа экономического и энергетического развития России ориентирована на развитие рациональной модели потребления ресурсов, т.е. на переход от экспорта первичных сырьевых энергетических ресурсов к экспорту продуктов их глубокой переработки, к инновационной модели экономики. Одним из эффективных решений проблемы модернизации энергетической отрасли является создание энерготехнологических комплексов с глубокой переработкой угля в высоколиквидную продукцию, причем в первую очередь, такой переработке должны подвергаться бурые угли.

Настоящая работа посвящена исследованию возможности получения высококалорийного топлива с малым содержанием летучих веществ из бурого угля марки 3Б Верхнесырского месторождения (Красноярский край). Его характеристики приведены в таблице 1. Этот уголь был выбран для исследования, исходя из того, что он имеет наивысшую степень метаморфизма (углефикации) в классе бурых углей.

Таблица 1. Основные характеристики бурого угля марки 3Б Верхнесырского месторождения

Влажность, %	**Зола, %**	**Летучие вещества, %**	**Прочность, МПа**	**Теплота сгорания, МДж/кг**
20	5	45	16,6	21

Задача исследования заключалась в следующем: полностью удалить из угля влагу и снизить содержание летучих веществ до уровня примерно 15%, обеспечив тем самым теплоту сгорания выше 25 МДж/кг (6000 ккал/кг), т.е. получить топливо с характеристиками, примерно соответствующими характеристикам дорогих энергетических углей марки СС. Однако самое главное условие – при этом необходимо сохранить удовлетворительную прочность карбонизата (не менее 8 МПа на сжатие), чтобы исключить необходимость его брикетирования.

Для унификации условий нагрева и более корректного измерения прочности использовались изготовленные из исходного угля образцы в форме кубика со стороной 2 см. Угольные кубики помещались в открытый металлический контейнер, закрепленный на подвесе электронных весов. Во время эксперимента контейнер вводился в камеру нагрева электрической печи, таким образом, экспериментальная установка позволяла контролировать изменение массы образцов в процессе их термической обработки. В результате поисковых экспериментов был определен температурный интервал карбонизации угля в диапазоне от 300 до 600°С, а также общий временной интервал процесса включая стадию сушки угля – 10 минут при температуре в печи 300°С, и собственно термообработку – в течение 180 минут. На второй стадии температура в камере печи линейно поднималась от 300°С до 600°С. Для контроля изменения прочности образцы отбирались через каждые 30 минут после начала стадии термообработки. Прочность измерялась путем раздавливания кубического образца на лабораторном прессе для определения прочности на раздавливание. В каждом эксперименте измерялась прочность 5-7 образцов угля и в качестве результата использовалось среднее значение.

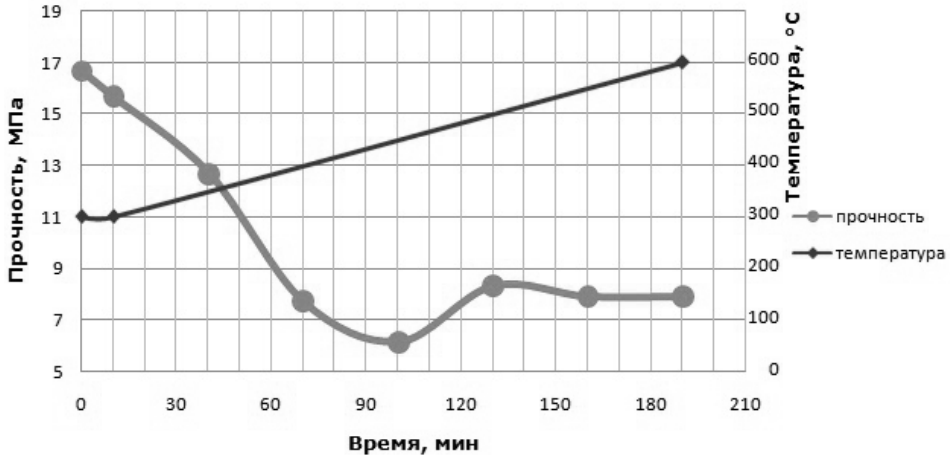


Рис. 1. Зависимость прочности карбонизата от температуры и времени выдержки для основного режима термообработки

График зависимости прочности от температуры и времени выдержки представлен на рисунке 1. Из него видно, что значительная часть прочности теряется в процессе удаления летучих веществ – она снижается примерно в 2 раза по сравнению с прочностью исходного угля. В конечном итоге прочность на раздавливание у прокаленных образцов достигает уровня 8 МПа, Интересно отметить, что в области 400-500°С наблюдается аномальный провал прочности, а далее происходит её увеличение примерно на 30%. Достоверность этого эффекта была подвергнута тщательной проверке путем многократного повторения опытов, но ошибок эксперимента обнаружено не было. Если сопоставить зависимость прочности с графиком изменения содержания летучих веществ (рисунок 2), то можно предположить, что упрочнение происходит за счет коксования части высокомолекулярной органики (смол), образующейся на заключительной стадии пиролиза органической части угля.

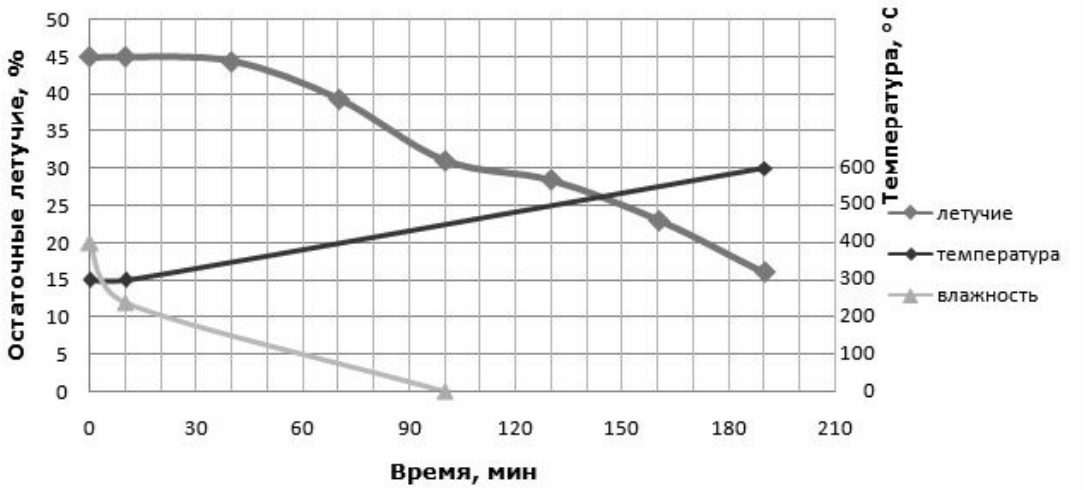


Рис. 2. Зависимость остаточных летучих и влажности карбонизата от температуры и времени выдержки для основного режима

Таким образом, в рамках отработанного режима термообработки задачи по достижению уровня летучих веществ, прочности, и калорийности конечного продукта были выполнены, На следующем этапе была исследована возможность использования ускоренных режимов термообработки при сохранении неизменных параметров стадии сушки. Были исследованы два режима линейного нагрева 300 до 600°С: в течении 90 минут, а также ещё более ускоренный режим – в течении 45 минут. В обоих случаях характеристики конечного продукта по калорийности и выходу летучих остались на том же уровне, что при использовании основного режима термообработки, при этом понизилась прочность карбонизата на 6% и на 24% соответственно.

В таблице 2 представлены характеристики конечного продукта в сравнении с характеристиками исходного угля, а также в сравнении с характеристиками карбонизата, полученного путем переработки этого же угля по технологии получения древесного угля.

Таблица 2 . Сравнительные характеристики исходного угля и карбонизата

	Исходный уголь	**Карбонизат после термообработки**	**Карбонизат по технологии «древесный уголь»**
Влажность, %	20	0	4,7
Зола, %	4-5	7	5,7
Летучие, %	45	15	7,5
Теплота сгорания, МДж/кг (ккал/кг)	21 (5000)	30,3 (7240)	-
Сера, %	0,33	0,41	-
Прочность, МПа	16,6	8-10	7-8
Водопоглощение, %	-	16-17	17-18
Водопоглощение после гидрофобизации, %	-	< 1,5%	-

Из таблицы можно видеть, что карбонизат после термообработки имеет теплоту сгорания около 30 МДж/кг и выход летучих на уровне 15%. Прочность снизилась приблизительно в 2 раза, но осталась на уровне, удовлетворяющем поставленным условиям.

Полученное после термообработки бурого угля высококалорийное топливо имеет достаточно высокую пористость и соответственно обладает склонностью к активному водопоглощению. В частности, последний показатель равен 16-17%. Следовательно при транспортировке такого продукта и хранении его на открытом складе будет происходить насыщение влагой и заметное снижение теплоты сгорания, что крайне нежелательно. Для предотвращения этого процесса были выполнены эксперименты по гидрофобизации карбонизата путем обмакивания в расплав парафина. После такой обработки водопоглощение составило <1,5%. Расход парафина составил 4 % от массы топлива.

В результате выполненной серии экспериментов в качестве базового режима для карбонизации бурого угля марки Б3 рекомендуется 10- минутная сушка при температуре 300°С и далее нагрев с постоянной скоростью до 600°С в течение 3 часов. При таком режиме для получаемого карбонизата обеспечивается прочность на сжатие около 8,5 МПа. Ускоренная термообработка (нагрев до 600°С за 100 и 55 мин) приводит к снижению прочности карбонизата соответственно на 6% и 24%. Гидрофобизация поверхности карбонизата позволяет радикально снизить водопоглощение и, соответственно, сохранить достигнутый уровень теплоты сгорания – около 30 МДж/кг (более 7000 ккал/кг).

Для разработки промышленной технологии запланировано продолжение исследований на укрупненной лабораторной установке непрерывного действия.

Оценка энергетической стратегии региона по критериям энергетической безопасности: методический подход и реализация

А.Л. Мызин, П.Е. Мезенцев*, П.А. Пыхов**

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия

**Институт теплофизики Уральского отделения РАН, г. Екатеринбург, Россия*

***Институт экономики Уральского отделения РАН, г. Екатеринбург, Россия*

E-mail: mez@itp.uran.ru

Приведены основы методического подхода к оценке энергетической стратегии региона по критериям энергетической безопасности. Методика основана на применении сценарного подхода к прогнозированию и методологии индикативного анализа. Показана реализация в виде выполнения раздела «Энергетическая безопасность» в Стратегии развития ТЭК Свердловской области до 2020 года.

Требование обеспечить выполнение целевых установок энергетического развития, заложенных в Энергетическую стратегию России на период до 2030 года [1] приводят регионы к необходимости разработки своих энергетических стратегий. Они должны быть оценены с позиций обеспечения энергетической безопасности (ЭнБ), в связи с чем должны иметь соответствующий раздел. Его выполнение должно быть подкреплено адекватным методическим обеспечением. Ниже предлагается соответствующий методический подход.

ЭнБ региона только тогда может быть обеспечена, когда она отвечает условиям и целям долгосрочного социально-экономического развития, которые содержатся в стратегии социально-экономического развития региона. При разработке таких стратегий обычно используется сценарный подход. Подобный подход целесообразно применять и при разработке энергетической стратегии региона, причем сценарии энергетического развития должны согласовываться со сценариями социально-экономического развития.

Разработанный методический подход основан на прогнозировании показателей энергетической безопасности для сценариев энергетического развития и на индикативном анализе развития ситуации по ЭнБ [2]. Критерии оценки формируются в виде индикаторов безопасности, по значениям которых можно судить о степени действия определенных угроз ЭнБ. Для классификации угроз предлагается модульно-блочный принцип, по которому выделяются три крупных модуля оценки (рис.1), первый из которых характеризует состояние безопасности самих систем энергетики, второй – социально-экономическую эффективность систем энергетики и третий, специальный, – степень действия энергетических рисков.

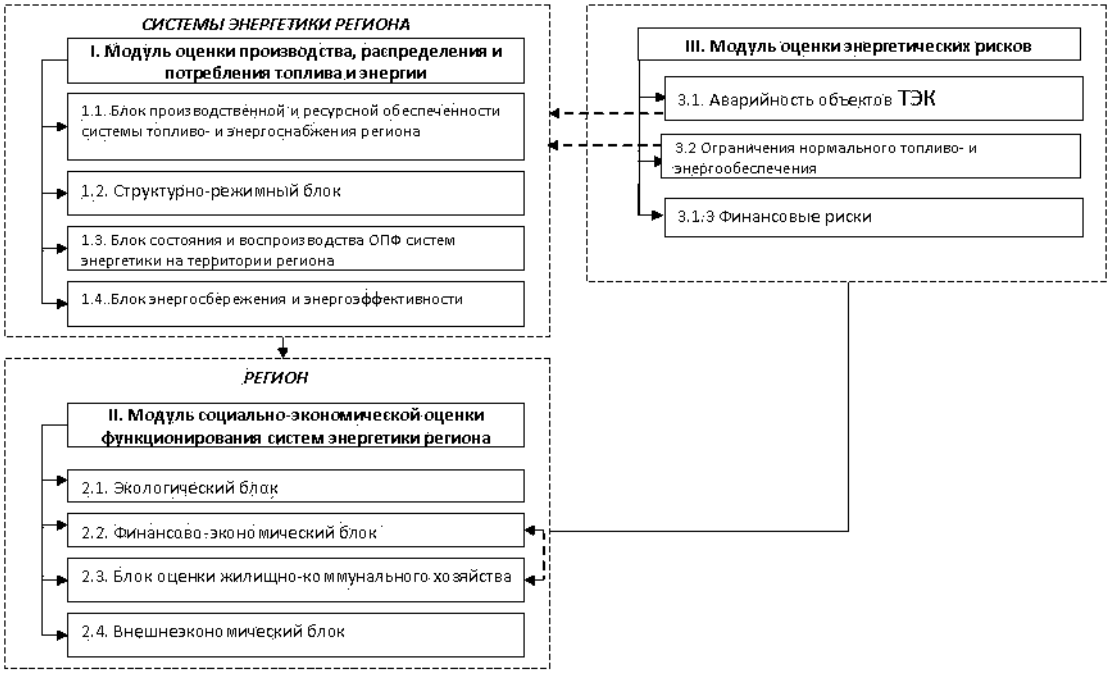


Рис. 1. Модульно-блочная схема диагностирования энергетической безопасности

Модули состоят из блоков индикаторов, отражающих различные аспекты энергетической и экономической деятельности и ее влияния на сферы жизнедеятельности региона. По значениям индикаторов можно судить о степени действия соответствующей угрозы безопасности. Она отражается состоянием системы по индикативным показателям. Все состояния подразделяются на три уровня: нормальный (Н), предкризисный (ПК) и кризисный (К). Степень углубления кризисности фиксируется выделением в каждом из двух последних уровней (ПК и К) по три подуровня (например, К1, К2, К3).

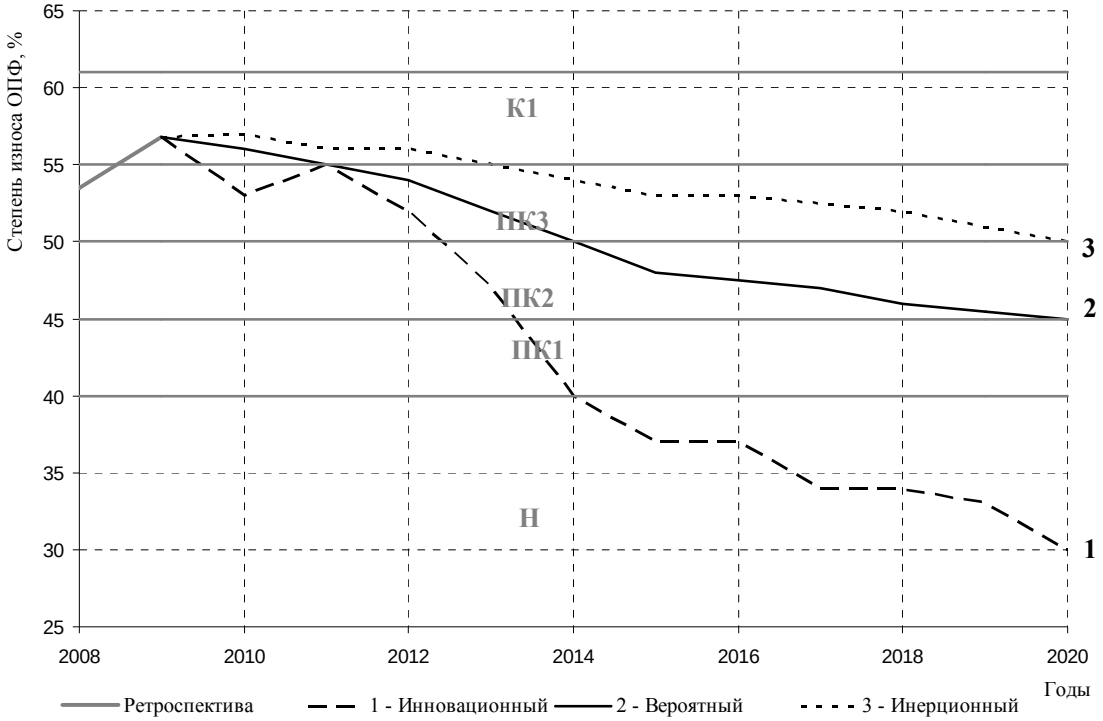


Рис. 2. Результаты диагностирования энергетической безопасности Свердловской области По индикатору степени износа ОПФ в электроэнергетике

Для различения состояний по индикатору вводятся его пороговые уровни (пороги) как граничные значения между двумя смежными зонами кризисности. Значения порогов территориально районируются в зависимости от условий региона (социально-экономических, природных и др.). Разработана методика диагностирования степени кризисности территории по состоянию ЭнБ для блоков индикаторов и комплексной оценки ЭнБ. Расчеты проводятся для каждого из сценариев развития.

Разработанный подход применен к диагностированию ЭнБ по сценариям стратегии развития ТЭК Свердловской области на период до 2020 года [3]. Их формирование было согласовано со сценариями стратегии социально-экономического развития Свердловской области до 2020 года [4]; со сценарием инновационного прорыва (оптимистический сценарий), инновационного развития в условиях технологического отставания (инновационный) и инвестиционного развития (инвестиционный). Кризис 2008-2009 гг. создал неблагоприятные условия для реализации оптимистического сценария, поэтому сценарии развития ТЭК региона согласовывались с двумя последними сценариями социально-экономического развития.

Были сформированы два базовых сценария энергетического развития: инновационный и стабилизационно-инерционный. Дополнительно для диагностики ЭнБ был введен третий, промежуточный сценарий, названный вероятным. В соответствии с методикой диагностирования последовательно были получены прогнозные показатели развития ситуации по индикаторам, их блокам и ситуации по ЭнБ в целом по сценариям энергетической стратегии. На рис. 2 показаны результаты диагностирования по одному из индикаторов – степени износа ОПФ электроэнергетики, а на рис. 3 – по ЭнБ в целом.

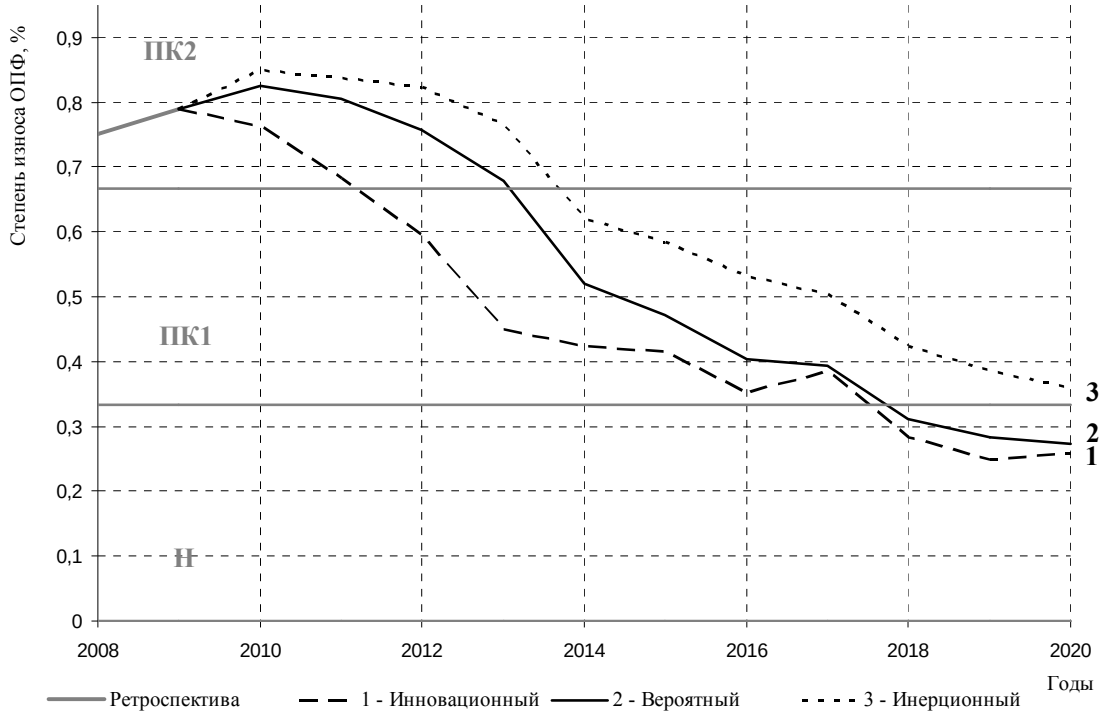


Рис. 3. Результаты диагностирования энергетической безопасности Свердловской области в целом

Полученные результаты подтвердили эффективность предлагаемой методики. Они были положены в основу раздела «Энергетическая безопасность» Стратегии [3].

Работа выполнена при финансовой поддержке РГНФ 12-12-66022 а/У.

Список литературы:

1. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года. – М.: Минэнерго РФ, 2009. – 188 с.
2. Отраслевые и региональные проблемы формирования энергетической безопасности // Под ред. А.А. Куклина, А.Л. Мызина. – Екатеринбург: 2008. – 384 с.
3. Стратегия развития топливно-энергетического комплекса Свердловской области до 2020 года. – Екатеринбург: Мин-во энергетики и ЖКХ Свердловской обл., 2010. – 62 с.

4. Стратегия социально-экономического развития Свердловской области на период до 2020 года. – Екатеринбург: Пр-во Свердл. обл., 2008. – 164 с.

УДК 621.37

Анализ графиков потребителей и их реакция на изменение оптовых цен на электроэнергию

А.В. Павлова, Т.Ю. Паниковская

ФГАОУ ВПО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

E-mail: pti@live.ru

Анализируется поведение потребителей энергосистемы на оптовом рынке электроэнергии объединенной энергосистемы. Цель работы – определить способность потребителей реагировать на высокие цены на рынке на сутки вперед (РСВ) в пиковые и полупиковые периоды функционирования электроэнергетической системы изменением уровня своего потребления.

К концу 2006 г. реформирование электроэнергетической отрасли вошло в завершающую стадию с запуском нового оптового рынка электроэнергии и мощности (НОРЭМ). В Постановлении Правительства РФ от 31 августа 2006 года № 529 [1] была определена модель нового оптового рынка электроэнергии и мощности, установлены основные конкурентные механизмы торговли электрической энергией (ЭЭ) и мощности.

В настоящее время в РФ электроэнергия предлагается в 3 секторах свободной торговли: двухсторонние договоры; рынок на сутки вперед (РСВ); балансирующий рынок электроэнергии.

В основу ***рынка на сутки вперед*** положен конкурентный отбор ценовых заявок поставщиков и покупателей, проводимый Администратором торговой системы за сутки до реализации диспетчерского графика с определением цен и объемов поставок на каждый час суток. Равновесная цена определяется по маржинальному принципу и зависит от ценовых заявок, как поставщиков, так и потребителей.

Цены на секторе РСВ оптового рынка электроэнергии и мощности России формируются на основе реальных заявленных объемов выработки и потребления и доводятся до сведения участников до реализации фактического режима [1]. Следовательно, потребители могут в краткосрочной перспективе (до подачи окончательной заявки на следующие сутки) откорректировать свою заявку, перенося максимум потребления на период с более низкими ценами. Таким образом, рынок на сутки вперед влияет на выработку поведения в краткосрочной перспективе для потребителей и генерирующих компаний.

В свою очередь, поведение потребителей электроэнергии можно разделить на две категории: активное или пассивное. Активное поведение потребителей означает изменение своего графика нагрузки в зависимости от цены, складывающейся на рынке на сутки вперед. Например, снижение потребления в часы высоких (пиковых и полупиковых) цен, и перенос максимума нагрузки на часы минимума.

В зарубежной практике программы, нацеленные на коррекцию поведения потребителей на спотовом рынке, получили название «Управление спросом (Demand Response - DR)». Это комплекс мер, нацеленных на изменение характера электропотребления конечными потребителями либо в ответ на изменение стоимости электроэнергии в течение времени, либо благодаря поощрительным выплатам, разработанным для стимулирования потребителей к снижению нагрузки во время пиков или в случае возникновения угрозы функционирования энергосистемы. Все потребители могут быть проранжированы по длительности и видам отключения/ограничения нагрузки [2], подобная классификация представлена ниже в таблице.

Анализ заявок участников оптового рынка позволяет определить готовность потребителей к применению и содержанию программ по управлению спросом. Для оценки возможности выделения потребителей, имеющих возможность участвовать в программах управления спросом, был проведен анализ потребителей объединенной энергосистемы (ОЭС) за один из месяцев 2011 года и определено конкретное поведение отдельных потребителей, так и отраслей в целом по отношению к цене и суммарному потреблению по ОЭС. Для отдельных потребителей было принято решение анализировать нагрузку для характерных дней: будни, суббота и воскресенье.

Для потребителей были посчитаны коэффициенты неравномерности, коэффициенты корреляции относительно общей цены по ОЭС и относительно общего потребления, характеризующие изменение графика нагрузки относительно общего потребления и общей цены по ОЭС.

Все потребители были разделены на группы по сферам деятельности (рис. 1.): A – Транспорт (2%); B – Собственные нужды станций (6%); C – Сбытовые компании (55%); D – Химическая и нефтехимическая промышленность (18%); E – Металлургическая промышленность (12%); F – Машиностроение и металлообработка (1%); G – Деревообрабатывающая и целлюлозно-бумажная промышленность (5%); H – Прочие сферы деятельности (1%).

Таким образом, самыми крупными покупателями на оптовом рынке электроэнергии являются: сбытовые компании; крупные потребители металлургической, нефтедобывающей и химической промышленности.

Таблица 1. Группы потребителей по допускаемым видам отключений и ограничений

№	Виды ограничения	Влияние на потребителя	Причина ограничения	Цена ограничения	Время предупреж-дения	Время ограничения час/год
1	Полное отключение	Потеря питания	Системная авария	Ущерб от полного погашения (остановка работы)	Без предупреж-дения	0-6
2	Вынужденное ограничение	Потеря питания	Работа сетевой или системной защиты	Ожидаемое значение ущерба от перерывов питания или от ограничения	Секунды или меньше	2-10
3	Добровольное ограничение потребления	Некоторое ограничение потребления	Надежность и экономичность	Значение ущерба и дополнительное поощрение	От секунд до часов	20-40
4	Изменение графика нагрузки	Незначи-тельное влияние	Экономические факторы	Дополнительные поощрения	От часов до дней	40-100
5	Базовое потребление	Нет	Нет			Длительно

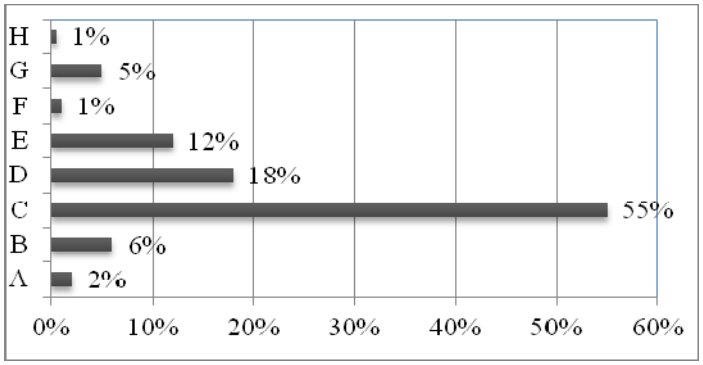


Рис. 1. Классификация потребителей по сферам деятельности

На рис. 2,3 представлено поведение отдельных групп потребителей (слева – Сбытовые компании, справа – Предприятия машиностроения и металлообработки) по отношению к общему потреблению ОЭС Урала: а)рабочий день, б) суббота, в) воскресенье). Для получения адекватных графиков и выравнивания масштаба, потребление ОЭС и отдельных групп потребителей рассчитано в о.е. относительно своего максимального потребления за сутки.

Анализ совокупных потребителей по сферам деятельности показал, что общий график потребления по отраслям незначительно зависит от уровня цен оптового рынка электроэнергии и мощности. Крупные предприятия, как правило, придерживаются своего запланированного графика потребления и рост собственной нагрузки совпадает с ростом нагрузки по ОЭС, из чего можно сделать вывод, что потребители (если брать отрасль в совокупности) слабо реагируют на повышение цен на ЭЭ (обладают малой эластичностью спроса).

Отдельные потребители имеют гораздо большие возможности по изменению своего потребления в течение суток. В работе были проанализированы отдельные заявки участников оптового рынка крупной энергосистемы. Например, сбытовые компании и гарантирующие поставщики работают на розничных рынках, где установлено частичное ценовое регулирование. Поэтому сбытовые компании и гарантирующие поставщики слабо могут влиять на таких потребителей, являясь всего лишь посредниками между оптовым рынком ЭЭ и конечными

потребителями [4]. Сбытовые компании и гарантирующие поставщики могут только косвенно влиять на сокращение нагрузки в часы максимума своими клиентами с помощью: введения поощрительной тарифной сетки, динамической тарификации с установкой новых технологических средств учета и контроля; предложения своим клиентам программ по сокращению потребления в пиковые часы взамен на определенные бонусы и скидки. С помощью использования таких программ возможно сокращение потребления, в том числе и в период прохождения максимума.

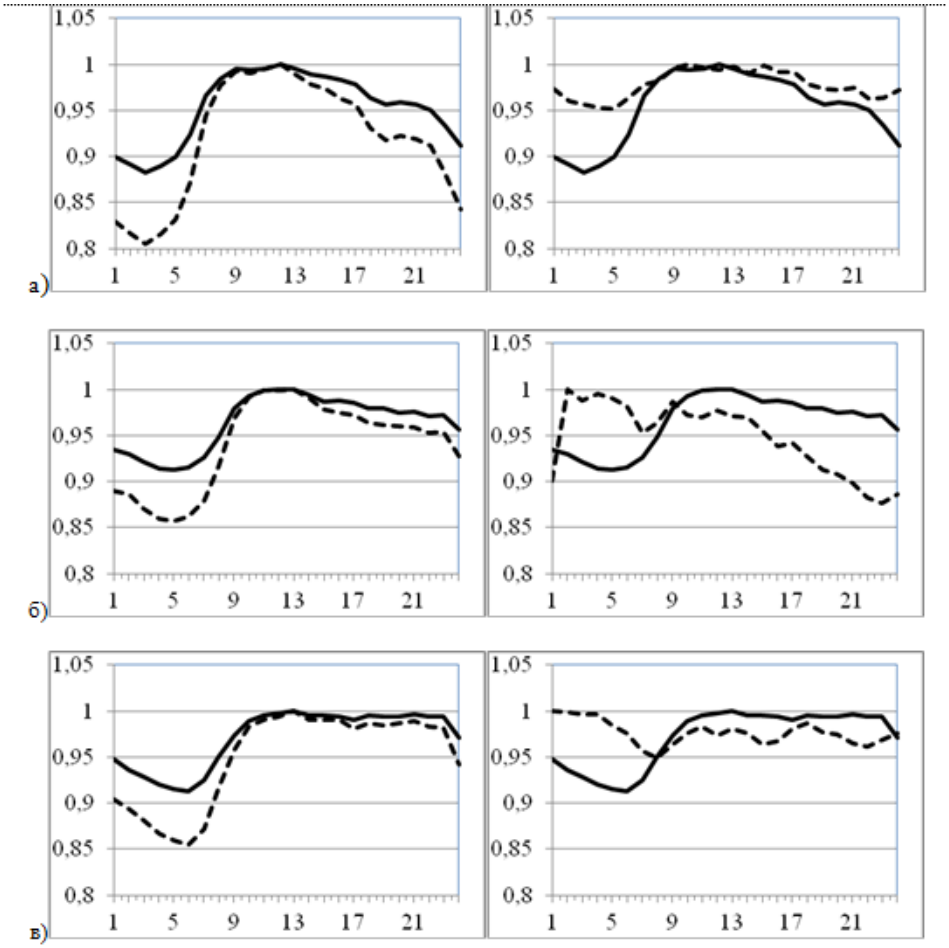


Рис. 2. Графики нагрузки потребителей (слева – Сбытовые компании, справа – Предприятия машиностроения и металлообработки, пунктирная линия) относительно потребления ОЭС (сплошная линия) для характерных дней: а) рабочий день, б) суббота, в) воскресенье

При рассмотрении графиков нагрузки некоторых потребителей можно сделать вывод, что с целью оптимизации платежей потребители полностью изменяют свои суточные графики нагрузки, «проваливая» нагрузку в часы максимума. Такие субъекты имеют существенную экономию по платежам за ЭЭ, так как основные объемы электроэнергии покупают по непиковым ценам, а также способствуют снижению суммарного максимума нагрузки ОЭС и повышению энергоэффективности различных производств.

Список литературы:

1. Постановление Правительства РФ от 31 августа 2006 года № 529 «О совершенствовании порядка функционирования оптового рынка электрической энергии (мощности)».
2. Aalami H.A., Moghaddam M.P., Yousefi G.R. Demand response modeling considering Interruptible / Curtailable loads and capacity market programs // Applied Energy 2010. № 87. p. 243-250.
3. Паниковская Т.Ю., Шабалин С.А. Выравнивание индивидуальных графиков нагрузки потребителей как средство повышения энергоэффективности. – Сборник докладов 1-го научно-практического семинара с международным участием ЭКСИЭ-1 «Эффективное и качественное снабжение и использование электроэнергии». – Екатеринбург, 2011, 11-13 мая.

УДК 62-82:621.22.018:006.057.2

Предпосылки для пересмотра стандартизированных показателей энергоэффективности гидроприводов

Г.В. Птицын
г. Москва, Россия
E-mail: G.Ptitsyn@list.ru

В ходе обзорно-аналитических исследований установлено, что в нормативно-техническом документе ГОСТ 4.37–90 «*Система показателей качества продукции. Гидроприводы объемные, пневмоприводы и смазочные системы. Номенклатура показателей*» стандартизированы малоинформативные показатели, не позволяющие на практике достоверно оценивать энергетическую эффективность гидравлических приводов, что не отвечает современным потребностям, уровню и перспективам развития гидравлических приводных систем и является основанием для научно-исследовательских работ, направленных на пересмотр стандарта в части показателей энергоэффективности гидроприводов.

Общеизвестно, что в Указе Президента определена задача снижения к 2020 году энергоёмкости валового внутреннего продукта Российской Федерации не менее чем на 40 процентов по сравнению с 2007 годом [1]. Государственное решение поставленной задачи, представленное в Энергетической стратегии России на период до 2030 года [2] и в программе «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года» [3], направленное на обеспечение рационального и экологически ответственного использования энергии и энергетических ресурсов, предполагает инновационное развитие предприятий, с ориентацией их на выпуск энергоэффективного оборудования.

Производство энергоэффективного машиностроительного оборудования полагает применение системы технических регламентов, национальных стандартов и норм [2], создаваемых, в том числе, в рамках государственной программы разработки национальных стандартов, осуществляемой, как известно, на основе: Федерального закона «О техническом регулировании» [4]; распоряжения Правительства Российской Федерации «Концепция развития национальной системы стандартизации» [5]; Указа Президента «Приоритетные направления развития науки, технологий и техники в Российской Федерации» [6]. В соответствии с перечисленными документами показатели энергетической эффективности машиностроительной продукции, содержащей приводные системы, в том числе, наиболее энергоемкий – гидравлический привод [7], должны разрабатываться с учетом признанных Россией зарубежных технических регламентов и директив, гармонизации требований ГОСТов с международными и зарубежными национальными стандартами, предложений технических комитетов по стандартизации и постоянно актуализируемого опыта по нормированию показателей качества продукции. Подобная актуализация базируется на практическом использовании стандартов и других нормативно-технических документов. Так, в ходе научно–исследовательских изысканий по улучшению эксплуатационных характеристик приводных систем нефтепромыслового оборудования выяснилось, что в настоящее время в различных нормативно-технических документах стандартизированы малоинформативные показатели, не позволяющие на практике достоверно оценивать энергетическую эффективность гидравлических приводов, также отсутствуют стандартизованные способы и методы определения и представления этих показателей [8]. В результате появилась необходимость в расширенных обзорно-аналитических исследованиях государственных нормативно-технических документов, содержащих технические требования по энергосбережению и показатели энергетической эффективности гидравлических приводов и их устройств, с последующей оценкой их соответствия уровню и перспективам развития гидравлической приводной техники, с учетом современных потребностей, отраженных в документах государственного планирования [2, 3, 5].

Расширенный обзор нормативно-технических документов уточнил, что требования по энергосбережению и показателям энергетической эффективности гидравлических приводов определены в трех документах [9], [10], [11]. В ходе их детального рассмотрения был выделен основополагающий стандарт – ГОСТ 4.37–90 «*Система показателей качества продукции. Гидроприводы объемные, пневмоприводы и смазочные системы. Номенклатура показателей*», распространяющий свое действие на устройства объемных гидроприводов, пневмоприводов и смазочных систем общепромышленного применения.

В анализе ГОСТа 4.37–90 использовались стандартизированные в этом же документе, в таблице 1, характеризуемые свойства и показатели экономного использования энергии, к которым

отнесены: коэффициент подачи; общий коэффициент полезного действия (КПД); гидромеханический КПД; внутренняя утечка жидкости; расход жидкости через вспомогательный клапан (для редукционных гидроклапанов непрямого действия); удельный расход воздуха; механический КПД.

Сравнительный анализ, приведенной в таблице 2 стандарта информации о применяемости показателей экономного использования энергии к устройствам объемных гидроприводов выявил, что показатели экономного использования энергии стандартизированы только для отдельных приводных устройств. Примечательно, что если для гидроприводов показатели охватывают и гидромашины, и гидроаппараты, то для пневмоприводов показатели относятся только к пневмодвигателям. Очевидно, что применение стандартизированных показателей позволяет оценивать энергетическую эффективность только отдельных устройств, не рассматривая гидропривод как единую техническую систему, на энергозатратность которой влияют её динамические характеристики, зависящие от конструкции, конструктивных особенностей и их взаимовлияния, характера нагрузки на выходное звено и характеристик энергопитания. В результате применения стандартизированных показателей, может сложиться, что гидравлический привод, состоящий из устройств с высокими показателями экономного использования энергии, в эксплуатации окажется неэнергоэффективным. Также было выявлено, что наиболее удобный в практическом применении стандартизованный показатель энергоэффективности, а именно общий КПД, позволяет лишь усреднено оценивать энергоэффективность гидропривода, причем с достоверностью, существенно зависящей от режима работы. Так, при стационарных, близких к номинальному режимах работы гидропривода достоверность оценки повышается, а в переходных режимах – снижается. В ходе анализа стандарта было также отмечено, что разработчики ГОСТа 4.37–90, в п.п.2.4, не указывая способов и методов, определили возможность устанавливать дополнительные показатели экономного использования энергии самим конструкторам приводной техники.

Изучение истории создания и развития ГОСТа 4.37–90 позволило выяснить, что основы действующего в настоящее время нормативно-технического документа были заложены еще в 60-е годы прошлого века. В тот и более поздние периоды были стандартизированы показатели патентно-правовые, экономические, назначения, надежности, технологичности, унификации, безопасности и эргономики [12]. При этом, показатели экономного использования энергии впервые были выделены разработчиками только в последней редакции ГОСТа, введенной в действие 20 лет назад, в течение которых в нашей стране кардинально изменились политические, социальные и, что особенно важно, экономические условия.

Результаты обзорно-аналитических исследований позволили сделать вывод о том, что действующий основополагающий стандарт не отвечает современным потребностям, уровню и перспективам развития гидравлических приводов. Это признается основанием [13] для научно-исследовательских работ, направленных на пересмотр стандарта ГОСТ 4.37–90 в части показателей энергоэффективности гидроприводов.

Автор с благодарностью примет все замечания и отзывы по представленной статье, которые просит направлять на адрес электронной почты: G.Ptitsyn@list.ru.

Список литературы:

1. Российская Федерация. Президент. О некоторых мерах по повышению энергетической и экологической эффективности российской экономики [Текст]: указ Президента Рос. Федерации от 04.06.2008 № 889 // Собрание законодательства Российской Федерации, выпуск № 23 от 09.06.2008, ст. 2672.
2. Российская Федерация. Правительство Российской Федерации. Об Энергетической стратегии России на период до 2030 года [Текст]: распоряжение Правительства Рос. Федерации от 13.11.2009 № 1715-р // Собрание законодательства Российской Федерации, выпуск № 48 от 30.11.2009, ст. 5836.
3. Российская Федерация. Правительство Российской Федерации. Об утверждении государственной программы «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года» [Текст]: распоряжение Правительства Рос. Федерации от 27.12.2010 № 2446-р (ред. от 18.08.2011) // Собрание законодательства Российской Федерации, выпуск № 4 от 24.01.2011, ст. 622.
4. Российская Федерация. «О техническом регулировании» [Текст]: Федеральный закон от 27.12.2002 № 184-ФЗ (ред. от 21.07.2011) // Собрание законодательства Российской Федерации, выпуск № 52 (ч.1) от 30.12.2002, ст. 5140.

5. Российская Федерация. Правительство Российской Федерации. О концепции развития национальной системы стандартизации [Текст]: распоряжение Правительства Рос. Федерации от 28.02.2006 № 266-р // Собрание законодательства Российской Федерации, выпуск № 10 от 06.03.2006, ст. 1129.
6. Российская Федерация. Президент. Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации [Текст]: указ Президента Рос. Федерации от 07.07.2011 № 899 // Собрание законодательства Российской Федерации, выпуск № 28 от 11.07.2011, ст. 4168.
7. Башта Т.М. Объемные гидравлические приводы [Текст] / Т.М. Башта [и др.]. – М.: Машиностроение, 1968. – 628 с.
8. 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: КГТА, 2010. – С. 181-185.
9. ГОСТ Р 51541–99 Энергосбережение. Энергетическая эффективность. Состав показателей. Общие положения [Текст] // Москва: ИПК Издательство стандартов, 2000. – 12 с.
10. ГОСТ Р 51749–2001 Энергосбережение. Энергопотребляющее оборудование общепромышленного применения. Виды. Типы. Группы. Показатели энергетической эффективности. Идентификация [Текст] // Москва: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 31 с.
11. ГОСТ 4.37–90 Система показателей качества продукции. Гидроприводы объемные, пневмоприводы и смазочные системы. Номенклатура показателей [Текст] // Москва: ИПК Издательство стандартов, 1990. – 38 с.
12. ГОСТ 4.37–83 Система показателей качества продукции. Гидроприводы объемные, пневмоприводы и смазочные системы. Номенклатура показателей [Текст] // Москва: Издательство стандартов, 1984. – 45 с.
13. ГОСТ Р 1.2–2004 Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты национальные Российской Федерации. Правила разработки, утверждения, обновления и отмены [Текст] // Москва: ИПК Издательство стандартов, 2005. – 19 с.

Анализ системы планирования электропотребления у потребителей электроэнергии с присоединенной мощностью свыше 750 кВА.

Т.П. Рубан, Т.И. Поликарпова

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия

Проведен анализ системы планирования электропотребления у потребителей с присоединенной мощностью свыше 750 кВА. При этом были рассмотрены возможные варианты разработки планового объема потребления электрической энергии и мощности, а так же возможные варианты разработки фактического объема потребления электрической энергии, выявлены отклонения. Была проведена оценка экономического обоснования эффективности почасового планирования электропотребления и рассчитана стоимость поставляемой электрической энергии по рассмотренным вариантам.

В энергетике России за последние 15 лет произошли большие изменения. Изменились формы собственности, энергетика стала сферой бизнеса, создан и развивается рынок электроэнергии и мощности. В результате широкомасштабной реструктуризации, наряду с регулируемым сектором, был запущен в работу новый для российской энергетики конкурентный сектор свободной торговли, в рамках реализации модели оптового рынка переходного периода. Все это не могло не затронуть технологии суточного планирования, когда наряду с технико-экономическими показателями работы генерирующего оборудования субъекта, стал необходим учет договорных обязательств и экономических интересов каждого участника рынка.

В большей степени изменения коснулись крупных предприятий, присоединенная мощность которых более 750. Так как они больше всех заинтересованы в минимизации использования энергоресурсов, а тем самым и стоимости электрической энергии для собственного потребления. Теперь к ним применяется почасовая система планирования и оплаты электропотребления.

Зная о колебании цен, потребитель получает ориентиры для более гибкого почасового планирования потребления электроэнергии и возможность оптимизировать расходы на электроэнергию, ведь конкурентная цена на оптовом рынке существенно отличается в

зависимости от различных факторов, влияющих на цену предложения (в частности, сезона и времени суток). На оптовом рынке в первую очередь загружаются станции, предложившие наиболее низкую цену, но при увеличении потребления нужно будет загружать и более дорогие станции. Так, в часы минимальной нагрузки (ночью) цена будет значительно ниже средней, где-то даже будет стремиться к нулю. В часы максимального потребления цена будет выше средней. Очевидно также, что в выходные дни цена ниже, чем в рабочие, а летом ниже, чем зимой. У предприятий появляется возможность, при условии обеспечения почасового учета электроэнергии, управлять собственным потреблением по часам суток в зависимости от того, какова цена на конкурентном оптовом рынке в соответствующий час.

Поэтому был проведен анализ системы планирования электропотребления у потребителей с присоединенной мощностью свыше 750 кВА. Объектом исследования были Абоненты ОАО «Красноярскэнергосбыт» с присоединенной мощностью свыше 750 кВА.

Сегодня под давлением рынка энергоресурсов потребители приходят к пониманию того, что первым шагом в экономии энергоресурсов и снижении финансовых потерь является точный учет.

Для минимизации отклонений в пиковые часы нагрузок был проведен анализ плановых и фактических данных об электропотреблении условного предприятия с присоединенной мощностью свыше 750 кВА с применением интегральных приборов учета и без них.

При этом были рассмотрены возможные варианты разработки планового объема потребления электрической энергии и мощности:

- формирование фактического объема потребления электрической энергии и мощности с почасовой детализацией на основании данных приборов учета, позволяющих измерять почасовые объемы потребления электрической энергии и мощности (Абоненты имеют приборы АСКУЭ);
- формирование фактического объема потребления электрической энергии и мощности, с почасовой детализацией исходя из суточного графика электрической нагрузки за характерный зимний день при отсутствии приборов учета, позволяющих фиксировать электропотребление по часам суток.

Так же возможные варианты разработки фактического объема потребления электрической энергии:

- формирование фактического объема потребления электрической энергии на основании данных приборов учета АСКУЭ;
- исходя из суточного графика электрической нагрузки.

Рис. 1 Отклонения договорных объемов потребления, разработанных непосредственно Абонентом, от фактических, сформированных на основании данных приборов учета и без них.

В результате расчетов планового и фактического электропотребления получены следующие виды отклонений:

- Отклонения договорных объемов потребления, разработанных непосредственно Абонентом, от фактических, сформированных на основании данных приборов учета и без них (Рис.1).

- Отклонения договорных объемов потребления, сформированных исходя из технической документации, от фактического объема, сформированных на основании данных приборов учета и без них (Рис. 2).

Отклонения рассчитывались в рабочий день.

Рис. 2 Отклонения договорных объемов потребления, сформированных исходя из технической документации, от фактического объема, на основании данных приборов учета и без них

Анализ полученных данных в ходе разработки системы планирования электропотребления у потребителей с присоединенной мощностью свыше 750 кВА, позволил сделать следующие выводы:

Во-первых, при планировании электропотребления непосредственно Абонентом, вариант формирования фактических объемов на основании данных АСКУЭ является более выгодным для Абонента.

Во-вторых, в случае не предоставления договорных объемов потребления Абонентом, Гарантирующий поставщик планирует электропотребление, исходя из технической документации. В этом случае, формирование фактических объемов потребления на основании данных АСКУЭ, является более выгодным для Гарантирующего поставщика.

Была проведена оценка экономического обоснования эффективности почасового планирования электропотребления и рассчитана стоимость поставляемой электрической энергии по следующим вариантам (Рис. 3):

1. договорной объем разработан исходя из технической документации, а фактический исходя из суточного графика;
2. договорной объем разработан исходя из технической документации, а фактический сформирован на основании данных АСКУЭ;
3. договорной объем разработан Абонентом, а фактический сформирован исходя из суточного графика;
4. договорной объем разработан Абонентом, а фактический сформирован на основании данных (АСКУЭ);

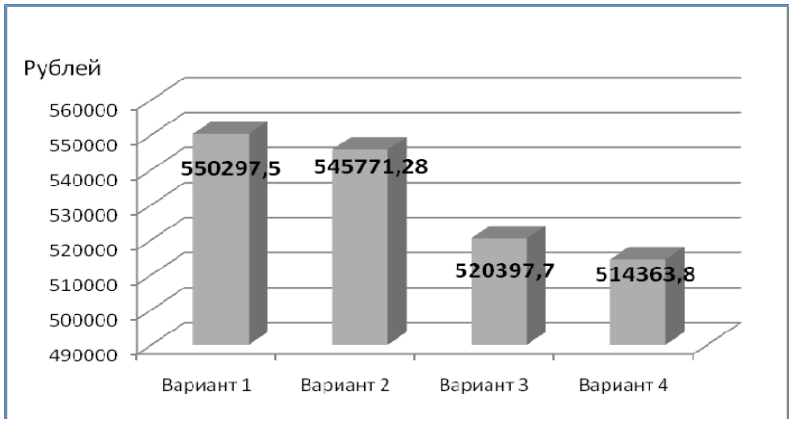


Рис. 3 Стоимость электропотребления при различных вариантах планирования электропотребления

Проведя оценку экономического обоснования эффективности почасового планирования электропотребления, можно сформулировать следующие выводы:

- вариант расчета стоимости, когда договорной объем потребления электрической энергии разработан Абонентом, а фактический объем сформирован на основании данных приборов учета (АСКУЭ) является самым рациональным;
- экономия денежных средств составит 35933,7 рублей. Это на 7 % меньше, чем при варианте расчета стоимости, когда договорной объем потребления электрической энергии (мощности) разработан исходя из технической документации, а фактический объем сформирован исходя из суточного графика.

На основании полученных выводов можно утверждать, что установка приборов учета, позволяющих фиксировать потребление электрической энергии по часам суток (АСКУЭ) на предприятиях является наиболее эффективным и быстро окупаемым мероприятием, выгодным как для самого предприятия, так и для энергоснабжающей организации.

УДК 614(07)

Построение системы обработки и интерпретации поступающей информации при мониторинге АЭС

Л.Т. Рязанцева, Е.А. Ушакова

Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия

RyazancevaLT@mail.ru

Показана возможность применения программы БАРС при анализе реальных сложных систем, таких как АЭС Сделан вывод о том, что разрабатываемая отечественная программа БАРС полностью соответствует современным требованиям и имеет существенные преимущества перед другими программными комплексами.

К наиболее известным способам графического моделирования сложных организационно-технических систем относятся последовательно-параллельные схемы, графы связности, деревья событий и/или деревья отказов (ДО/ДС), марковские графы состояний и переходов, GO-схемы, релейно-контактные схемы, схемы функциональной целостности (СФЦ).

При выполнении вероятностной модели безопасности (ВАБ) наибольшее применение нашли ДО/ДС, менее известны GO-схемы и СФЦ. Руководства МАГАТЭ не исключают использования последовательно-параллельных схем и марковских графов состояний и переходов. Графы связности и релейно-контактные схемы в практике ВАБ почти не применяются. Все основные методы моделирования, естественно, реализованы на ПЭВМ в виде программных кодов, оснащенных графическими редакторами, встроенными базами данных и т.п.

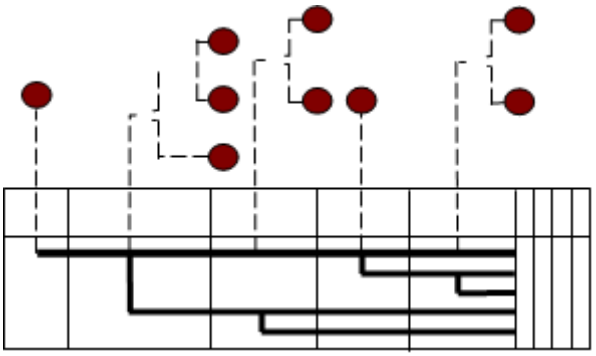
Широкое использование ДО/ДС вызвано простотой и ясностью исходной идеи, используемой при постановке задачи моделирования. Действительно, поскольку нас интересует вероятность (частота) появления нежелательного события, т.е. события, связанного с нарушением безопасности, то кажется вполне разумным начать анализ именно с него и, последовательно разбираясь с причинами появления этого события и отображая эти причины на графе, в конце концов, получить требуемую модель.

ДО позволяют отображать конъюнктивность и дизъюнктивность условий обеспечения, мажоритарные структуры, последовательность событий. Важнейшим достоинством ДО является то, что правильно построенное дерево позволяет исключить один из самых трудоемких этапов моделирования - преобразование логической функции в вероятностную. Эти достоинства ДС/ДО обусловили их использование в составе многих кодов для ВАБ. Наибольшее распространение в России при проведении ВАБ АЭС получили два кода: Risk Spectrum и SAPFIRE.

Недостатками ДО/ДС являются: громоздкость (число элементов ДО N всегда превышает количество элементов принципиальной схемы n и в общем случае стремится к величине $N = 2n$); недопустимость (с точки зрения последующего этапа моделирования) наличия одинаковых элементов в различных ветвях; невозможность отображения немонотонных структур; трудность или невозможность отображения условий подключения резервов; невозможность изображения логических циклов [1].

СФЦ ориентированы на успех, часто похожи на принципиальные схемы, что упрощает их построение. За каждой вершиной СФЦ кроется реальный физический объект. СФЦ, на наш взгляд, объединяют в себе все достоинства метода ДО/ДС и метода GO-схем, не обладая, в то же время,

их недостатками. Строятся они, начиная от желательного события и далее, к отдельным элементам до достижения требуемого уровня глубины. Это сближает их с GO-схемами. В то же время, число операторов СФЦ невелико, они основаны на бинарной логике, для каждой функции каждого элемента используется свое отображение. Это сближает их с ДО. На уровне каждой вершины СФЦ возможно использование как прямого, так и инверсного выхода [2]. При этом прямой выход из вершины является критерием возникновения аварии (отказа) системы, а инверсный выход является критерием противоположного функционального события - безаварийного выполнения заданной функции. В СФЦ обеспечена возможность задания любых (прямых, инверсных, монотонных и немонотонных, одиночных и групповых) критериев функционирования исследуемой системы. Возможно представление не только комбинаций исходных событий (как в деревьях отказов), но и реально существующих в системе последовательных, параллельных и циклических функциональных связей элементов.



Условно графическую модель безопасности АЭС, состоящую из комбинации деревьев событий (ДС), деревьев отказов (ДО), базисных событий (БС) и т.д. можно представить согласно рисунку 1.

Рис. 1. Графическая модель безопасности АЭС, разрабатываемая в ходе ВАБ

В нижней части рисунка 1 изображено ДС, каждая ветвь которого соответствует определенному пути развития аварии – аварийной последовательности. ДС начинается с инициирующего события – отказа технических средств, внешнего воздействия, ошибки персонала и т.п., которое «запускает» аварийный процесс. В заголовках ДС (ячейках верхней строки таблицы) помещены описания промежуточных событий, соответствующих срабатываниям систем безопасности, систем автоматики, действиям персонала, происходящим во время аварии. К каждому заголовку ДС «подключается» соответствующее ДО, действие персонала и т.д.

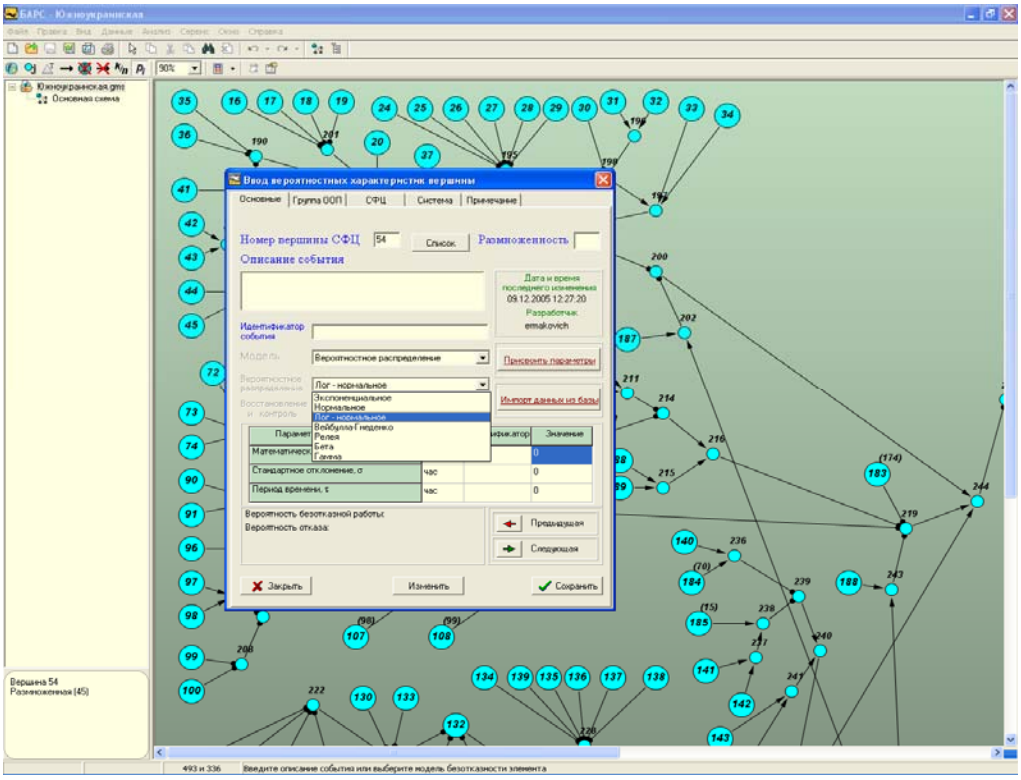


Рис. 2. Выбор параметров контроля и восстановления

Реальные модели, разрабатываемые в ходе ВАБ, значительно сложнее, чем изображенная на рисунке 1. Например, в модель АЭС «Бушер» входит 84 ДС, 984 ДО, 2678 логических операторов, 3399 базовых событий, 73 функциональных события, 205 групп ООП. Естественно, поэтому, что производство расчетов заданных показателей безопасности без ПЭВМ и соответствующих программ для ПЭВМ невозможно [3].

В последние годы оживилась работа по созданию кодов для ВАБ и в России. Один из разработанных новых ПК - БАРС (безопасность и анализ риска систем), основанный на технологии автоматизированного структурно-логического моделирования, который обеспечивает достаточно корректный учет особенностей стратегий контроля и восстановления технического состояния оборудования АЭС (рис. 2).

Для повышения удобства работы с большими моделями обеспечено использование неограниченного количества трансферов (рис. 3).

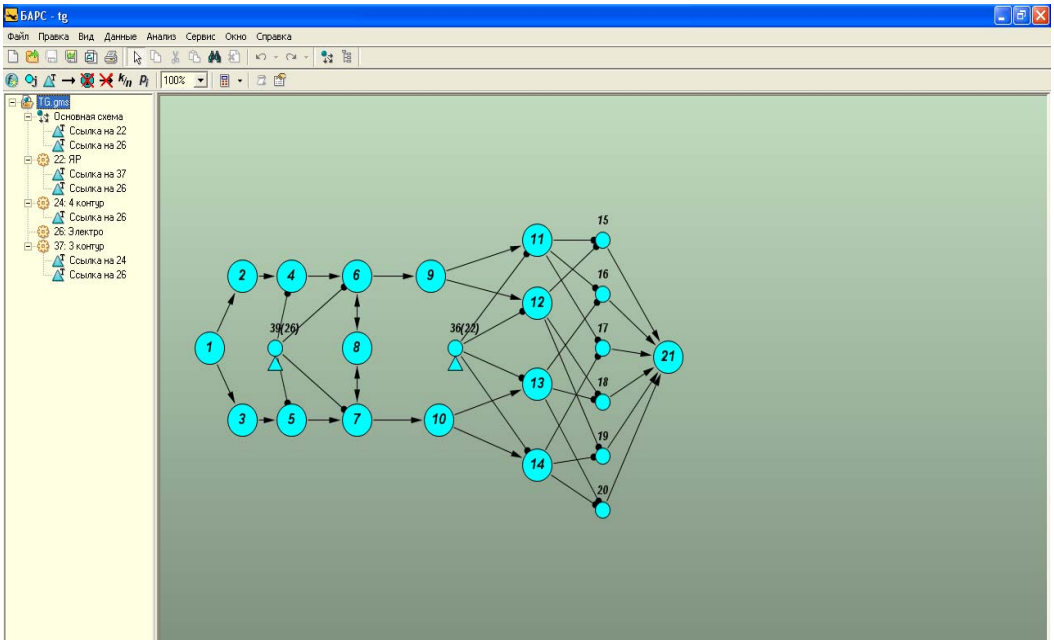


Рис. 3. Использование трансферов при построение моделей надежности больших систем

Результаты тестирования программы БАРС путем решения одних и тех же контрольных примеров несколькими ПК - Risk Spectrum, SAPHIRE, CRISS, ПК АСМ СЗМА, Relex показывают, что разрабатываемая отечественная программа полностью соответствует современным требованиям и имеет существенные преимущества перед вышеперечисленными ПК.

Список литературы

1. Трахтенгерц Э.А. Анализ ведения деловых переговоров с помощью компьютерных систем поддержки принятия групповых решений // Известия РАН. Теория и системы управления. - 2002. - №6. - С. 98-123.
2. Fabella R.V. Generalized sharing, membership size and Pareto efficiency in teams // Theory and Decision. – 2000. - №48. - P. 47-60.
3. Thiessen E.M., Loucks D.P., Stedinger J.R. Computer –assisted negotiations of water resources conflicts // Group Decisions and Negotiation. - 1998. - №7. - P.109 – 129.

УДК 621.311.002

Пример расчета осветительных сетей при неравномерной нагрузке фаз

В.Б. Вайнштейн*, В.Д. Никитин, К.П. Толкачева, А.В. Трубач
**ООО «Томский нефтехим», г. Томск, Россия*
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия
E-mail: geltir@sibmail.com, tkp@tpu.ru

Анализируются существующие и предлагаются новые усовершенствованные инженерные методы расчета потерь напряжения в электрических, в первую очередь – осветительных сетях, учитывающие степень неравномерности распределения нагрузки по фазам.

Представляет интерес вопрос о необходимости расчёта потерь напряжения [1,2].

В силовых электроустановках мощности, как правило, выбираются с некоторым запасом, который перекрывает возможные колебания или потери напряжения в сети, и потеря напряжения при этом сказывается не на эксплуатации электроустановки, а только на общем расходе электроэнергии.

В осветительных электроустановках понижение напряжения из-за неравномерной нагрузки фаз [3] резко уменьшает световой поток (для ламп накаливания) или затрудняет их включение (для разрядных ламп); незначительное повышение напряжения (для ламп накаливания), так же как и любые по знаку отклонения напряжения от номинала (для разрядных ламп) могут значительно (в несколько раз) снизить сроки службы ламп [4]. Необходимость учитывать потери напряжения в каждой фазе, а иногда и возле каждого светильника может оказаться важной электротехнической задачей, но без упрощения решения она остается вне практики проектирования.

Проанализируем ситуацию с расчетом потерь напряжения (ПН) на следующем примере.

Условия

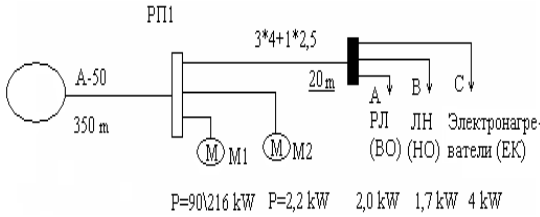


Рисунок. Схема распределения силовой (М1, М2 и ЕК) и осветительной (внутренней (ВО) и наружной (НО)) нагрузок.

От подстанции (рисунок) с выходным напряжением +5% в системе 380/220V запитывается удалённый участок (расстояние до РУ 350 m) воздушной линией проводом

А-50 (сечение выбрано не по потере на- пряжения, а по току).

Нагрузки участка:

- электродвигатель 90 kW (технологический), его эквивалентная пусковая мощность – 216kW, паспортное время запуска – 5s;
- электродвигатель 2,2 kW (вентиляция);
- распределительный щиток, запитанный от РУ кабелем сечением 3х4+1х2,5 длиной 20m, с однофазными нагрузками: внутреннее освещение 2,0 kW;
- (РЛ), потеря ПН в групповой линии 0,5%;
- Наружное освещение 1,7 kW (ЛН), ПН в групповой линии 1,7%;
- ИК-нагреватели 4 kW.

Задание

1. Рассчитайте ПН в фазах А, В по формулам предлагаемого метода. Почему фазу С можно не принимать во внимание?

2.Укажите, необходимо ли учитывать падение светового потока и возможна ли замена ЛН на лампы ДРЛ или ДНаТ.

3.Оцените влияние ИК-нагревателей (нагрузка однофазная) и электродвигателей на фазное значение ε.

Силовая или осветительная нагрузка чувствительнее к ПН?

4. Требуются ли специальные меры по повышению напряжения, если РЛ устойчиво горят при напряжении не ниже 190 V и гарантированно загораются при напряжении 205V?

Решение

1.Расчет потери напряжения для ряда режимов выполнен в таблице.

2.Потеря напряжения в линии с ЛН превышает допустимые для освещения 5%, уменьшение светового потока необходимо учесть. Замена ЛН на РЛ в данном случае невозможна – в момент пуска технологического электродвигателя РЛ могут отключаться.

3.Включение ИК-обогревателей в зимнее время (дополнительная нагрузка третьей фазы) уменьшает ПН в первых двух. Технологические (не лампы) нагрузки могут работать и при резко пониженном напряжении (мощность электродвигателей выбирается с достаточным коэффициентом запаса, а нагреватели компенсируют потерю мощности увеличением времени работы); ПН на фазе С, где лампы отсутствуют, не рассчитывается.

4.Напряжение 205 V и 190 V соответствуют потере напряжения от подстанции:

$$\varepsilon=(220-205)220^{-1}100\%+5\%=11,8\%$$

$$\varepsilon=(220-190)220^{-1}100\%+5\%=18,6\%$$

Рекомендуемые в данном случае меры по повышению напряжения:

4.1.Запитать линию от клемм трансформатора +10%.

4.2.Учитывая, что разность между режима ми 205 и 190 V 6,8%, а разность моментов нагрузки 13150-5803=7347kW·m, сечение питающей сети рекомендуется не ниже 7347: :7,7:6,8=140 mm^2; в таком случае (S=150) потери в рабочем (пусковом) режиме падают до: в фазе А 6,8 (13,2) и в фазе В 7,5 (13,8) %.

В этом варианте замена ЛН на РЛ возможна. Сочетание приёмов 4.1 и 4.2 уменьшает ПН в фазах А и В в рабочем режиме до 1,8 и 2,5 соответственно. В таком случае не требуется и учитывать снижение светового потока ЛН. Часто рекомендуемый вольтодобавочный трансформатор при разности потери напряжения в пусковом и рабочем режиме около 20%, увы, не поможет: для повышения напряжения в пусковом режиме до требуемых 190 V напряжение в рабочем режиме для фа зы В (с ЛН) у удаленных ламп окажется +0,6%, а у ближних ламп +2,3%.

4.3. Использовать трансформатор 160 –250 кВА. ВЛ выполнить проводом А-16.

Таблица 1. Расчет ПН при режимах: рабочем (1), пусковом (2), рабочем зимнем (3), «только освещение» (4); электродвигатели М1 технологический ($P_{раб}$=90 kW, $P_{пуск}$=216 kW) и М2 для вентиляции ($P_{раб}$=2,2 kW); мощности ОУ внутреннего (фаза А) и наружного (фаза В) освещения – в рамках

Участок	L=350 m, S=50 mm^2, σ=1				L=20 m, S=4 mm^2, σ=1,6			
Режим \ P_{Σ}, kW	I \ 95,9		II \ 221,9		III \ 7,7*		IV \ 3,7	
Фаза	A	B	A	B	A	B	A	B
P, kW, ЭД1\ЭД2	30\0,73	30\0,73	72\0,73	72\0,73	0\0	0\0	0\0	0\0
P, kW, освещение	2	1,7	2	1,7	2	1,7	2	1,7
$P_{прив}$, kW	16,9	16,5	37,9	37,5	0,58	0,2	1,58	1,2
Момент М, kWm	5915	5810	13265	13160	11,6	4	31,6	24
$\varepsilon_n = P_{прив} \cdot L \cdot (c\,S)^{-1}$, %	15,4	15,1	34,5	34,2	0,4	0,15	1,03	0,8
Поправка K_ε (σ, Δ)	1	1	1	1	0,55	-0,95	1,22	1,18
$\varepsilon = \varepsilon_n \cdot K_\varepsilon$, %	15,4	15,1	34,5	34,2	0,2	-0,1	1,25	0,92

*ИК-нагреватели, P_{Σ}=4 kW, включены в фазу С

Список литературы:

1. Вайнштейн В. Б., Никитин В. Д. Электрическая часть осветительных установок. Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПИ, 1984. – 92 с.
2. Вайнштейн В. Б., Никитин В. Д. Пашник К. П.(Толкачева К.П.), Трубач А. В. Расчеты осветительных сетей при потере напряжения при неравномерной нагрузке фаз// Материалы X Всероссийской конференции «Энергоэффективность систем жизнеобеспечения города». – Красноярск.– 2009. – С. 199-203.
3. Цейтлин Д.Г. К вопросу о расчете трехфазных осветительных сетей с нулевым проводом при несимметричной нагрузке фаз//Электричество. – 1935. – №13. – С.17-19.
4. Рохлин Г.Н. Разрядные источники света. – М.:Энергоатомиздат, 1991. – 720с.

УДК 621.313.019.3

Определение риска и безопасности насосной установки и насосной станции машинного орошения

С.С. Халиков

Институт энергетики и автоматики Академии Наук Республики Узбекистан, г. Ташкент, Республика Узбекистан

E-mail:Salih.halikov@yandex.ru

Приведены выражения для определения риска и безопасности насосной установки и насосной станции машинного орошения.

В настоящее время правильное и безопасное управление насосных установок (НУ) и насосных станций (НС) становится важной проблемой, вызванное длительным сроком их эксплуатации. Существующие НС по возрасту подходят к этапу износовых отказов. Для этого периода эксплуатации характерны возрастание интенсивности отказов и аварий, увеличение объемов ремонтных работ и работ по реконструкции и модернизации сооружений, конструкций и оборудования и соответственно увеличению затратов и расходов электрической энергии на единицу объема перекачиваемой воды. Безопасность НУ и НС достигается путем уменьшения риска, последнее должно осуществляется с помощью итеративного процесса анализа оценки риска с последующим уменьшением степени риска.

В настоящее время не разработаны методические подходы и соответствующая нормативная документация по оценке риска, определению безопасности НУ и НС машинного орошения.

В связи с этим в докладе приводятся выражения оценки риска НУ и НС машинного орошения. Оценка риска может быть определена в денежном выражении- условных единицах или в бальной системе. В данном случае нами оценка риска насосной установки оценивается в денежном выражении – условных единицах, по выражению:

$$R_{НУ=}\sum_{i=1}^{n}\left\{\left[Q_{НУi}+Ц\cdot\Delta Q_{НУi}\cdot T_i\right]\cdot P_{НУi}+Q_{НУi}^{ВН}\right\}\frac{1}{T_{год}}\ [(д.е.)/год] \qquad (1)$$

где

$P_{НУi}=f(P)$,

$Q_{НУi}$ – ущерб нанесенный на оборудование НУ при воздействии i-го события [д.е.],

$\Delta Q_{НУi}$- потери расхода воды за час НУ от простоя при *i*-ом событии [м^3 / час];

T_i - время простоя НУ при *i*-ом событии;

Ц – стоимость одного м^3 объема воды [д.е. / м^3];

$P_{НУi}$ – вероятность возникновения *i*-го события на НУ;

P - вероятность исходного события;

$Q_{НУi}^{ВН}$ - внешний ущерб нанесенный на урожайности сельскохозяйственных культур из-за потери воды при *i*-том событии на насосном агрегате [д.е.];

$T_{ГОД}$ - межремонтный период работы НУ за год [год].

Вычисление риска НС $R_{НС}$ [д.е. / год] производим по следующему выражению:

$$R_{нс}=\sum_{i=1}^{n}\left\{\left[Q_{НСi}+Ц\cdot\Delta Q_{НСi}\cdot T_i\right]\cdot P_{НСi}(t)+Q_{НСi}^{ВН}\right\}\frac{1}{T_{год}}\ , \qquad (2)$$

где $P_{НСi}(t)=f[P_{si}(S)]$,

$Q_{НСi}$ – ущерб, нанесенный на оборудования НС при воздействии i-го события [д.е.];

$\Delta Q_{нсi}$ – потери расхода воды за час НС от простоя при *i*-ом событии [м^3/ час];

T_i - время простоя НС при *i*-ом событии;

Ц – стоимость одного м^3 объема воды [д.е. / м^3];

$P_{НСi}$ – вероятность возникновения *i*-го события на НС,

$P_{si}(t)$ – вероятность исходных событий системы;

$Q_{НСi}^{ВН}$ - внешний ущерб, нанесенный на урожайность сельскохозяйственных культур из-за потери воды при *i*-том событии на НС [д.е.];

$T_{ГОД}$ - межремонтный период работы НС за год [год].

Используя выражения (1), (2) как показано в [1] можно сформулировать следующие показатели НУ и НС машинного орошения: R_{Σ} - суммарный рейтинг нарушения; R_{max} - максимальный рейтинг нарушения; R_{CP} - средный рейтинг нарушения. Эти характеризующие тяжесть данного нарушения и отражающие вероятность перехода нарушения в аварию позволяют определить уровень безопасности при эксплуатации в конкретный момент времени *t* наступления нарушения.

Список литературы:

1. Статистические методы анализа безопасности сложных технических систем: учебник / Александровская Л.Н., Аронов И.З., Елизаров А.И. и др.; под ред. В.П.Соколова. М.: «Логос», 2001. 232 с.

УДК 621.313.019.3

Применение нейронной сети для вероятностного анализа безопасности крупных насосных агрегатов насосной станции машинного орошения

С.С. Халиков

Институт энергетики и автоматики Академии Наук Республики Узбекистан, г. Ташкент, Республика Узбекистан

E-mail:Salih.halikov@yandex.ru

Предложено применение нейронной сети для вероятностного анализа безопасности крупного насосного агрегата, т.е. системы «синхронный двигатель-насос» машинного орошения.

Эффективность эксплуатации насосной станции (НС) машинного орошения в первую очередь определяется безопасностью насосного агрегата (НА). При оперативном управлении безопасностью НА следует ориентироваться на результаты анализа нарушений, так как необходимость и срочность разработки корректирующих мер зависит от степени опасности

нарушений. Поэтому целесообразно определить показатели, характеризующие тяжесть нарушений. В существующем методе вероятностного анализа безопасности (ВАБ) чтобы корректно ввести комплексные показатели типа риска, характеризующие безопасность при эксплуатации используется модель развития нарушения, представляемая правосторонним дихотомическим «деревом событий»[1]. При применении «дерева события» для расчета риска во многих случаях проведение ВАБ в полном объеме может быть затруднено, особенно при отсутствии информации об отдельных процессах, расчет риска сопровождается высокой степенью неопределенности, и требуются значительные затраты времени.

С этой точки зрения предложено для проведения ВАБ насосного агрегата, т.е. системы «синхронный двигатель-насос» применить системы искусственного интеллекта (ИИ) на основе искусственных нейронных сетей, генетических алгоритмов, экспертных систем и систем нечеткой логики. Основу каждой искусственной нейронной сети составляет элементы (ячейки), имитирующие работу нейронов мозга (далее под нейроном подразумевается искусственный нейрон, ячейку искусственного нейрона, ячейку искусственной нейронной сети). Каждый нейрон представляет элемент насосного агрегата и события, происходящие в результате нарушения нормальной эксплуатации, и характеризуется своим текущим состоянием по аналогии с нервными клетками головного мозга, которые могут быть возбуждены или заторможены. Он обладает группой синапсов – однонаправленных входных связей, соединенных с выходами других нейронов, а также имеет аксон – выходную связь данного нейрона, с которого (возбуждения или торможения) поступает на синапсы следующих нейронов. Каждый синапс характеризуется величиной синаптической связи или весом W_{ij} , который по физическому смыслу эквивалентен электрической проводимости [2].

Текущее состояние нейрона определяется, как взвешенная сумма его входов:

$$Sij = \sum_{\substack{i=1 \\ j=1}}^{n} X_{ij} \cdot W_{ij} \qquad (1).$$

Выход нейрона есть функция его состояния:

$$y = f\,(s) \qquad (2)$$

Нелинейная функция f называется активационной и может иметь следующие виды: функция единичного скачка; линейный порог (гистерезис); сигмоид. Для нашего случая выбран вид функции - сигмоид – гиперболический тангенс, здесь входом функции будет наработка t, параметром функции – интенсивность отказов - λ , а выходом вероятность безотказной работы – $P\,(t)$. Для оценки показателей критичности используется теория нечетких множеств. ННЭ элементов насосного агрегата происходят из-за воздействия ненормальных режимов работы насоса и механических неисправностях его элементов и синхронного электродвигателя [3].

Структура нейронной сети ВАБ насосного агрегата машинного орошения приведена на рис.1. Как видно из рис.1 нарушения происходящие в НА, т.е. нейрона $S_{НА}$ можно представить состоящим из двух нейронов нарушений происходящих в синхронном двигателе СД - $S_{СД}$ и в насосе - $S_{Н}$. На вход нейрона насосного агрегата - $S_{НА}$ поступают множество сигналов, каждый из которых является выходом нейронов - $S_{СД}$ и $S_{Н}$. Здесь множество входных сигналов, обозначенных $X_{СД}$, $X_{Н}$ поступает на искусственный нейрон $S_{НА}$. Нейроны: S_{12} _ попадание воды и твердых частиц в масло, засорение трубок охладителей илом, грязью и обрастание труб древесиной, S_{11} _ натиры на сегментах и повышение температуры сегментов подпятника, ухудшение чистоты зеркальной поверхности диска (повешение шероховатости), уменьшение или прекращение подачи воды в охладители, S_1- подплавление баббитовой поверхности сегментов подпятника, S_{22} - гидравлические удары, кавитация, S_{21}- перегрев активной стали, ослабление прессовки активной стали, S_2 - пробой изоляции обмотки статора, S_{32} - гидравлические удары, поломка лопастей турбины, S_{31}- асимметрия воздушного зазора, нарушение формы статора, S_3 - подплавление сегментов направляющих подшипников, S_{42}- обрыв цепи ротора, S_{41}- повреждение полюсов и обмотки ротора, S_4- пробой изоляции обмотки ротора, S_{52} – искрение щеток, S_{51} – потеря возбуждения, S_5 –асинхронный режим, S_{62} – обломка лопастей и расцентровка ротора насоса, S_{61} – насос работает в тормозном или реверсивном режиме при обратном вращении, S_6 - насос не подает воду, S_{72}– износ уплотнительных колец переднего диска колеса, S_{71}– значительный износ торцов лопастей рабочего колеса и камеры, S_7 – насос не обеспечивает требуемый напор, S_{82}– негерметичен клапан срыва вакуума, S_{81}–установлен нерабочий угол разворота лопастей осевого насоса, прикрыта или полностью открыта задвижка на трубопроводе, S_8–агрегат сильно вибрирует с кавитационными частотами, S_{92} – износ и задевание уплотнений, неравномерный износ лопастей

колеса, S_{91}– ротор насоса (агрегата) плохо отбалансирован или балансировка нарушена, неправильная расточка соединительных муфт, S_9 –недопустимое биение вала, S_{102} – рубашка или поверхность вала из-за сильной затяжки сальника имеют канавки, S_{101} – сильная затяжка сальников или отрыв крепления уплотнения, S_{10} – сальники пропускают воды свыше нормы.

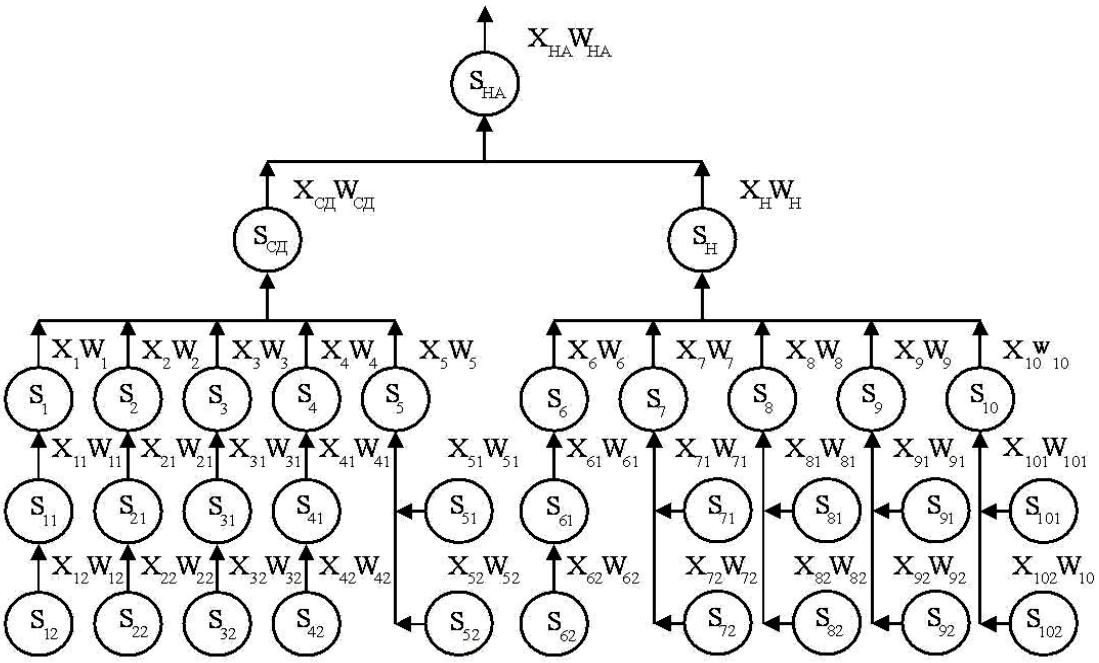


Рис. 1. Структурная схема нейронной сети ВАБ насосного агрегата

Эти входные сигналы, соответствуют сигналам, приходящим в синапсы биологического нейрона. Каждый сигнал умножается на соответствующий вес $W_{СД}$, $W_Н$ и поступает на суммирующий блок. Каждый вес соответствует «силе» одной биологической синаптической связи (множество весов в совокупности обозначается вектором $W_{НА}$). Суммирующий блок, соответствующий телу биологического элемента, складывает взвешенные входы алгебраически, создавая выход, который мы будем называть *NET*. В векторных обозначениях это может быть записано следующим образом:

$$NET = X_{НА} W_{НА} \quad (3).$$

Сигнал *NET* далее, как правило, преобразуется в активационную функцию *F* и дает выходной нейронный сигнал. Активационная функция может быть функцией

$$OUN = K(NET) \quad (4).$$

Величиной функции *OUN* может быть вероятность безотказной работы насосного агрегата - $P_{НА}(t)$, зная её величину. Зная вероятность безотказной работы, можем произвести диагностику технического состояния насосов, рассчитать риск, определить тяжесть каждого нарушения и эффективно выявлять аварийные факторы, принять необходимые экстренные или корректирующие меры, направленные на повышение безопасности работы насоса.

Список литературы:

1. Статистические методы анализа безопасности сложных технических систем: Учебник / Л.Н. Александровская, И.З.Аронов, А.И. Елизаров и др.; Под ред. В.П.Соколова.- Логос, 2001.
2. Борисов Е.С. Основные модели и методы теории искусственных нейронных сетей- http: // mechanoid.narod.ru/nns/base/.
3. Киселев И.И., Герман А.Л., Лебедев Л.М., Васильев В.В. Крупные осевые и центробежные насосы. Монтаж, эксплуатация и ремонт. Справочное пособие. М., «Машиностроение», 1977.

УДК 621.313.3

Алгоритм оценки эксплуатационной надежности электрических машин

В.П. Шевчук
Мирнинский политехнический институт (филиал) Северо-Восточного федерального университета, РС (Я), г. Мирный, Россия
E-mail: SheVP@rambler.ru

Добыча алмазоносного сырья в АК «АЛРОСА» в настоящее время связана с большим энергопотреблением, особенно это стало значительно в связи с отработкой запасов трубок "Айхал" и "Мир" подземным способом и отработкой запасов глубоких горизонтов трубки "Удачная". В себестоимости алмазов доля затрат на электроэнергию и содержание оборудования составляет от 12,0 до 16,0%. Одним из перспективных направлений снижения энергозатрат, затрат, связанных с переходом на подземные разработки и повышения эффективности работы алмазодобывающих предприятий является создание условий для безотказного функционирования основного технологического оборудования, производящего разрушение, транспортирование и переработку горной породы. Большую часть этого оборудования составляют электрические машины переменного тока (ЭМ).

Вопросы принятия технических решений по обеспечению надлежащего уровня надежности ЭМ связаны с количественной оценкой их надежности и, тем самым, с разработкой новых методов анализа надежности. Задача оценки надежности заключается в выборе закона распределения, например, наработки до отказа по результатам испытаний или эксплуатации ЭМ и в анализе его параметров с последующей оценкой показателей надежности. При анализе результатов наблюдений выбор закона распределения наработки до отказа на основе исследования физических закономерностей возникновения отказов часто затруднителен или невозможен. Тогда формальные статистические методы становятся основными в решении этой задачи.

В условиях эксплуатации статистические данные по ЭМ, как правило, неполные, а обрабатываемые данные в силу объективных и субъективных причин имеют высокую степень неопределенности и неоднородность. Неоднородность в данном случае заключается в том, что получаемая информация состоит частично из наработок до отказов и частично – из наработок до приостановки наблюдений без отказа электродвигателей. При этом наработка до приостановки наблюдения, как и наработка до отказа, является случайной величиной ввиду того, что в эксплуатационных условиях практически всегда в подконтрольные группы исследования машин попадают электродвигатели различного времени выпуска с подверженной случайным изменениям интенсивностью использования, что неизбежно приводит к случайному рассеиванию наработок. В таких случаях определение характеристик надежности объектов приходится осуществлять на основе специфических выборок. Этот способ носит название метод цензурированных выборок.

Для оценки эксплуатационной надежности ЭМ по малым и цензурированным выборкам в производственном горнодобывающем комплексе АК «АЛРОСА» была разработана математическая модель, которая позволила аппроксимировать получение функции распределения на отказ ЭМ. На практике выведенная методика расчета была реализована в виде соответствующих алгоритмов и программ. Алгоритмическое представление разработанной методики для оценки эксплуатационной надежности ЭМ состоит из последовательности следующих процедур, указанных на рис. 1 и ниже представлен алгоритм расчета показателя надежности:

1). В блоке № 1 организуется заполнение матрицы наработок из двух столбцов и N строк. При заполнении матрицы необходимо так же разместить элементы индикаторного массива в соответствии с типом наработки. Если соответствующая наработка является наработкой объекта до отказа, то ставится 1 (нереализованный момент цензурирования). Для наработки до приостановки наблюдения (цензурирующей наработке) принимается значение 0.

2). В блоке № 2 определяется выборочная условная плотность распределения в окрестности случайной наработки t_j.

3). В блоке № 3 производится вычисление вспомогательные функции ψ, g для определенных законов распределения (экспоненциальный, Вейбулла нормальный, логарифмически нормальный).

4). В блоке № 4 осуществляется расчет выборочного коэффициента корреляции $\hat{\rho}$ для каждого из законов распределения с учетом применения вспомогательных функций для определенных законов распределения.

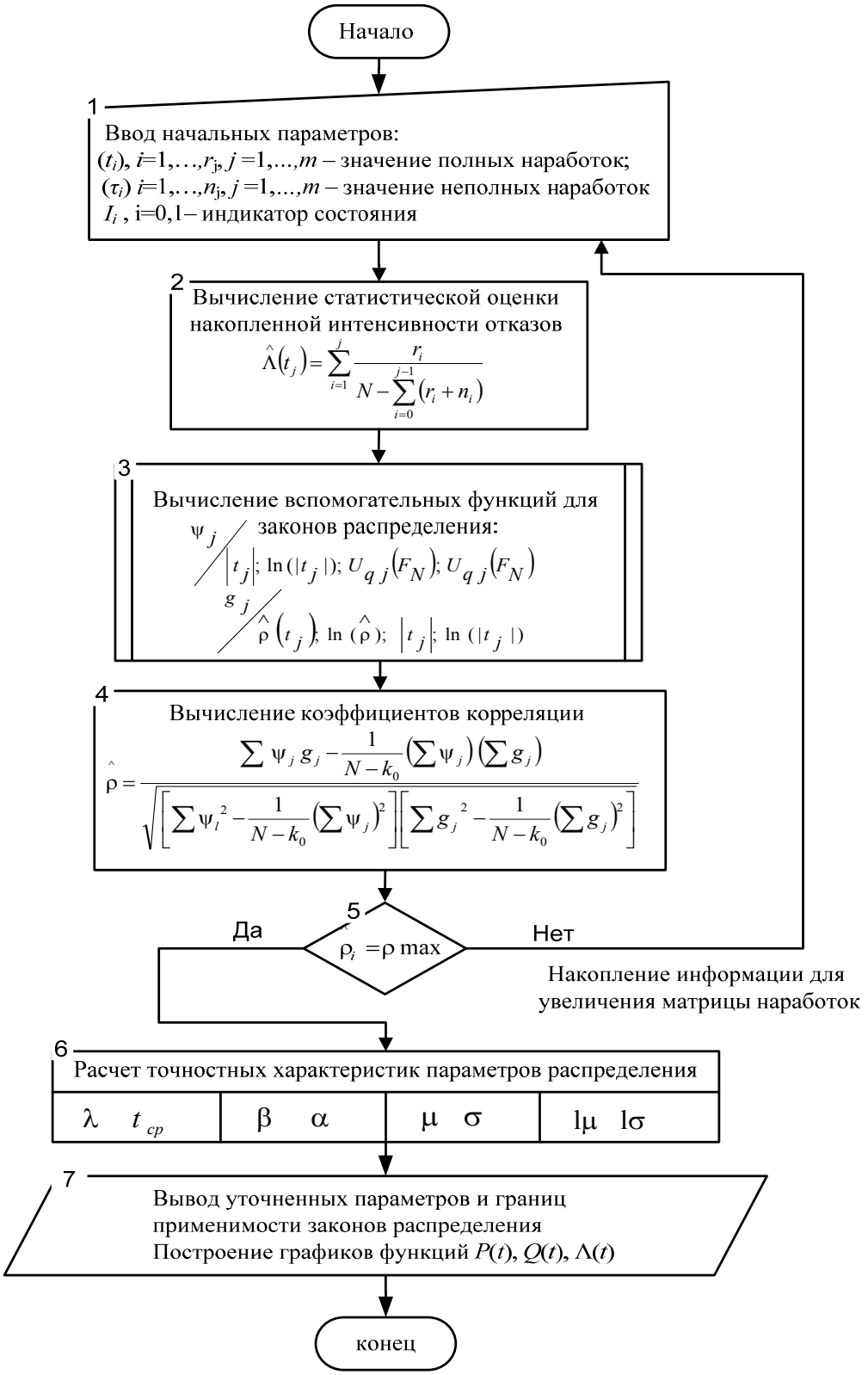


Рис. 1. Блок схема алгоритма расчета показателей надежности

5). Блок № 5 содержит анализ выборочного коэффициента корреляции $\hat{\rho}$. Максимальное значение этого коэффициента соответствует наиболее вероятному распределению наработок до отказа анализируемой группы ЭМ. Достоверным считается результат, когда $\hat{\rho} > 0{,}95$.

При меньших значениях этого коэффициента следует считать исходную матрицу наработок некорректной, т.е. размерность матрицы не позволяет решить задачу оценки показателей надежности. В этом случае требуется произвести накопление информации для увеличения размерности матрицы наработок.

6). В блоке № 6 производится уточнение значений определенного закона и определяются границы применимости соответствующего закона.

7). Блок № 7 служит для вывода точностных характеристик параметров распределения и вывода графика $P(t)$, $Q(t)$, $\Lambda(t)$.

Построенные кривые зависимости позволяют оценить эффективность эксплуатации ЭМ, правильно организовать график плановых и капитальных ремонтов, а также обеспечить эффективность технологического процесса добычи алмазоносного сырья.

В заключении отметим, что предложенный алгоритм оценки эксплуатационной надежности ЭМ направлен на значительное упрощение задачи оценки показателей надежности. Выполнение расчетов по данной методике позволяет в любой момент времени оперативно исследовать влияние эксплуатационных и конструктивных факторов на показатели надежности объектов и более обоснованно назначать организационно-технические требования по обеспечению показателей надежности в эксплуатации. Решение этой проблемы позволяет снизить эксплуатационные затраты предприятия.

УДК 621.313.3

Применение системных принципов в принятии решений, направленных на обеспечение эффективной эксплуатации и обслуживания электрических машин

В.П. Шевчук

Мирнинский политехнический институт (филиал) Северо-Восточного федерального университета, РС (Я), г. Мирный, Россия

E-mail: SheVP@rambler.ru

Представлены методологические предпосылки, позволяющие оценить эксплуатационную надежность электрических машин с точки зрения системного анализа. Рассмотрена неопределенность информационных данных, возникающих при эксплуатации электрических машин. Произведена декомпозиция цели для эффективной эксплуатации и обслуживания электрических машин, которая отражена в виде «дерева цели». Полученные результаты могут быть использованы в качестве исходных данных для постановки и решения ряда задач управления эксплуатационной надежностью электрических машин.

Под надежностью электрических машин (ЭМ) понимают ее способность безотказно работать с неизменными характеристиками в течение заданного промежутка времени и при определенных условиях применения [1]. Для обеспечения надежности необходим ряд мероприятий, позволяющих более эффективно продлить срок службы ЭМ. Данная задача характеризуется многими переплетающимися отношениями и для ее решения необходимо осуществление системного анализа (СА) [2–5] по оценке надежности ЭМ. Рассмотрим данную проблему на примере горно-обогатительного комплекса в алмазодобывающей отрасли и определим исходные позиции и критерии, являющиеся принципиальным подходом к оценке надежности электрических машин. Для решения производственных задач возможен поиск оптимального варианта режима функционирования ЭМ, т. е. нахождение максимума или минимума целевой функции $F(x)$ (например, максимума энергосбережения, минимума затрат при выполнении ремонтных работ, максимума надежности и т. п.):

$$F(x) \to \max,\ x \in G, \qquad (1)$$

где x – элемент некоторого нормируемого пространства G, определяемого природой модели, $G \subset E$, где E – множество, которое может иметь любой сложности природу, определяемую структурой модели и особенностями исследуемой системы.

Основной реальной проблемной ситуацией является обеспечение надежности ЭМ при эксплуатации. Однако, данная формулировка проблемы является лишь исходным пунктом для СА. Первопричина этого в том, что проблемосодержащая система не является ни изолированной, ни монолитной [4]. Она связана с другими системами, входит как часть в некоторую надсистему и одновременно сама состоит из частей, подсистем, в различной степени причастных к данной проблеме. В соответствии с методологией СА необходимо выделить элементы и сформулировать конкретные целевые требования к подсистемам (функциональные, технические, экономические, организационные), которые оказывают ключевое влияние на надежность ЭМ.

Данная работа основывается на системе эффективной эксплуатации и обслуживания (ЭЭиО) ЭМ, в рамках которой обеспечивается контроль работоспособности и диагностика отказов, назначение времени проведения проверок исправности функционирования, проведение профилактического обслуживания, выбор оптимального числа запасных изделий. Любое оборудование в процессе работы изнашивается, устаревает и, соответственно, нуждается в организации контроля над исправностью его функционирования, а также в проведении ремонтных, восстановительных работ. Под техническим обслуживанием систем понимается совокупность мероприятий, которые служат для поддержания и восстановления рабочих свойств систем. Данные мероприятия включают: текущее обслуживание, контроль работоспособности и диагностику отказов и ремонтно-восстановительные работы.

На производстве при эксплуатации ЭМ об их состоянии можно узнать только с помощью контроля. Контрольные проверки являются неотъемлемой частью мероприятий по поддержанию и восстановлению работоспособности. Поскольку отказ системы приводит к экономическим потерям, а контроль также сопряжен с затратами, то возникает задача оптимального планирования проверок с точки зрения общих затрат. Таким образом, следует определить сроки проведения контрольных проверок по обнаружению неисправностей, при которых суммарные затраты на проведение контроля и потери от простоя оборудования из-за несвоевременного обнаружения и замены вышедших из строя элементов минимизируются.

Ремонтно-восстановительные мероприятия – более масштабные по своему содержанию работы. Они связаны с проведением комплексной проверки работоспособности ЭМ, заменой отказавших или достигших установленного ресурса элементов, регулировкой отдельных параметров и прочими работами. При планировании профилактических и восстановительных мероприятий так же, как и при планировании контрольных проверок, необходимо учитывать, что несвоевременное проведение профилактических работ может привести к отказам ЭМ и, как следствие, к материальным потерям. Необоснованно частое проведение профилактических работ снижает эффективность функционирования роторного оборудования, что в свою очередь сопряжено с определенными материальными издержками. Следовательно, в данном случае также имеет место оптимизационная задача: определить сроки проведения профилактических работ и замены оборудования, при которых суммарные ожидаемые затраты по ремонту и замене, а также потери, связанные с ухудшением технологических характеристик работы оборудования ввиду его старения, минимизируются на всем интервале эксплуатации системы. Кроме этого, существует еще одна задача, относящаяся к организации обслуживания ЭМ – расчет и обеспечение запасными частями или элементами. Очень важно определить необходимое количество запасных частей и элементов ЭМ для того, чтобы быть уверенным в том, что система с вероятностью $P(t)$ будет бесперебойно функционировать в течение определенного времени.

Перечисленные мероприятия составляют последовательность этапов, реализация которых позволяет осуществить ЭЭиО ЭМ. Обобщенными элементами системы для производственного горнодобывающего комплекса являются следующие подсистемы: эксплуатация, ремонт, техническая диагностика и эксплуатационная надежность. Основными функциями эксплуатационной надежности в системе ЭЭиО ЭМ являются организация и ведение наблюдения за эксплуатационными параметрами ЭМ и ее элементов, обработка информации с целью определения параметров модели, формирование модели, решение оптимизационных задач, принятие решений и внедрение их в практику управления эксплуатацией ЭМ. К системе организации эксплуатации и обслуживания ЭМ необходимо применять вероятностные модели [1], так как в качестве управляющего параметра в данных задачах используется наработка объектов до отказа, а это, как известно, величина случайная. Поэтому при построении моделей такого типа необходимо проводить значительную работу по сбору информации об эксплуатации ЭМ, о наработках до отказа, времени восстановления их работоспособности и стратегиях обслуживания.

Для принятия оптимальных решений, позволяющих успешно управлять системой ЭЭиО ЭМ как в технологической группе, так и в общей системе добычи и переработки алмазоносного сырья, необходима информация, характеризующая сам процесс эксплуатации (например, о показателях надежности – безотказности, долговечности, ремонтопригодности и др.). Отсутствие информации не позволяет использовать результаты теоретических наработок для рациональной организации процесса эксплуатации. Наиболее полную информацию для проведения расчетов, выполняемых с максимальным отражением условий эксплуатаций, можно получить посредством сбора данных об отказах и разрушениях деталей.

Существующая система сбора и обработки эксплуатационных данных для текущего анализа надежности ЭМ в алмазодобывающей отрасли лишь частично удовлетворяет требованиям

диагностического контроля. Это объясняется тем, что слабо налажена аварийная статистика (статистика по отказам) по ЭМ, затруднено получение информации по дефектам, не приведших к отказу и выявленных при плановых ремонтах, не фиксируется время их ремонта, время нахождения в ЗИПе и время установки. Кроме этого, по субъективным и объективным причинам нередки случаи, когда отказ оборудования нигде не фиксируется. При исследовании систем и дальнейшем принятии решений по формализации проблемы имеет место неопределённость информации, соответственно, принятие решений осуществляется в интервале неопределённость – риск – определённость при постепенном снижении уровня неопределённости. Под уровнем неопределенности понимается показатель, характеризующий оставшуюся неопределённость после того, как вся существующая информация будет принята во внимание. Таким образом, уровень неопределённости выражается вероятностью, приписываемой исходам события, и имеет место тогда, когда нужно произвести выбор из совокупности возможных исходов. Формально уровень неопределённости случайного объекта A с конечным множеством возможных состояний $A_1,\ldots, A_n$ с соответствующими вероятностями $p_1, p_2,\ldots, p_i,\ldots, p_n$ определится как [2, 3]:

$$H(A) = H(\{p_i\}) = -\sum_{k=1}^{n} p_i \log p_i , \qquad (2)$$

который называют энтропией случайного объекта A (или распределения $\{p_i\}$). Для простого события, которое оценивается двумя несовместимыми событиями p, $q = 1 - p$ в случае неравенства исходов $p = q = 1/2$, $H(A)$ приобретает максимальное значение. При выборе экстремального по энтропии распределения гарантируется наибольшая неопределенность, т. е. доминирует вариант с наихудшим случаем при данных условиях.

В СА неопределенность принятия решений обусловлена неполным знанием информации о параметрах, показателях, внешних воздействиях и ограничениях. Существуют различные виды неопределенности:

- неопределенность, вызванная большим временем упреждения в прогнозе технического состояния;
- неопределенность, порожденная недостаточным знанием информации в силу технических, экономических и социальных причин;
- неопределенность из-за субъективности принятия решения или отсутствия опыта, знаний;
- неопределенность, связанная с ограничениями в ситуации принятия решения;
- неопределенность, вызванная поведением внешней среды и др.

В условиях эксплуатации статистические данные по ЭМ, как правило, неполные, а обрабатываемые данные в силу объективных и субъективных причин имеют высокую степень неопределенности. Эксплуатационная информация о надежности ЭМ представляет результат пассивного (неуправляемого) эксперимента. С точки зрения математической статистики, результатом подконтрольной эксплуатации является неоднородная информация. Неоднородность в данном случае заключается в том [6], что получаемая информация состоит частично из наработок до отказов и частично – из наработок до приостановки наблюдений без отказа электродвигателей. При этом наработка до приостановки наблюдения, как и наработка до отказа, является случайной величиной ввиду того, что в эксплуатационных условиях практически всегда в подконтрольные группы исследования машин попадают ЭМ различного времени выпуска с подверженной случайным изменениям интенсивностью использования. В таких случаях определение характеристик надежности объектов приходится осуществлять на основе специфических выборок. Этот способ носит название метод цензурированных выборок (ЦВ). С точки зрения корректного определения характеристик надежности ЭМ при данной неопределенности необходимо учитывать следующие факторы, приводящие к возникновению ЦВ:

- разное время начала и окончания эксплуатации ЭМ;
- снятие с испытаний или с эксплуатации некоторых ЭМ по организационным причинам или из-за отказов составных частей изделий;
- перевод ЭМ из одного режима работы в другой в процессе эксплуатации;
- необходимость оценки надежности до наступления отказов всех испытываемых ЭМ (эта ситуация имеет место в системах оперативного управления качеством и надежностью механизмов);
- периодический контроль ЭМ, приводящий к поступлению информации о надежности в виде интервалов наблюдений (группирование информации).

Возникающие определенные информационные потери при эксплуатации как раз и учитываются «неклассическим» методом обработки (метод ЦВ). Дальнейшим этапом процесса оценки надежности ЭМ является формализация описания системы, т. е. построение ее модели. Наиболее простой формой описания системы является представление ее в виде «черного ящика». Однако, вопросы, касающиеся внутреннего устройства системы, невозможно решить только с помощью модели «черного ящика». Для этого необходимы более развитые и детальные модели. В этих случаях систему представляют в виде структуры путем деления на подсистемы, компоненты, элементы с взаимосвязями, которые могут носить различный характер [2, 4].Структуризация цели, функций и задач при исследовании действующих промышленных предприятий позволяет учесть все возможные факторы и выделить из них наиболее эффективные и значимые.

Выбор наилучшего решения по ЭЭиО ЭМ предполагает, прежде всего, количественное определение цели. Для этого следует осуществить структуризацию (декомпозицию) цели ЭМ до уровня конкретных показателей (критериев). Декомпозиция цели по эффективной эксплуатации ЭМ может быть представлена в виде «дерева цели» (рисунок). Здесь выделены уровни подсистем: ремонт, эксплуатация, техническая диагностика, эксплуатационная надежность. Далее детализация осуществляется по каждой подсистеме, в которой указываются наиболее вероятные критерии, влияющие на эксплуатационную эффективность ЭМ:

Подсистема ремонта: f_1 – уровень качества ремонта; f_2 – заводской дефект; f_3 – неправильный выбор материалов при ремонте; f_4 – неудачное конструктивное решение и несовершенство технологии ремонта; f_5 – качество входного и выходного контроля ЭМ; f_6 – уровень квалификации ремонтного персонала; f_7 – нарушение правил гигиены труда; f_8 – неправильный инструктаж ремонтного персонала.

Подсистема эксплуатации: f_9 – уровень квалификации эксплуатационного персонала; f_{10} – неправильный инструктаж эксплуатационного персонала; f_{11} – нарушение правил гигиены труда; f_{12} – условия хранения и транспортирования; f_{13} – условия эксплуатации и работы; f_{14} – применение соответствующего типа электрических защит; f_5 – неправильный выбор двигателя; f_{16} – обеспечение проверок срабатывания и возврата защиты в исходное состояние; f_{17} – отсутствие заземленности корпусов ЭМ; f_{18} – необеспечение электрических и механических блокировок; f_{19} – необеспечение взрывозащищенности; f_{20} – достаточность качества организации работ по разработке и внедрению мероприятий, направленных на устранение дефекта; f_{21} – качество электроэнергии; f_{22} – качество поставляемых деталей, сборочных единиц и комплектующих изделий; f_{23} – доля работающего оборудования; f_{24} – время наработки оборудования; f_{25} – коэффициент загрузки оборудования; f_{26}– коэффициент сменности оборудования.

Подсистема диагностики: f_{27} – уровень и полнота сбора диагностической информации; f_{28} – контролепригодность оборудования; f_{29} – уровень квалификации специалиста по диагностике; f_{30} – качество диагностики исправного состояния, правильного функционирования, работоспособного состояния; f_{31} – досрочные выводы в ремонт вследствие ложных диагнозов; f_{32} – качество прогнозирования технического состояния и ресурса; f_{33} – допуск к дальнейшей эксплуатации некоторой части ненадежного оборудования; f_{34} – необходимость принятия компромиссных решений при установлении границ (норм) в условиях недостаточно четкой и полной оценки альтернативных факторов и их последствий; f_{35} – критерий экономической неэффективности диагностики (при малом парке эксплуатируемых машин); f_{36} – проведение сложных и трудоемких исследований для разработки методик и средств диагностирования конкретных машин по конкретному виду дефекта при неполном представлении о его причинах и условиях возникновения, а также факторах, влияющих на его развитие; f_{37} – недостаточность информационного базиса при постановке задач диагностики и подготовке диагностических заключений; f_{38} – техническая невозможность проведения диагностирования в объеме, дающем полную информацию.

Подсистема эксплуатационной надежности: f_{39} – состав и количество дополнительных варьируемых величин и показателей, связанных с надежностью; f_{40} – ошибки при расчете оценки надежности; f_{41} – нормирование показателей надежности и определение экономического эффекта; f_{42} – критерии оценки функциональных последствий отказа: вынужденный простой; необходимость затрат на проведение ремонта; вынужденный простой и необходимость затрат на проведение ремонта.

Безусловно, выделенная система критериев не является полной и отражающей все потребности при качественной и эффективной эксплуатации ЭМ, но она позволяет показать структуру цели. Основной особенностью выделенной системы критериев $\{f_i\}_{42}$ является их противоречивость и взаимосвязанность. Так, выбор метода диагностики в конкретном случае

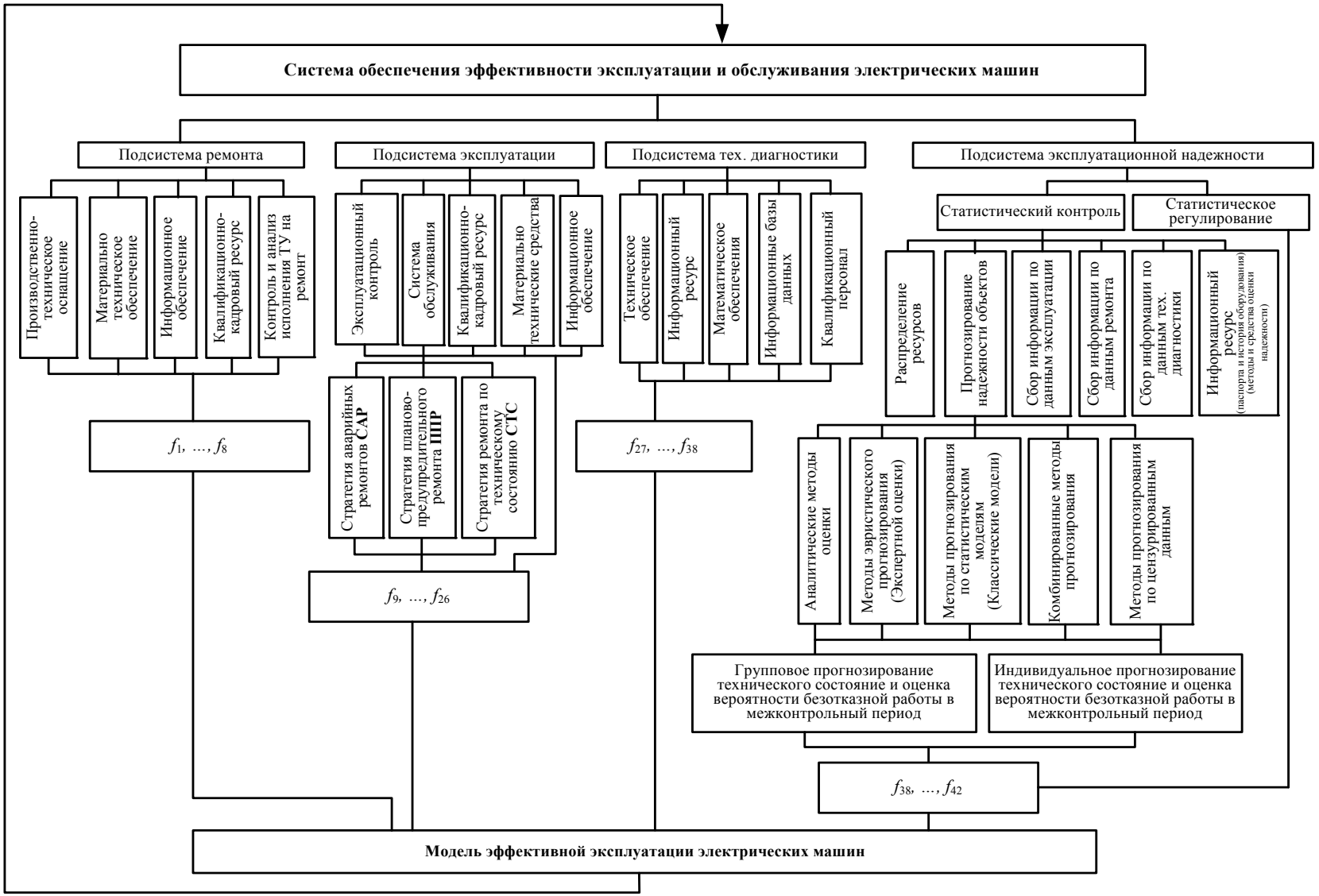


Рис. 1. Дерево цели по эффективной эксплуатации и обслуживанию электрических машин

определяется не столько конструкцией машины, которую нужно обследовать, сколько, главным образом, зависит от величины затрат, которые может позволить себе владелец оборудования, и глубины анализа результатов. Экономия трудовых ресурсов, увеличение потока информации при диагностировании возможно вследствие автоматизации производственных процессов, т. е. внедрение автоматизированных систем контроля и диагностики, что в свою очередь требует дополнительных расходов на реализацию данного проекта. В аварийных ситуациях определяющим фактором при диагностике ЭМ является скорость постановки диагноза и принятия решения, и при этих обстоятельствах возникают новые критерии, влияющие на оценку надежности (вероятность восстановления; гамма-процентное время восстановления; интенсивность восстановления; средняя трудоемкость восстановления).

Включение в структурную схему подсистемы надежности обеспечивает координацию действий элементов подсистем (ремонта, эксплуатации, технической диагностики) в ходе их функционирований и включает учет, анализ, прогнозирование, регулирование, организацию и нормирование. Выбор метода прогнозирования по оценке надежности обосновывается точностью и достоверностью полученных данных, требованиями точности и достоверности прогноза.

По используемым статистическим данным парка эксплуатируемых машин и результатам диагностирования проводят коррекцию критериев оценки состояний и их диагностических признаков, т. е. реализуют обратную связь на основе диагностирования парка машин. Оценка технического состояния ЭМ после ремонта и результаты статистического анализа причин возникновения отказов не только выявляют недобросовестных ремонтников, но и совершенствуютмастерство добросовестных. Таким образом, решение по эффективной эксплуатации должно всегда приниматься на основе выбора, который может быть критериальным (как в рассмотренном случае), волевым (осознанным) и случайным (интуитивным).

Дальнейшую детализацию можно осуществлять по отдельным технологическим операциям или разделении парка машин по степени их надежности и выделении группы критического (с точки зрения обеспечения технологического режима предприятия) оборудования. Для производственных функций горнорудного производства выделяют следующие операции: добыча, транспортировка, переработка, обогащение. Добыча осуществляется с применением подземного горнопроходческого и наземного оборудования, работающего в карьерах и на драгах. Транспортировка осуществляется с помощью горной погрузодоставочной техники, конвейеров, подъемных установок, самосвалов. Технологический процесс переработки и обогащения полезных ископаемых представляет собой цепочку, в которой задействованы агрегаты: мельницы, дробилки, насосы, вентиляторы и др. Проведение систематизации по отдельным технологическим операциям позволяет устанавливать параметрическую оценку надежности для данного оборудования с отысканием целевой функции $F(x)$ в (1), уменьшением размерности вектора x и со снижением сложности структуры множества G.

В заключение необходимо отметить, что применение системных принципов использование СА позволило представить эксплуатационную надежность ЭМ как управляемый информационный процесс последовательного снятия неопределенности в целенаправленном поиске оптимального пути обеспечения ЭЭиО ЭМ. Формирование цели СА основывается на комплексном подходе каждой проблемы, которая состоит не только в разнообразии стратегий развития системы в будущем, но и в уникальности каждой из них. В рамках такой методологии, рассматривающей в полном единстве систему ЭЭиО ЭМ, может быть обеспечена надежность ЭМ на этапе эксплуатации.

На основе СА проведена структуризация цели по обеспечению надежности ЭМ при исследовании действующих промышленных предприятий алмазодобывающей отрасли, которая может быть представлена в виде «дерева цели», позволяющая учесть все возможные факторы и выделить из них наиболее важные критерии, которые оказывают влияние на эффективность эксплуатации ЭМ. Данная работа позволяет обосновать следующие предложения:

- исключение внеплановых остановок (внезапных отказов) оборудования при достижении максимально длительного срока службы дорогостоящего оборудования;
- постоянное наличие (предоставление) информации о состоянии оборудования, позволяющее судить о состоянии общей производительности, а также прогнозирование и планирование потребности в необходимом обслуживании;
- обеспечение равномерной прогнозируемой и обоснованной загрузки ремонтного персонала, совместное планирование графиков и объемов обслуживания ремонтными и технологическими службами;

- снижение эксплуатационных затрат предприятия, увеличение прибыли, повышение безопасности труда, качества продукции и сокращение отходов.

Список литературы:

1. Животкевич И.Н., Смирнов А.П. Надежность технических изделий. – М.: Олита, 2003. – 472 с.
2. Антонов А.В. Системный анализ. – М.: Высшая школа, 2006. – 454 с.
3. Варжапетян А.Г., Глущенко В.В, Глущенко П.В Системность процессов создания и диагностики технических структур. – СПб.: Политехника, 2004. – 186 с.
4. Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П. Основы системного анализа. – Томск: Изд-во НТЛ, 2001. – 396 с.
5. Спицнадель В.Н. Основы системного анализа. – СПб.: Изд. дом «Бизнес-пресса», 2000. – 326 с.
6. Муравлев О.П., Шевчук В.П., Гусев В.В. Информационное обеспечение для оценки надежности электрических машин // Электроэнергия: от получения и распределения до эффективного использования: Матер. Всеросс. научно-техн. конф. – 12–14 мая 2008г. – Томск: Изд-во Томского политехн. ун-та, 2008. – С. 166–168.

УДК 621.317.785

Учет реактивной энергии в сетях с нелинейными нагрузками

Я.Э. Шклярский, В.А. Кузнецов

Санкт-Петербургский Государственный Горный Университет, г. Санкт-Петербург, Россия

E-mail: js-10@mail.ru, russelman@mail.ru

В работе представлены результаты теоретического исследования влияния нелинейных нагрузок на показания счетчиков реактивной энергии. Показано, что теоретические исследования значительно расширяют представления о влиянии нелинейных нагрузок на работу электросчетчиков, по сравнению с опытными исследованиями. Выявлено, что относительная погрешность показаний может достигать 6,36%.

Все промышленные предприятия, как на территории нашей страны, так и за ее пределами ведут учет активной и реактивной энергии, потребляемой из сети.

До недавнего времени для учета электроэнергии широко применялись электродинамические счетчики. На смену им пришли электронные, осуществляющие учет электроэнергии посредством преобразования и расчета входных параметров.

Все типы электронных счетчиков имеют схожий алгоритм расчета «рис.1.». Главное же отличие одного типа счетчика от другого заключается в математическом выражении «расчетная формула» заложенном в микропроцессор.

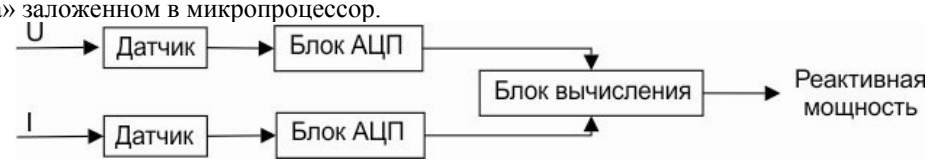


Рис. 1. Блок-схема, отображающая процесс измерения реактивной энергии путём аналого-цифрового преобразования величин напряжения и тока и последующей реализации математических формул реактивной мощности и энергии.

Необходимо отметить, что при линейной нагрузке результаты измерений для разных типов счетчиков схожи. Однако, при появлении нелинейных нагрузок в системе электроснабжения предприятия, разные типы счетчиков будут показывать различные результаты при одних и тех же рабочих условиях. Это в свою очередь может привести к завышенной оплате предприятием за электроэнергию.

По данной теме существует ряд публикаций, основанных на экспериментальных исследованиях.[1,2,3]

Для получения наиболее полной картины, отображающей характер изменения измерений при наличии в сети нелинейной нагрузки, были проведены теоретические исследования для трех наиболее распространенных типов электронных счетчиков реактивной энергии.

В качестве исходных данных для расчета приняты результаты экспериментального исследования сети с нелинейной нагрузкой «частотно-управляемый электропривод», поведенного авторами совместно со специалистами ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт судовой электротехники и технологии».

Математические выражения для расчета реактивной мощности первым, вторым и третьем типом счетчиков представлены соответственно в формулах «1», «2», «3».

$$Q = \frac{1}{T}\int_0^T u(t)\cdot i\left(t+\frac{T}{4}\right)dt = \frac{1}{T}\int_0^T \{\left[U_1\sin(\omega\cdot t+\phi_1)+U_2\sin(2\cdot\omega\cdot t+\phi_2)+...\right]\cdot$$
$$\cdot\left[I_1\sin(\omega\cdot t+90^\circ)+I_2\sin(2\cdot\omega\cdot t+180^\circ)+I_3\sin(3\cdot\omega\cdot t+270^\circ)+...\right]\} = \quad (1)$$
$$= U_1I_1\sin\phi_1 - U_2I_2\cos\phi_2 - U_3I_3\sin\phi_3 + U_4I_4\sin\phi_4 = Q_1 - P_2 - Q_3 + P_4 + ...,$$

где *u(t), i(t)* – мгновенные значения напряжения и тока; *T* – период первой гармоники; U_i, I_i – амплитудные значения напряжения и тока для *i*-той гармоники; ω – частота первой гармоники; *t*-текущее время; Q_k, P_j – реактивная и активная мощности, соответственно на *k*-той и *j*-ой гармониках; φ_i – разность фаз между напряжением и током на *i*-той гармонике.

В этом случае производиться сдвиг времени на четверть периода для тока – $\left(i\left(t+\frac{T}{4}\right)\right)$.

$$Q = \frac{1}{T}\int_0^T \omega\cdot(-\int u(t)\cdot i(t)dt = \frac{1}{T}\int_0^T \omega\cdot\int(-U_1\sin\omega t - U_2\sin 2\omega t - U_3\sin 3\omega t - ...)\cdot$$
$$\cdot(I_1\sin(\omega t+\phi_1)+I_2\sin(2\omega t+\phi_2)+I_3\sin(3\omega t+\phi_3)+...)\cdot dt = \quad (2)$$
$$= U_1I_1\sin\phi_1 + \frac{U_2I_2\cos\phi_2}{2} + ... = Q_1 + \frac{Q_2}{2} + \frac{Q_3}{3} + ... \quad .$$

$$Q = \left\{\sum_0^T\left[\frac{nT}{\omega}\int_0^T i_n(t)\cdot\left(\int u_n(\tau)dt\right)dt\right]^2\right\}^{\frac{1}{2}} = \left\{\sum_1^\infty\left[\frac{nT}{\omega}\int_0^T I_n(\omega t)\cdot\left(\int U_n(\omega t+\phi)dt\right)dt\right]^2\right\}^{\frac{1}{2}} = \quad (3)$$
$$= \left(Q_1^2 + Q_2^2 + Q_3^2 + ...\right)^{\frac{1}{2}} \quad ,$$

где *n* – номер соответствующей гармоники тока и напряжения.

По результатам исследования были вычислены погрешности показаний для трех типов счетчиков.

Погрешность каждого из счетчиков рассчитывалась относительно минимального значения из показаний трех типов счетчиков по выражению «4».

$$\delta = \frac{\Delta x}{x} = \frac{x_i - x_j}{x_j}, \quad (4)$$

где x_i – большее из сравниваемых показаний, x_j – меньшее из сравниваемых показаний.

На основе анализа полученных результатов были сделаны следующие выводы:

– наличие нелинейных нагрузок в системе электроснабжения предприятия значительно сказывается на показаниях счетчиков реактивной энергии;

– определено, что относительная погрешность измерения может значительно превышать погрешность самого прибора и достигать 6,36%, что является существенным фактором при оплате за электроэнергию;

– определено, что наибольшее влияние на погрешность измерения оказывают амплитуды гармоник «более 6%», а разность фаз приводит к ошибке до 2 %;

– сравнение экспериментальных и теоретических исследований проводимых для реальных условий нагрузки подтвердили схождение тенденции изменения погрешности. Однако теоретические исследования показали, что погрешность может достигать больших значений, чем это было установлено ранее при эксперименте.

Список литературы:

1. Behaviour of reactive energy meters in polluted power systems/ Barbaro P.V., Cataliotti A., Cosentino V., Nuccio S.// XVIII IMECO World congress Metrology for a Sustainable Development September, 17 – 22, 2006, Rio de Janeiro, Brazil
2. A Novel Approach Based on Nonactive Power for the Identification of Disturbing Loads in Power Systems/ Barbaro P.V., Cataliotti A., Cosentino V., Nuccio S.// IEEE Transactions on Power Delivery (2007)Volume: 22, Issue: 3, Pages: 1782-1789.

3. Агунов М.В., Агунов А.В., Вербова Н.М./Новый подход к измерению электрической мощности; Промышленная энергетика №2, 2004г.

УДК 681.5

Синтез нечётких регуляторов для управления энергообеспечением сложного объекта

В.Э. Осипова, Д.А. Яковлев

Забайкальский институт железнодорожного транспорта, г.Чита, Россия

E-mail:Valeri3307@mail.ru

Рассмотрена теория составления модели управления на основе нечеткой логики. Представлен расчет аналитического выражения для определения значения управляющего воздействия при энергообеспечении сложного объекта. Полученные результаты представляют собой синтез нечетких регуляторов, позволяющий определить объем заказа топливно-энергетических ресурсов системы.

В настоящее время наблюдается интенсивное развитие и практическое применение нечетких систем управления и регулирования многих технических объектов, основанные на теории нечеткой логики.

Достоинства нечеткой логики, которые явно проявляются в нечетком управлении[3], заключаются, прежде всего, в том, что нечеткая логика позволяет удачно представить мышление человека, а именно способы принятия решений человеком, и способы моделирования сложных объектов средствами естественного языка.

Актуальность применения систем нечеткого моделирования, путем применения нечетких регуляторов, обусловлена тенденцией увеличения сложности математических моделей реальных систем. Традиционные методы построения моделей не приводят к удовлетворительным результатам, когда исходное описание подлежащей решению проблемы заведомо является неточным и неполным. Стремление получить исчерпывающую информацию для построения математической модели сложной реальной системы часто в принципе невозможно. В этих случаях целесообразно использовать методы специально ориентированные на построение моделей, учитывающих неполноту и неточность исходных данных. Именно в таких ситуациях технология нечеткого моделирования является наиболее конструктивной[2].

Железнодорожный транспорт характеризуется разветвленной структурой энергетического хозяйства. Основными видами потребляемых энергоресурсов являются электрическая энергия, используемая на тягу поездов, эксплуатационные нужды и подсобно-вспомогательную деятельность, дизельное топливо на тягу поездов, тепловая энергия на отопление, горячая и холодная вода, пар, сжатый воздух, используемые на эксплуатационные нужды и подсобно-вспомогательную деятельность. Сложность в описании объектов управления железнодорожного транспорта, а также сложность в получении априорной информации о поведении рассматриваемых систем делает актуальным применение нечеткого управления в сфере железнодорожного транспорта.

Задачей составления модели управления энергообеспечением на основе нечеткой логики Забайкальской Дирекции тепловодоснабжения (Заб.ДТВ), включающей в себя более 126 объектов, разрозненных по территории Забайкальского края, является определение величины потребления энергоресурсов, для обеспечения работы структурных подразделений рассматриваемой сложной системы.

К параметрам рассматриваемой системы относятся: температура окружающего воздуха, температура подачи воды в отопительную систему, качество и расход топлива, взаимосвязанные между собой. В связи с этим, в качестве выходного параметра системы будем рассматривать расход топлива Р, а в качестве входных параметров – температура окружающего воздуха T^{B}, температура подачи воды в отопительную систему $T^{П}$ и качество топлива К.

Основными параметрами цифровых нечетких регуляторов, при которых производятся их синтез и расчет, являются, во-первых, количество и форма функций принадлежности $\mu_i(u)$ лингвистических терм-множеств и, во-вторых, диапазоны изменения входных и выходных лингвистических переменных.

Каждый из рассматриваемых параметров охарактеризуем при помощи трех терм-множеств: 1 - минимальное, 3 - среднее и 2 - максимальное значение параметра. Эти терм-множества описываются на универсальном множестве соответственно тремя функциями принадлежности. Выбор типа функции принадлежности определяется таким образом, чтобы

имелась возможность аналитического представления нечеткого множества в виде некоторой простой математической функции. Для рассматриваемых параметров системы определим треугольный тип функций принадлежности, определяемый по формулам[1]:

$$\mu_1(u) = 1 - 2u \qquad u \in [0,1]$$

$$\mu_2(u) = 2u - 1 \qquad u \in [0,1]$$

$$\mu_3(u) = \begin{cases} 2u & u \in [0,0.5] \\ 2(1-u) & u \in [0.5,1] \end{cases}$$

Критические значения каждого из термов находятся в определенных числовых диапазонах, представляющих собой матрицу:

$$T = \begin{bmatrix} T^{B}_{min} & T^{B}_{sr} & T^{B}_{max} \\ T^{П}_{max} & T^{П}_{sr} & T^{П}_{min} \\ K_{H} & K_{sr} & K_{B} \end{bmatrix} \Leftrightarrow \begin{bmatrix} -38 & -15{,}5 & -7 \\ 70 & 61 & 52 \\ 0 & 5 & 10 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{min} & P_{sr} & P_{max} \end{bmatrix} \Leftrightarrow [7 \;\; 15 \;\; 23]$$

В качестве примера проведем расчет для заданных входных параметров, имеющих следующие числовые значения: T^{B}=-13, $T^{П}$=55, К=4,23.

Пересчет фиксированного значения x_i^* каждой лингвистической переменной x_i в соответствующий элемент $u^* \in [0,1]$ определяется выражением:

$$u_1 = (x_i^* + x_{нi}^*)/(x_{вi}^* + x_{нi}^*) \qquad (1)$$

На основании представленной формулы (1) находим:

$$u_1 = (-13 + 38)/(-7 + 38) = 0{,}806$$

$$u_2 = (55 - 52)/(70 - 52) = 0{,}166$$

$$u_3 = (4{,}23 - 0)/(10 - 0) = 0{,}423$$

Для определения значения управляющего воздействия m^* формируется «результирующая область», ограниченная итоговой функцией принадлежности, которая определяется из системы нечетких логических уравнений:

$$\mu^{mj}(x_1, x_2, x_3) = \mu^{j}(x_1) \wedge \mu^{j}(x_2) \wedge \mu^{j}(x_3) \qquad (2)$$

В соответствии с лингвистическими правилами управления, формализованными системой нечетких логических уравнений (2), координаты линий «отсечений», ограничивающих результирующую фигуру, определяются по формулам:

$$A = \min[\mu_1(u_1), \mu_1(u_2), \mu_1(u_3)]$$

$$B = \min[\mu_2(u_1), \mu_2(u_2), \mu_2(u_3)]$$

$$C = \min[\mu_3(u_1), \mu_3(u_2), \mu_3(u_3)]$$

Основываясь на полученных значениях, построим результирующую область, позволяющую определить конкретное значение управляющего воздействия, для определения величины расхода топлива, необходимой на энергообеспечение любого объекта рассматриваемой системы.

Координаты полученной итоговой зависимости переносим на функции принадлежности выходной переменной управляющего воздействия и производим поиск абсциссы «центра тяжести» результирующей области u_C по формуле:

$$u_C = \frac{\int_0^1 u\mu(u)du}{\int_0^1 \mu(u)du} \qquad (3)$$

Основываясь на представленной формуле (3), с учетом того, что «результирующая область» приняла конфигурацию, где $A \le C \le B$, получим:

$$u_C = \frac{A\int_0^{A'} udu + \int_{A'}^{u_2} 2u^2 du + C\int_{u_2}^{0,5+u_2} udu + \int_{0,5+u_2}^{u_1} (2u-1)udu + B\int_{u_1}^{1} udu}{A\int_0^{A'} du + \int_{A'}^{u_2} 2udu + C\int_{u_2}^{0,5+u_2} du + \int_{0,5+u_2}^{u_1} (2u-1)du + B\int_{u_1}^{1} du}$$

После несложных вычислений, для полученной результирующей области определим, что u_c=0,605, которое преобразуем в значение управляющего воздействия P^*, согласно формулы (1):

$$P^* = 0.605 \cdot (23 - 7) + 7 = 16.68 \text{ т}$$

Графическое представление полученных результатов представлено на рисунке 1.

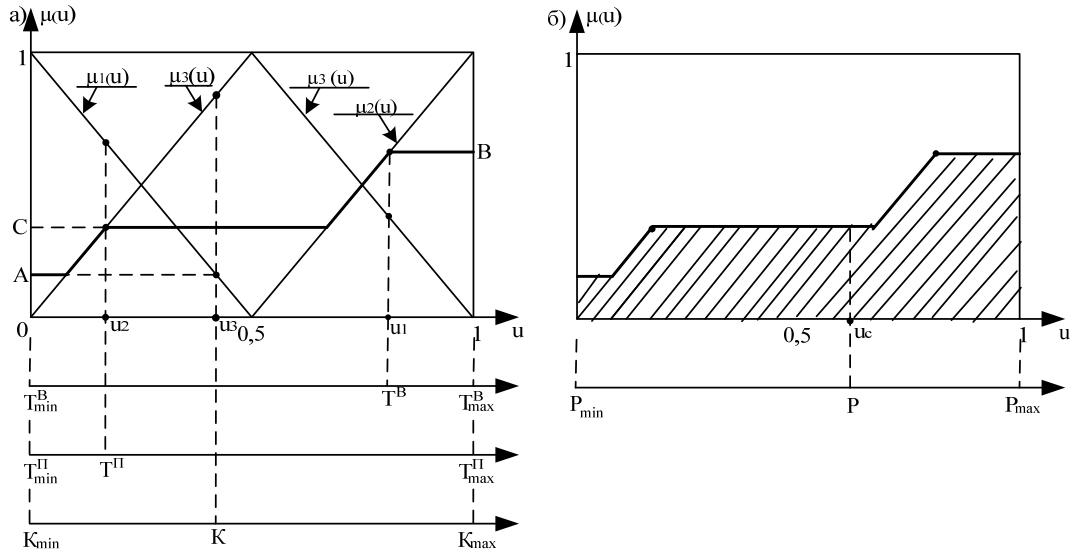


Рис. 1. Итоговая функция принадлежности (а) и результирующая область (б) для расчета управляющего воздействия

Выводы:

1 Рассмотрена теория составления модели управления на основе нечеткой логики системой энергообеспечения сложной системы, применимая для синтеза нечетких регуляторов.

2 Получено аналитическое выражение значения управляющего воздействия для определения величины расхода энергоносителя, необходимого для энергообеспечения любого объекта рассматриваемой системы.

3 Получена результирующая область, позволяющая определить величину топливно-энергетических ресурсов рассматриваемой системы.

Список литературы:

1. Гостев В.И. Проектирование нечетких регуляторов для систем автоматизированного управления.-СПб.:БХВ-Петербург, 2011.-416 с.
2. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH.-СПб.: БХВ-Петербург, 2003.-736 с.
3. Прикладные нечеткие системы: Пер.с япон.под редакц. Т.Тэрано, К.Асаи, М.Сугэно.-М.:Мир, 1993.-368с.

Секция 4 Экология и защита окружающей среды

УДК 628.11

Водные ресурсы Казахстана: характеристика и проблемы

А.Ю. Алейник, О.Б. Назаренко
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия
E-mail: obnaz@mail.ru

Характеристика водных ресурсов. Из-за своего географического положения Республика Казахстан обладает дефицитом водных ресурсов. Большая территория Казахстана относится к бессточным бассейнам внутренних озёр, не имеющих выхода к океану [1]. Атмосферные осадки незначительны, за исключением горных регионов. Объем запасов пресной воды в Казахстане составляет 539 км^3, причем большая часть запасов пресной воды (190 км^3) сосредоточена в озерах.

Интенсивное и нерациональное развитие орошаемого земледелия, а также зарегулирование стока в условиях аридного климата привело к дефициту воды в бассейнах малых и крупных рек, таких как Или, Сырдарья, Ишим и др. При потребности республики в воде в 100 км^3 в год существующая обеспеченность составляет 34,6 км^3. Нехватка и неправильное использование ресурсов пресной воды создают серьезную угрозу устойчивому развитию и охране окружающей среды страны.

В Казахстане более 7 тысяч рек имеющих длину свыше 10 км. Всего же на территории Республики Казахстан находится 39 тысяч постоянных и временных водотоков.

Большинство рек в Казахстане принадлежит к внутренним замкнутым бассейнам Каспийского и Аральского морей, озёр Балхаш и Тенгиз, и только Иртыш, Ишим, Тобол доносят свои воды до Карского моря. Общие водные ресурсы рек составляют 101 км³, из которых 57 км³ формируются на территории Казахстана. Остальной объём поступает из сопредельных государств: России – 8 км³, Китая – 19 км³, Узбекистана – 15 км³, Киргизии – 3 км³.

Территорию Казахстана обычно разделяют на восемь водохозяйственных бассейнов: Арало-Сырдарьинский, Балхаш-Алакольский, Иртышский, Урало-Каспийский, Ишимский, Нура-Сарысуский, Шу-Таласский и Тобол-Тургайский [1]. По территории Казахстана протекает шесть рек с расходом воды от 100 м³/с до 1000 м³/с, семь с расходом от 50 м³/с до 100 м³/с и 40 рек с расходом от 5 м³/с до 50 м³/с.

Качество водных объектов. Качество вод практически всех водных объектов республики, несмотря на продолжающийся спад производства и уменьшения объемов отводимых сточных вод, остается неудовлетворительным. Площади очагов загрязнения подземных вод составляют от нескольких до сотен квадратных километров. В результате ухудшения качества природных вод в республике усиливается проблема обеспечения населения доброкачественной питьевой водой. Это, в свою очередь, приводит к увеличению инфекционной заболеваемости, появлению экологических беженцев и росту социальной напряженности.

Открытые водоемы, вода в которых не соответствует нормам по бактериальному загрязнению, составляют около 8 %, а удельный вес водоемов в местах водопользования несоответствующих нормативам по химическим показателям в различных областях составляет от 15 до 43 %.

Качественное состояние подземных вод остается неудовлетворительным. Выявлено более 3 тыс. очагов загрязнения подземных вод, площади которых составляют от нескольких до сотен квадратных километров. Наибольшее число очагов загрязнения подземных вод сформированы в пределах Актюбинской, Восточно-Казахстанской, Жамбылской, Павлодарской, Талдыкорганской областей, где преимущественно расположены крупные предприятия химической, нефтеперерабатывающей, фосфорной промышленности, цветной металлургии. Уровни загрязнения подземных вод довольно высокие и составляют десятки ПДК, достигая на отдельных участках 100–180 ПДК.

Анализ информации свидетельствует о сохранении напряженной ситуации в бассейне р. Иртыш. По всему течению реки показатель качества воды оценивается как «очень грязная». В казахстанской части бассейна имеется несколько очагов экологической напряженности.

К числу рек с высокой степенью загрязненности относятся маловодные реки Нура и Шеру-бай-Нура, которые в настоящее время перешли в категорию объектов «вторичного загрязнения» ртутью.

Проблема Аральского моря является одной из важнейших экологических проблем современности [1]. Аральское море – бывшее бессточное солёное озеро в Средней Азии, на границе Казахстана и Узбекистана. Еще не так давно Аральское море было четвертым по величине озером в мире, занимая около 68 тыс. км²; его длина составляла 426 км, ширина – 284 км, наибольшая глубина – 68 м. Море славилось богатейшими природными запасами, а зона Приаралья считалась процветающей и биологически богатой природной средой. Слово «арал» в переводе с тюркского языка означает «остров». Древние народы считали Арал спасительным островом жизни и благополучия среди пустынных горячих песков Каракумов и Кызылкумов.

С начала систематических наблюдений (XIX век) и до середины XX века уровень Арала практически не менялся. В 1930-е гг. началось масштабное строительство оросительных каналов в Средней Азии, которое особенно интенсифицировалось в начале 1960-х гг. С 1960-х гг. море стало мелеть из-за того, что вода рек, впадавших в него, во всё возрастающих объёмах отводилась на орошение. С 1960 по 1990 гг. площадь орошаемых земель в Центральной Азии увеличилась с 4,5 млн. до 7 млн. га. Потребности народного хозяйства региона в воде возросли с 60 до 120 км³ в год, из которых 90 % приходится на орошение, при этом вода, отводимая для орошения, нередко использовалась неэффективно. Начиная с 1961 г., уровень моря понижался с возрастающей скоростью от 20 до 80–90 см/год.

В 1989 г. море распалось на два изолированных водоёма – Северное (Малое) и Южное (Большое) Аральское море. На 2003 г. площадь поверхности Аральского моря составляла около четверти первоначальной, а объём воды – около 10 %. К началу 2000-х гг. абсолютный уровень воды в море снизился до отметки 31 м, что на 22 м ниже исходного уровня, наблюдавшегося в конце 1950-х гг. Рыбный промысел сохранился только в Малом Арале, а в Большом Арале из-за его высокой засолённости вся рыба погибла. В 2001 г. Южное Аральское море разделилось на западную и восточную части. Остров Возрождения стал полуостровом.

Аральская трагедия вылилась в целую серию негативных последствий – от деградации животного мира до аридизации климата. Лето стало более сухим и жарким, зима – более холодной и продолжительной. Особенно значительно изменился ветровой режим Приаралья с частыми штормовыми явлениями, сопровождаемые выносом огромного количества песка и соли (до 100 млн. т в год) с осушенного дна Аральского моря. В составе соленой пыли преобладают взвешенные частицы в виде аэрозолей с примесью сельскохозяйственных ядохимикатов, удобрений и других вредных компонентов промышленных и бытовых стоков. Эти пыльные бури являются одним из пусковых механизмов опустынивания огромных прилегающих к Аралу территорий. При этом перенос аэрозоля носит трансграничный характер, и вредному воздействию этих явлений подвержены практически все центрально-азиатские страны и Россия.

За счет уменьшения размеров моря, увеличения испарения и поступления дренажно-коллекторных вод значительно возросла соленость воды, которая составила в 1965 г. 9,94 г/л, а в настоящее время около 15 г/л. Это вызвало вымирание многих видов флоры и фауны, приспособленных к меньшей солёности. Большой Арал потерял рыбохозяйственное значение, закрыты порты. До 1970-х гг. в Арале обитали 34 вида рыб, из них более 20 имели промысловое значение. В 1946 г. в Аральском море отловлено 23 тысяч тонн рыбы, в 1980-х этот показатель достигал 60 тысяч тонн. На казахстанской части Арала было 5 рыбозаводов, 1 рыбоконсервный комбинат, 45 рыбоприёмных пунктов, на узбекистанской части (Республика Каракалпакстан) – 5 рыбозаводов, 1 рыбоконсервный комбинат, более 20 рыбоприёмных пунктов.

Имеется ряд негативных последствий для жителей Приаралья: высокий уровень безработицы, высокая детская и материнская смертность вследствие неблагоприятной экологической обстановки.

Большинство специалистов не видят путей по восстановлению уровня всего моря, кроме советского проекта по повороту сибирских рек. В 1990-е гг. решено было спасти хотя бы северную часть моря (Малое море или Малый Арал).

В рамках проекта «Регулирование русла реки Сырдарьи и Северного Аральского моря» (РРССАМ) в 2003–2005 гг. Казахстан построил от полуострова Кокарал до устья Сырдарьи Кокаральскую дамбу с гидротехническим затвором, который позволяет пропускать лишнюю воду для регулирования уровня водоёма, отгородившую Малый Арал от остальной части (Большого Арала). Благодаря этому сток Сырдарьи скапливается в Малом Арале, уровень воды здесь вырос до 42 м, солёность уменьшилась, что позволяет разводить здесь некоторые промысловые сорта

рыб. В 2007 г. улов рыбы в Малом Арале составил 1910 тонн, из них на долю камбалы приходится 640 тонн, остальное – пресноводные виды (сазан, жерех, судак, лещ, сом). Предполагается, что к 2012 г. улов рыбы в Малом Арале достигнет 10 тысяч тонн.

Длина Кокаральской дамбы составляет 17 км, высота 6 м, ширина 300 м. Стоимость работ первой фазы проекта РРССАМ составила 85,79 млн. долларов. Предполагается, что водой будет покрыта территория площадью 870 км^2, и это позволит восстановить флору и фауну Приаралья.

В Аральске ныне функционирует рыбоперерабытывающий комбинат «Камбала Балык». Развивается рыбный промысел и в дельте Сырдарьи. На протоке Сырдарьи – Караозеке построено новое гидротехническое сооружение пропускной способностью более 300 м^3 воды в секунду (Аклакский гидроузел), благодаря чему появилась возможность обводнить озёрные системы, вмещающие в себя более полутора миллиардов кубометров воды. В 2008 г. общая площадь озёр составила более 50 тысяч га (предполагается её увеличение до 80 тысяч га), количество озёр в области увеличилось со 130 до 213.

В рамках реализации второй фазы проекта РРССАМ в 2010–2015 гг. планируется построить плотину с гидроузлом в северной части Малого Арала, отделить залив Сарышыганак и заполнить его водой по специально прорытому каналу из устья Сырдарьи, доведя уровень воды в нём до 46 м. От залива предполагается построить судоходный канал к порту Аральск (ширина канала по дну составит 100 м, длина 23 км). Для обеспечения транспортной связи между Аральском и комплексом сооружений в заливе Сарышыганак проект предусматривает строительство автодороги V категории протяжённостью около 50 км и шириной 8 м параллельно бывшей береговой линии Аральского моря.

Ведётся интенсивная работа по подготовке второго этапа проекта РССАМ-2 – «Регулирование русла реки Сырдарьи и сохранение Северного Аральского моря». В июне 2010 г. состоялось заседание Рабочей группы экспертов-гидротехников, представителей областных административных органов и специалистов Исполкома МФСА в Кызылорде.

Проведение технико-экономических изысканий, мониторинга и оценки результатов первой фазы проекта доказали необходимость наращивания высоты Кокаральской плотины с современной отметки 42 до 48–50 м и осуществления сброса воды в Большой Арал через пролив в западной части Малого Арала. Следовательно, в рамках РССАМ-2 потребуется строительство гидротехнических объектов в заливе Шевченко. По расчетам, в результате реализации данного проекта объём воды в Северном Арале увеличится с 27 до 59 км³. При достижении уровня воды 46 м и выше, море значительно приблизится к городу Аральску, бывшему порту, который в настоящее время находится на расстоянии 40 км от моря. Таким образом, по этому проекту нет необходимости строить плотину, чтобы отделить залив Сарышыганак. Данный способ решает сразу несколько задач: снижается солёность воды в Малом Арале с нынешних 13–16 до 2,5–3 г/л, сокращается испарения воды, улучшается водно-химический баланс по всему морю.

Озеро Балхаш. Подобная экологическая ситуация складывается и в районе Или-Балхашского бассейна [1, 2]. Озеро Балхаш может повторить судьбу Арала. Уже более десятка лет, как это озеро стремительно мелеет. Особенность озера заключается в том, что Балхаш состоит наполовину из пресной воды и наполовину из соленой. Сейчас соленой воды становится все больше, потому что уменьшается объем озера. Причиной является увеличение водозабора из реки Или пользователями, причем основная стокообразующая часть бассейна расположена в КНР. В результате Балхаш стал получать в два раза меньше прежнего объема воды

Основной причиной загрязнения вод озера Балхаш является крупнейший металлургический комбинат. На хвостохранилище, которое находятся в 300 метрах от береговой линии Балхаша, складируются твердые отходы производства обогатительной фабрики комбината. Ветрами выдувается и приносится в озеро около 25 тыс. тонн высокообогащенных концентратов. При выпадении осадков оттуда идет смыв, который непосредственно попадает в воды рек, впадающих в Балхаш.

Программа по решению экологических, водных проблем Балхаша 2006–2009 гг. не имела достаточного финансирования, оказалась слишком короткой по срокам и никак не связана с областными и районными программами развития. Отсутствие программного решения вопроса может привести к экологической катастрофе, ведущей к утрате национального природного достояния, аридизации климата, социальной напряженности и экологической миграции населения.

Список литературы:

1. Водные ресурсы Казахстана в новом тысячелетии. Обзор. – Алматы: ПРООН, 2004. – 132 с.
2. Проблемы Аральского моря и Приаралья: Сборник научных трудов. – Ташкент, 2008 г. – 52 с.

Система добровольной сертификации организации работ в области охраны труда как часть общей системы менеджмента организации

Ю.В. Бородин, Н.А. Чулков
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Динамика изменения производственного травматизма и профессиональных заболеваний в России продолжает оставаться в рамках недопустимого риска по сравнению со странами с развитой экономикой, несмотря на значительный рост расходов на предупредительные меры из фонда социального страхования и самих предприятий. Это обстоятельство подталкивает как к реформированию законодательства в области охраны труда, так и системы управления охраной труда с учетом зарубежного опыта.

Требования к системам управления охраной труда (СУОТ) разработаны Международной Организацией Труда (МОТ) в соответствии с общепризнанными международными принципами на основе широкомасштабного подхода, которые определены входящими в МОТ представителями трех сторон социально-трудовых отношений и других заинтересованных организаций. Этот трехсторонний подход предполагает силу, гибкость и надлежащую основу для развития стабильной культуры безопасности труда в организации. Добровольно принимаемые требования к системам управления охраной труда отражают ценности и средства МОТ, позволяющие обеспечивать безопасность и здоровье работников.

Положительное воздействие внедрения систем управления охраной труда на уровне организации, выражающееся как в снижении воздействия опасных и вредных производственных факторов и рисков, так и в повышении производительности, в настоящее время признано правительствами, работодателями и работниками.

Существующая национальная система управления охраной труда – это целевая подсистема в системе управления предприятием любой отрасли промышленности, включающая комплекс взаимосвязанных стандартов и руководящих документов по охране труда, направленных на обеспечение безопасности и улучшения условий труда.

Согласно статье 212 ТК РФ работодатель обязан обеспечить проведение аттестации рабочих мест по условиям труда с последующей сертификацией организации работ по охране труда.

На основании постановления Минтруда № 28 от 24 апреля 2002 г. была введена «Система сертификации работ по охране труда в организациях» (ССОТ). В настоящее время ССОТ отменена. С принятием в 2002 году Федерального закона «О техническом регулировании» создаются системы добровольной сертификации в области охраны труда. В соответствии с Положением о системе добровольной сертификации работ в области охраны труда (ДССОТ) у работодателя объектами сертификации является организация работ по охране труда, в том числе:

- деятельность работодателя по обеспечению безопасных условий труда в организации;
- деятельность службы охраны труда;
- работы по проведению аттестации рабочих мест по условиям труда;
- организация и проведение инструктажа по охране труда работников и проверки их знаний требований охраны труда.

В 1999 г. была принята первая версия Международного стандарта OHSAS 18000 «Системы менеджмента охраны труда и производственной безопасности» (Occupational Health and Safety Assessment Series), ориентированного на создание системы управления охраной труда и техникой безопасности организации, как составной части общей системы менеджмента организации. В действительности серия стандартов OHSAS 18000 объединяет два стандарта:

- OHSAS 18001:2007 – Система менеджмента профессиональной безопасности и здоровья. Требования.
- OHSAS 18002:2008 – Руководство по применению OHSAS 18001.

Постановлением Госстандарта России № 221-ст от 29.05.2002г. принят и введен в действие ГОСТ Р 12.0.006-2002 г. «Общие требования к системе управления охраной труда в организации». Сейчас данный стандарт заменен на ГОСТ Р 12.0.230-2007.

Система управления охраной труда – набор взаимосвязанных или взаимодействующих между собой элементов, устанавливающих политику и цели по охране труда и процедуры по достижению этих целей, который включает в себя:

- организационную структуру;
- деятельность по планированию;
- распределение ответственности;

- процедуры, процессы и ресурсы для разработки, внедрения, достижения целей, анализа результативности политики и мероприятий по охране труда.

Национальный стандарт ГОСТ Р 12.0.230-2007 гармонизирован со стандартом OHSAS-18001. Требования стандарта применимы к организациям всех типов, независимо от конкретного сектора экономики или отрасли промышленности.

Обеспечение охраны труда в организации, включая соответствие условий труда требованиям охране труда, установленным национальными законами и иными нормативными правовыми актами, входит в обязанности работодателей. В связи с этим работодатель должен продемонстрировать свои руководство и заинтересованность в деятельности по обеспечению охраной труда в организации и организовать создание системы управления охраной труда.

Основные элементы системы управления охраной труда – политика, организация, планирование и применение, оценка и действия по совершенствованию представлены на рис. 1.

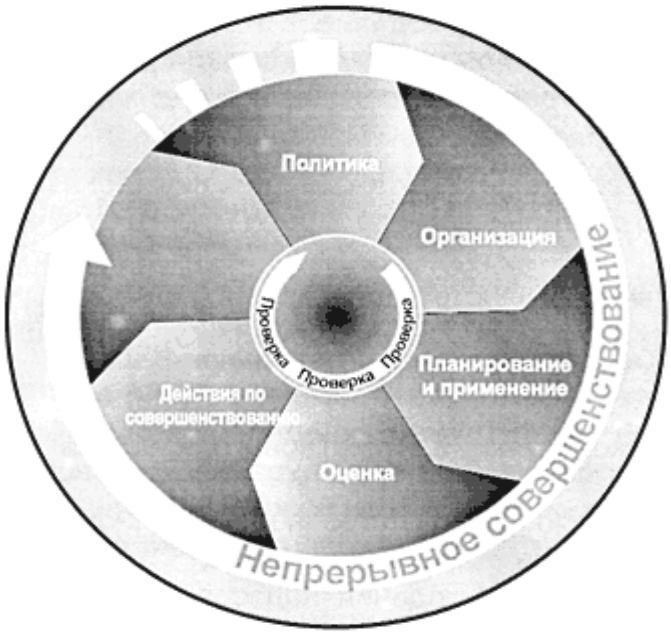


Рис. 1. Основные элементы системы управления охраной труда

На уровне организации стандарт предназначен:

а) служить руководящими указаниями по объединению элементов системы управления охраной труда в организации в качестве составной части общей политики и системы управления;

б) способствовать активиза-ции всех работников организации, в том числе работодателей, собствен-ников, управленческого персонала, работников и их представителей с целью применения современных принципов и методов управления охраной труда, направленных на непрерывное совершенствование деятельности по охране труда.

Система добровольной сертификации организации работ в области охраны труда (ДССОТ) может рассматриваться как подсистема системы менеджмента предприятия в соответствии с требованиями OHSAS 18001 и ГОСТ Р 12.0.230-2007. Поэтому видится целесообразным на переходном этапе к системе управления охраной труда в организации оставить обязательной сертификацию организации работ в области охраны труда в соответствии со статьей 212 ТК, а в дальнейшем законодательно предусмотреть поэтапный двухступенчатый уровень сертификации систем управления охраной труда в организации. Первая ступень – сертификация организации работ в области охраны труда идеально подходит для предприятий малого бизнеса. Вторая ступень – СУОТ применима к организациям всех типов.

Список литературы:

1. Трудового кодекса РФ – Федеральный закон от 30.12.01 г. № 197-ФЗ. (ред. от 18.07.2011г.).
2. Межгосударственный стандарт ГОСТ Р 12.0.230-2007 "Система стандартов безопасности труда. Системы управления охраной труда. Общие требования".
3. OHSAS 18001:2007 – Система менеджмента профессиональной безопасности и здоровья. Требования.
4. OHSAS 18002:2008 – Руководство по применению OHSAS 18001.

Влияние свойств тонкодисперсных материалов на сжимаемость фильтрующего слоя в пылеуловителе

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@mall.ru

В процессе фильтрации газа через пористую перегородку осажденная пыль находится в агломерированном состоянии. Уплотнение слоя при накоплении частиц связано с переформированием агрегатов. Пористость слоя, расчетный диаметр частиц являются переменными величинами. В статье приводятся сведения об агломерации пылей, предлагается метод оценки переменных величин.

В технике обеспыливания газов применяют разнообразные по свойствам фильтровальные перегородки: зернистые слои гравия, доломита, хлопчатобумажные или шерстяные ткани, ткани из синтетических волокон, стекловолокна, сетки из волосяных или металлических нитей, пористые перегородки из металлокерамики и т.п. Средний размер и форма пор фильтровальных перегородок определяется размерами и формами элементов, из которых они изготовлены, а также технологией изготовления. Для некоторых фильтровальных перегородок (ткани, волокнистые слои) характерна сжимаемсть 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 осажденного слоя определяется гидродинамическими и физико-химическими факторами: пористость слоя, размер частиц, сферичность частиц, относительная влажность несущей среды, образование двойного электрического слоя на границе дисперсных материал – перегородка, степень агломерации частиц, деформация агломератов с закупоркой пор [1].

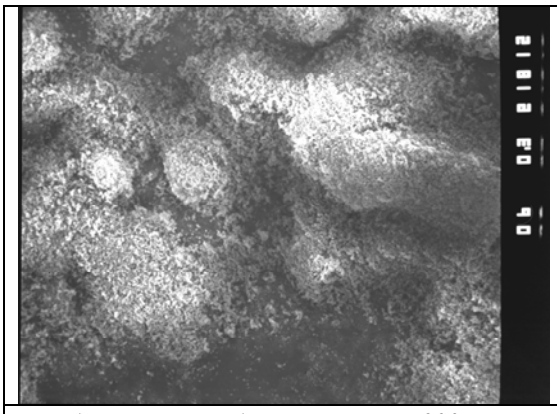


Рис. 1. Порошок М1 –увеличение 5000

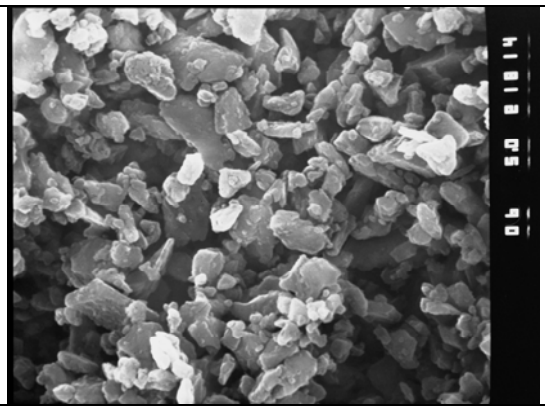


Рис. 2. Порошок М1–увеличение 300

На рис.1 показано микрофотография порошка, состоящего из микронных частиц увеличенных в 5000 раз. На рис. 2 показана микрофотография того же порошка с увеличением в 300 раз. Видно, что порошок представляет совокупности агрегатов с размерами 20 – 200 мкм.

Рис. 3. Цемент унос – увеличение 2000

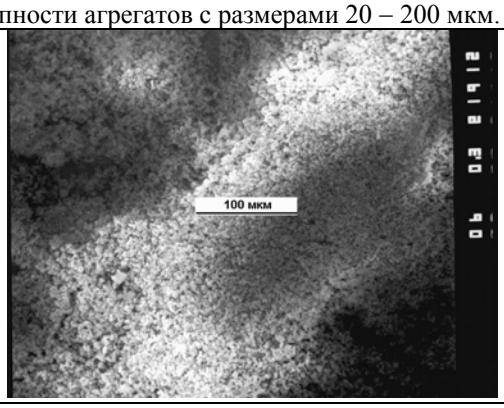
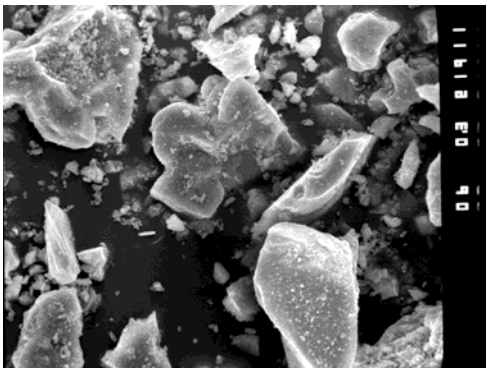


Рис. 4. Цемент унос – увеличение 300

На рис.3 показана микрофотография уноса цементной пыли из циклона с увеличением 2000, а на рис. 4 представлено микрофото – с увеличением 300. На рис. 5 представлено микрофото уловленного циклоном цемента. Видно, что крупные частицы на своих поверхностях содержат прилипшие мелкие частицы.



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.

Рис. 5 Цемент улов –увеличение 300

Гидравлическое сопротивление фильтрующей перегородки определяется в виде

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P' + \Delta P'' , \qquad (1)$$

где $\Delta P'$– гидравлическое сопротивление перегородки с оставшимся на ней после регенерации слоем пыли, $\Delta P''$– гидравлическое сопротивление слоев пыли, накапливающейся во время цикла фильтрования.

Уравнение (1) имеет вид [2]

$$\Delta P_{\Sigma} = K_0 \frac{\mu w(1-\varepsilon)}{\delta_0^2 \varepsilon^3}\left[\frac{g_0 \psi^2}{\rho_н K_к^2}(1-\varepsilon) + \frac{C_0 w K_с \tau}{\rho_т}\right], \qquad (2)$$

где K_0– экспериментальный коэффициент, учитывающий характер упаковки частиц в слое, μ–коэффициент динамической вязкости, w–скорость фильтрации, ε– пористость слоя, δ_0– диаметр частиц в слое, g_0– равновесная масса пыли в порах перегородки на единицу поверхности, ψ – коэффициент, учитывающий отношение скоростей в порах фильтровального материала и вне его, $\rho_н$, $\rho_т$ – плотности слоя и вещества частицы, $K_к$– коэффициент учитывающий извилистость пор фильтровального материала, C_0– концентрация пыли в газе перед фильтром, τ– время фильтрации, $K_с$– коэффициент, учитывающий скорость роста гидравлического сопротивления после регенерации, который зависит от метода регенерации, свойств частиц и несущего потока. Применение формулы (2) требует достоверных данных по коэффициентам, однако в самой формуле существуют неопределенности, поскольку отношение коэффициентов можно заменить одним коэффициентом. Экспериментальные коэффициенты определяются в результате пусконаладочных испытаний. Анализ (2) показывает, что наибольший вклад в сопротивление вносят величины ε, δ_0. Сформированный слой из частиц обладает свойством сжимаемости. Поэтому линейной зависимости сопротивления сформированного слоя от скорости фильтрации, как это представлено формулой (2), на практике не наблюдается.

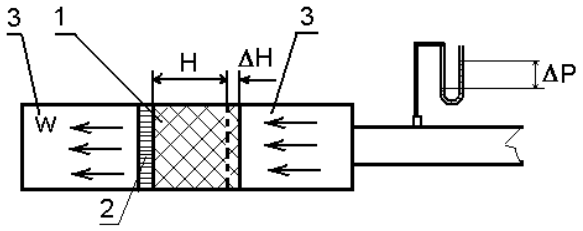


Рис.6 Устройство для определения параметров дисперсного материала:
1– рабочая секция, 2–фильтр,
3 – вспомогательные секции.

В общем виде [3]

$$\Delta P_{\Sigma} = \mu\left(R_0 + R_\tau\right)w , \qquad (3)$$

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($1/м^2$), $h_0 = g_0/\rho_н$ –толщина слоя (м), $\varphi = 1/\psi^2$, ψ–фактор формы – отношение поверхности шара к поверхности тела, имеющего тот же объем. $R_\tau = r_0 h_\tau$, $h_\tau = \frac{V_{п\tau}}{F_ф} = \frac{C_0 w \tau}{\rho_т(1-\varepsilon)}$ – переменная толщина слоя отфильтрованной пыли (м), $V_{п\tau}$– объем отфильтрованного слоя ($м^3$),

$F_ф$–поверхность фильтра. Оценки величин r_0, ε, $k\varphi$, H можно определить экспериментально, используя простое устройство (рис.6) и соотношение в дифференциальной форме

$$d\Delta P/d\Delta H = \mu r_0 w. \quad (4)$$

В рабочую секцию 1 помещается дисперсный материал с разной степенью уплотнения. При подаче воздуха процесс фильтрации в течении долей секунды нестационарен. Изменение расхода при внезапном создании перепада давления на слое можно рассчитать, при условии несжимаемости слоя, по формулам [4]. При установившемся течении измеряется расход, перепад давления, изменение уплотнения материала. Удельное сопротивление в формуле (3) зависит от скорости фильтрации и перепада давления. Рассчитываются величины r_0, $\rho_н$, ε, $k\varphi$. Проводится аппроксимация величины r_0 от комплекса $\Delta P/w\mu H$. Проводится корреляция уплотнения дисперсного материала при определении связности прессованием [5] и при фильтрации.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект №11–08–00059).

Список 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. Фильтрование: Теория и практика разделения суспензий. – М.: Химия, 1980, 400 с.
4. Слезкин Н.А. Динамика вязкой несжимаемой жидкости. Гостехиздат, М., 1955, с. 322–326.
5. 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.

Нормативные документы в обеспечении безопасности энергетических воздействий на здоровье человека

М.В. Василевский

Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

E-mail: vasmix40@mail.ru

Для уменьшения энергетического воздействия на человека устраиваются санитарно-защитные зоны, являющиеся защитным барьером, обеспечивающим уровень безопасности населения при эксплуатации объекта в штатном режиме. При производстве работ в жилых помещениях многоквартирных домов с применением перфоратора никаких санитарно–защитных зон не существует. Имеются нормативные документы, безопасного звукового воздействия на человека, которые обозначают допустимые уровни воздействий. Однако в законодательных актах вопросы шумовых воздействии представлены в формах, которые позволяют исполнителям работ превышать эти уровни и разрушать здоровье человека.

Среда, окружающая человека, должна иметь характеристики, обеспечивающие благоприятные условия функционирования человеческого организма. Одной из составляющих этих характеристик является шум**.** Шумовое воздействие в крупных индустриальных городах мира – одна из наиболее острых экологических проблем современности. Подсчитано, что более половины населения Западной Европы проживает в районах, где уровень шума составляет 55–70 дБ. Многочисленные эксперименты и практика подтверждают, что антропогенное шумовое воздействие неблагоприятно сказывается на организме человека и сокращает продолжительность его жизни, ибо привыкнуть к шуму физически невозможно. Шум и вибрация вызывают ощущение дискомфорта, раздражение, тошноту и другие неприятные явления. Характерно появление чувства тревоги и страха, удушья, болей в области живота и позвоночника, общего утомления, затрудненного дыхания, головной боли, зуда и глухоты. Очевидно, нарушается нормальное протекание процессов как в отдельных клетках, так и в органах в целом. В частности, вибрация влияет на анафазу, то есть на ту стадию деления клеток, во время которой начинается расхождение половинок хромосом.

При 140 дб человек ощущает сильную боль, а продолжительное воздействие шума в 90—120 дб может привести к повреждению слухового нерва. Особенно разрушительное действие на человека оказывают звуковые поля с частотами, близкими к резонансным. На рис. 1 представлено возрастание амплитуды колебаний клеток определенного органа при приближении звуковых частот к частотам собственных колебаний клеток [1].

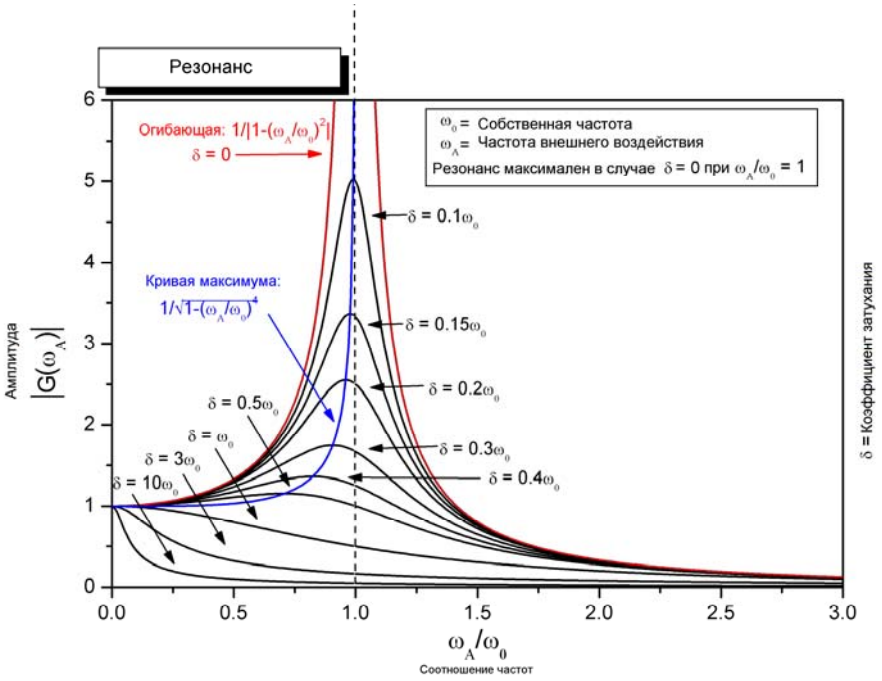


Рис.1 Влияние приближения звуковых частот к частотам собственных колебаний клеток на амплитуду колебаний.

Кроме того, шум в 60 дб и свыше вызывает торможение нормальных сокращений желудка и кишечника, а также уменьшает выделение желудочного сока и слюны. На рис. 2 показаны области частот, вызывающие резонансные эффекты в различных органах человека [2]

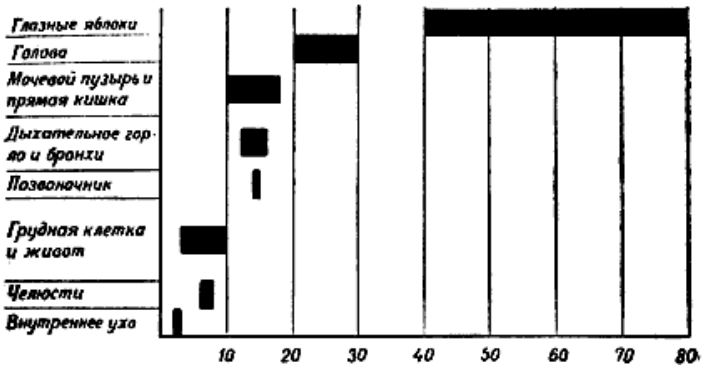


Рис. 2. Области частот, вызывающие резонансные эффекты в различных органах человека

Перепланировка, расширительные работы в помещениях многоквартирных домов сопровождаются энергетическим воздействием механических инструментов на ограждающие строительные конструкции помещений многоквартирного дома. Стены, перекрытия являются волнопроводами с малыми потерями энергии колебаний. Количество колебательной энергии в конструкционном массиве определяется мощностью источника и временем воздействия оборудования на строительный элемент. Передача энергии в окружающую среду конструкциями здания осуществляется в основном через поверхность наружных ограждений, составляющей по отношению к поверхностям внутренних ограждений менее десяти процентов. Поэтому уровень шума в помещениях, расположенных вблизи источника при энергии удара при локальном взаимодействии с массивом конструкции более 0.5Дж превышает предельно допустимые значения. В строительных работах применяют перфораторы с энергией удара 2–20 Дж. Основным недостатком применения перфоратора является шум. Уровень собственного шума за счет внутреннего взаимодействия механизмов в зависимости от конструкции, мощности составляет 60–110 дБ. Количество переданной звуковой энергии от источника акустического шума через

конструкцию прямо пропорционально ее площади S_1 и обратно пропорционально площади звукопоглощения A_2 в изолированном объеме. Однако при воздействии на перегородку перфоратора возникает структурный шум. Рассмотрим эквивалентную пластину из кирпича толщиной H=0.25 м с площадью поверхности 48 000м^2 [3]. В центре этой пластины осуществляются удары разрушения с энергией 20 Дж и частотой f = 50 Гц, так что мощность источника W = 1000 Вт. При воздействии перфоратора плотность потока энергии в стене определится из баланса энергии с учетом отражения волн и прозрачности

$$I_{т} = \frac{W}{2\pi rH} + \frac{2W\beta}{(1-\beta)S}.\beta = \frac{Z_{т} - Z_{в}}{Z_{т} + Z_{в}} = 0.9998 = 1 - 2\cdot 10^{-4}$$ [3]. При r = 20 м, $I_{т}$= 240 Вт/м^2

Объемная плотность энергии $W_{т}=I_{т}/c_{т}$= 240/2080=0.115 Дж/м^3, колебательная скорость $\upsilon = \sqrt{\frac{2W_{т}}{\rho_{т}}} = \sqrt{\frac{2\cdot 0.115}{1700}} = 11.6\cdot 10^{-3}$ м / с. Плотность потока энергии в воздухе помещения от излучения стенами и перекрытиями $I_{вп} = \frac{\upsilon^2}{2}\rho_{в}c_{в} = 27.6\cdot 10^{-3}$ Вт/м^2. Коэффициент поглощения звуковой энергии оштукатуренными стенами α=0.02, с учетом наличия форточек, мягких покрытий α=0.04. Плотность потока энергии в помещении с учетом отражений волн от стен и перекрытий $I_{\Sigma} = I_{вп} + \frac{I_{вп}(1-\alpha)}{\alpha} = 0.68$ Вт / м^2. Уровень шума $L = 10\lg\frac{0.68}{10^{-12}} = 118$ дБ при нормативном допустимом уровне шума в жилых помещениях 60 дБ. Замкнутый воздушный объем помещения, если его размеры соизмеримы с длиной волны или больше ее, следует рассматривать как колебательную систему с распределенными параметрами, которая обладает спектром собственных (резонансных) частот. В [3] приведены расчеты частот собственных колебаний прямоугольных помещений с разными размерами. Эти расчеты показали, что для небольших помещений резонансные частоты находятся в диапазоне 30–80 Гц, которые характерны для перфораторных инструментов. Звук с наименьшей частотой является основным тоном. Он содержит гармоники с частотами, кратными частоте основного тона. При совпадении вынужденных частот с частотами собственных колебаний в помещении образуются стоячие волны с кратным увеличением амплитуд колебаний воздушной среды.

Таким образом, в здании, где проводятся ремонтные работы с применением перфоратора на человека, находящегося в соседнем помещении, оказывается сверхдопустимое шумовое воздействие. Человек оказывается в акустической ловушке, причем акустические воздействия на него по физическому параметру (давление) превышает допустимое в тысячи раз. Однако в законодательных актах вопросы шумовых воздействии представлены в формах, которые позволяют исполнителям работ превышать эти уровни и разрушать здоровье человека. Например, административные правонарушения, посягающие на права граждан и здоровье населения обозначены в Статье 3.19 КоАП Томской области «Нарушение тишины и покоя граждан» следующим образом: «2. Совершение действий, нарушающих тишину и покой граждан в многоквартирных домах в 7 часов до 23 часов за исключением проведения строительно-монтажных работ, аварийных и спасательных работ, а также других неотложных работ, необходимых для обеспечения безопасности граждан либо функционирования объектов жизнеобеспечения населения, если эти действия не охватываются составами правонарушений, предусмотренными частями 3 и 4 настоящей статьи,– влечет предупреждение…». «4. Проведения строительно-монтажных работ в многоквартирных домах с 21 часа до 23 часов – влечет предупреждение…».

Согласно формулировкам ч. 2, 4 Статьи 3.19 КоАП ТО, если проводятся строительно-монтажные работы в каком– то помещении, то можно производить шум неограниченного уровня с 7 часов до 21 часов. Это противоречит статье Конституции о правах граждан на здоровую среду обитания в других помещениях и противоречит существующим нормативным документам в обеспечении безопасности человека при энергетических воздействиях. Предлагается более гуманная формулировка этих положений по отношению к человеку в соседнем помещении: 1. Строительно-монтажные работы, с применением перфоратора должны осуществляться по согласованию с гражданами, проживающих в этом здании и назначением распорядка (графика) проведения работ. 2.Лица–инициаторы расширительных работ, проводящие работы без согласования с гражданами, проживающими в этом здании, обязаны по требованию граждан, подвергшимся энергетическому избиению, представить им результаты изменений в строительных

конструкциях для фиксации изменений. Правоохранительные органы обязаны содействовать в оформлении акта проведения расширительных работ с подписью заявителя. В Статьях УК в части причинения ущерба ОС и здоровью населения также не отражены основные положения Конституции РФ о праве человека на здоровую среду обитания. Предлагается ввести понятия «энергетическое избиение», и «уголовная ответственность за осуществление энергетического избиения» и ввести дополнения в соответствующие статьи УК. Проблема актуальна [4–11].

Список литературы:

1. 1.http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B5%D0%B7%D0%BE%D0%BD%D0%B0%D0%BD%D1%81.
2. http://www.astronaut.ru/bookcase/books/sharp01/text/09.htm?reload_coolmenus.
3. Василевский М.В.. О шумовых эффектах в жилых помещениях от воздействия механического оборудования. //Материалы шестнадцатой Всеросс. науч.-техн. конференции "Энергетика: экология, надежность, безопасность." – Томск: Изд-во ТПУ, – 2010. – С. 218 –221.
4. http://impravo.ru/tribuna/page,1,3,368-prevyshenie-dopustimogo-urovnya-shuma-v-kvartire.html.
5. http://www.newkaliningrad.ru/forum/topic/96655-dopustimii-urovni-shuma-vibracii-v-zhilih-pomeshe/.
6. http://www.forum.zakonia.ru/showthread.php?t=52651&page=2.
7. http://www.forum.zakonia.ru/showthread.php?t=52651&page=3.
8. http://best-stroy.ru/articles/r4/r4_10/1401.
9. http://taxhelp.ru/new/forum/showthread.php?t=338815.
10. http://www.likar.info/forum/printview5307520.html.
11. http://www.woman.ru/home/medley9/thread/3860759/.

Корректирующие оценки эффективности циклона фактором формы частиц

М.В. Василевский, Е.Г. Зыков*, В.А. Полюшко**, В.И. Романдин**, А.С. Разва
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия
*Томский государственный университет, *г. Томск, Россия*
**ООО «Томсказоочистка», *г. Томск, Россия*
E-mail: vasmix40@mall.ru

Коэффициент сопротивления частицы в потоке газа зависит от фактора формы частицы. Это определяет скорость движения частицы относительно газа под воздействием инерционных сил. Для частиц пластинчатой формы закономерности изменения эффективности обеспыливания газа в циклоне с увеличением размера частиц значительно отличаются от закономерностей для сферических частиц. Эти закономерности имеют место при золовом уносе в системе сжигания лузги подсолнечника. Батарейные циклонные золоуловители имеют эффективности, не превышающие 50 %. В статье проведено исследование этого несоответствия.

Расчеты газоочистной аппаратуры проводят в предположении сферичности частиц. Несферические частицы обладают более высоким сопротивлением. Для области вязкого обтекания обнаружено, что частицы с тремя перпендикулярными осями симметрии сохраняют свою первоначальную ориентацию, частицы с двумя перпендикулярными плоскостями симметрии движется в направлении линии пересечения плоскостей. Поэтому диски, пластины ориентируются по предпочтительному направлению. Режим обтекания шаровой частицы определяется числом $Re=\Delta u\delta/\nu$, где Δu– скорость частицы относительно газа, δ– диаметр частицы, ν– коэффициент кинематической вязкости. При значениях Re=70–300 возникает неустойчивая ориентация частиц: одни из них находятся в колебательном движении поперек переноса, другие вращаются, третьи движутся по спирали, диски испытывают боковое скольжение. Для оценки вводят понятия объемного, поверхностного, по проектной площади, лобового сопротивления диаметров [1, 2]. Пусть имеется частица в виде цилиндра диаметром D, с высотой l, $\bar{l}=l/D$. Если $\bar{l} \to 0$, то имеем диск, если $\bar{l} \to \infty$, то – стержень. Пусть диаметр шара, эквивалентного по объему цилиндра D_V. Имеем $\frac{\pi D^3}{4}\bar{l} = \frac{\pi D_V^3}{6}$; $D_V = \left(1{,}5\bar{l}\right)^{1/3} D$; Шар с эквивалентной поверхностью D_S определится из равенства $2\frac{\pi D^2}{4} + \pi D^2 \bar{l} = \pi D_S^2$; $D_S = D\left(0{,}5 + \bar{l}\right)^{1/2}$. Фактор формы записывается в

виде $\psi = \frac{D_V^2}{D_S^2} = \frac{\left(1{,}5\bar{l}\right)^{2/3}}{0{,}5 + \bar{l}}$. Движение частицы под действием силы тяжести определяется выражением $mg = 0{,}5 C_D A \rho \Delta u^2$, где m– масса частицы, g – ускорение свободного падения, C_D –коэффициент сопротивления, A–площадь миделевого сечения частицы, ρ–плотность газа.

На рис.1 приведена зависимость C_D от величины $Re_V=\Delta u D_V/\nu$ при свободном падении изометрических частиц в воздухе с разным значением величины ψ [2].

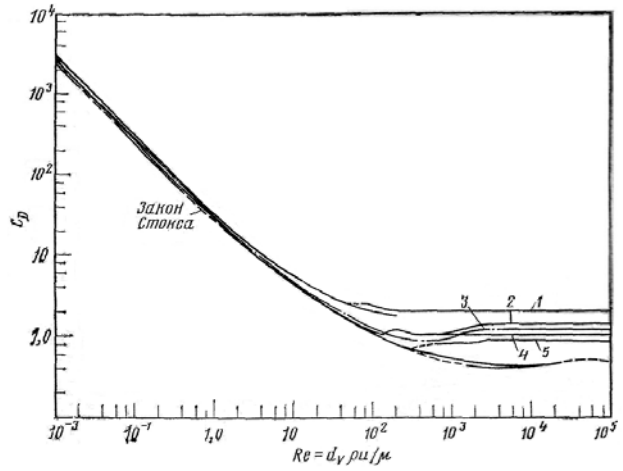


Рис.1 Корреляция коэффициента лобового сопротивления C_D для изометрических частиц различной сферичности [2]. 1– ψ=0,67; 2 – ψ=0,806; 3 – ψ= 0,846; 4 – ψ=0,945; 5 – ψ=1.

Для малых значений ψ область турбулентного обтекания частиц газом смещается в область меньших чисел Re_V. Для турбулентной области обтекания частицы пластинчатого типа C_D = 5,31 – 4,88ψ [2]. Поэтому при малых значениях ψ (ψ<0,2), можно полагать, квадратичный закон сопротивления действителен в диапазоне Re_V=20–2000.

При турбулентном обтекании частицы ее скорость витания определяется выражением $\Delta u = \sqrt{\frac{4}{3} g D_V \psi \frac{\rho_\delta}{\rho} \frac{1}{C_D}}$, здесь ρ_δ, ρ– плотности частицы и газа. Эти соотношения используем для анализа поведения частиц в циклонном пробоотборном устройстве.

Для определения фракционного состава золы-уноса были проведены замеры на паровом котле КЕ-16-23-370 ГДВ с вихревой топкой котельной ОАО «ЭФКО», сжигающего лузгу подсолнечника. Очистка газов осуществляется в пылеуловителе КПЗУ-75, конструкции ООО «Томскгазоочистка», установленным после дымососа (работа под напором). Выносной циклон пылеконцентратора замкнут на вход дымососа и работает под разрежением: очищенные дымовые газы поступают на рецикл. Конструкция пылеуловителя КПЗУ-75 разработана в сдвоенном виде (тандем) и представляет собой два осесимметричных, зеркально расположенных пылеуловителя КПЗУ-40. Для определения фракционного состава золы-уноса был проведен отбор проб, позволяющий проводить дисперсный анализ пыли. Запыленные газы отбираются через штуцер пробоотборника диаметром 20 мм, с размерами входного отверстия 20х10 мм, поступают в циклон типа СК-ЦН-34 диаметром 90 мм, где пыль улавливается и накапливается в пылеприемном бункере. Неуловленные частицы поступают в рукавный фильтр. Микроскопический анализ показал, что практически все частицы представляют собой плоские пористые чешуйки или диски неправильной формы, обладающие большой парусностью, легко разрушающиеся при механическом воздействии. Такие частицы обладают малой плотностью, большим аэродинамическим сопротивлением, следуют за потоком и плохо улавливаются в инерционных аппаратах. Частицы золы отличаются от округлой формы, характерной для многих промышленных пылей, плохо поддаются статистической обработке. Определение фракционного состава частиц неправильной формы методом оптической счётной микроскопии приводит к большой погрешности. По этой причине был выбран метод лазерной дифракции с использованием анализатора размера частиц (АРЧ) «Mastersizer 2000». В качестве размера частицы применялся объемный диаметр – это диаметр сферы, что и частица. Перерасчет ведется в предположении, что циклон полностью пропустил частицы менее 0.5 мкм. И эти частицы составляют унос в отбранной пробе. Пересчет велся из условия, чтобы суммарное фракционное содержание составлял 100 %. При этом содержание каждой фракции в отобранной пробе уменьшалось пропорционально кпд циклона. На рис. 2 показано объемное и интегральное содержание частиц в зависимости от эквивалентных диаметров сфер, равных по объему частицам неправильной формы после котла.

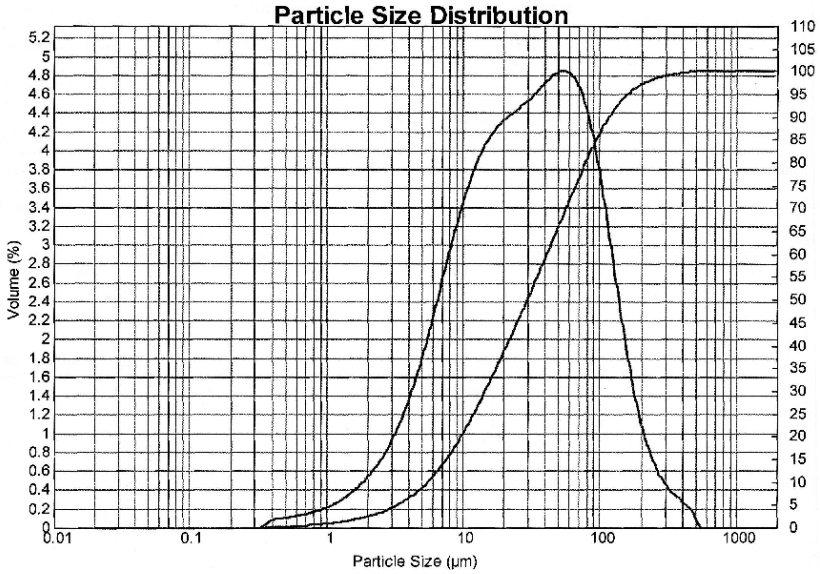


Рис.2. Объемное и интегральное содержание частиц в пробоотборном циклоне после котла в зависимости от эквивалентных диаметров сфер.

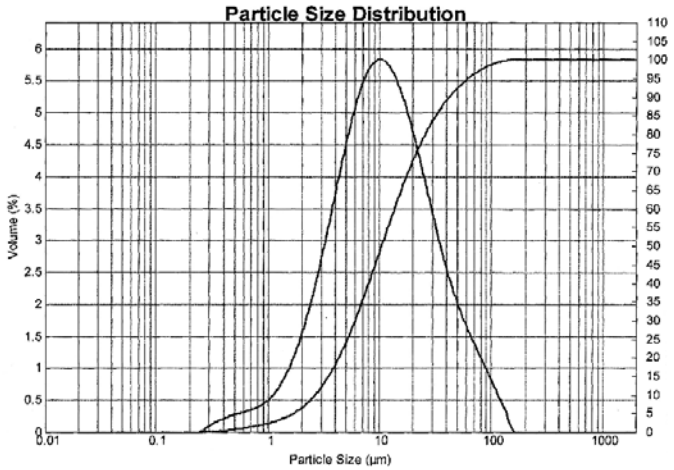


Рис. 3 Объемное и интегральное содержание частиц в пробоотборном циклоне после газоочистки в зависимости от эквивалентных диаметров сфер.

Проведенные отборы проб показали следующие результаты. Перед газоочисткой стандартный циклон СК ЦН– 34 диаметром 90 мм имел эффективность улавливания 83%, тогда как установка имела эффективность 72%. Микроскопический анализ уловленной пыли пробоотборным циклоном показал, что частицы имеют пластинчатую и игольчатую форму в диапазоне 0.5 – 900 мкм. Причем крупные частицы представляют собой спеченные агломераты и имеют поры. Мелкие частицы в уносе при отмучивании в воде попадают в осадок, тогда как крупные частицы в исходном потоке при отмучивании оказываются на поверхности. На ООО «Топкинский цемент» $\delta_{50р}$=4,9 мкм–диаметр частиц, улавливаемой установкой на 50 % , $\lg\sigma_р$=0.32 –дисперсия распределения фракционных эффективностей. Пробоотборный циклон имеет соответствующие значения $\delta_{50п}$ = 1.1 мкм, $\lg\sigma_п$=0.31. Фракционные эффективности имеют распределения логарифмически вероятностного типа.

Фракционная эффективность пылеотделения в циклоне определяется обобщенным параметром $\alpha = \dfrac{\Delta u R}{\varepsilon}$, где R– радиус зоны разделения, ε– коэффициент турбулентного перемешивания частиц [3]. Расчет эффективности разделения аэрозоля со сферическими частицами в противоточном концентраторе приведен в [4]. В выражение для силы сопротивления частиц должна входить

величина D_S–диаметр сферы с поверхностью, равной поверхности частицы. В расчетные параметры входит величина D_V. Поэтому при малых значениях *Re* величина $\Delta u=W_0 Stk\psi^{0.5}$, где $Stk = \frac{\rho_\delta}{\rho}\frac{D_V^2}{18\nu}\frac{W_0}{R}$, где W_0 – характерная скорость газа в циклоне. Для квадратичной зоны сопротивления $\Delta u = W_0\sqrt{\frac{4}{3}\frac{D_V}{R}\psi\frac{\rho_\delta}{\rho}\frac{1}{C_D}}$. Величина $\bar{l} \approx (\delta_0/D_S)^{0.9}$ где δ_0–базовый диаметр частицы (δ_0=1–2 мкм).

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект №11–08–00059).

Список литературы:

1. Райст П. Аэрозоли. Введение в теорию. Пер. с англ. – М.: Мир, 1987. – 280 с.
2. Страус В. Промышленная очистка газов. Пер. с англ. – М.: Химия, 1981. – 616 с.
3. Василевский М.В., Зыков Е.Г. Расчет эффективности очистки газа в инерционных аппаратах: Учебное пособие.- Томск: Изд-во ТПУ, 2005.–88 с.
4. Василевский М. В., Зыков Е. Г., Разва А. С. Расчетная модель концентрирования частиц в противоточном цилиндрическом циклонном аппарате. // Теоретич. основы хим. технологии, 2011, т. 45, № 3 с. 321–328.

УДК 628.16.081.312:546.72

Улучшение качества воды питьевого назначения с помощью бадинского цеолита

А.С. Вейсгейм, Р.Ф. Зарубина, О.Б. Назаренко
Томский политехнический университет, г.Томск, Россия
E-mail: obnaz@mail.ru

Исследованы физико-химические свойства природного цеолита Бадинского месторождения и возможность его использования для улучшения качества воды питьевого назначения в динамических условиях. Эффективность очистки скважинной воды Кожевниковского района составила от $Fe_{общ}$ – 100 %.

Источником хозяйственно-питьевого водоснабжения населения Томской области являются, в основном, подземные воды из-за сильного загрязнения поверхностных водоемов. Качество подземных вод в естественных природных условиях не отвечает требованиям СанПиН 2.1.4.1074-01. "Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества" по ряду показателей. Например, содержание железа в скважинных водах достигает 30 ПДК, марганца – 4 ПДК, кремния – 1,8 ПДК [1].

Железо в подземной воде содержится в виде двухвалентного иона Fe^{2+}. Использование воды такого состава требует специальной водоподготовки. В мелких населенных пунктах Томской области водоподготовка, как правило, примитивна и включает только стадию отстаивания. Употребление подземных вод для питьевых целей без предварительной их подготовки создает угрозу здоровью населения. Поэтому обеспечение населения Томской области качественной питьевой водой является острой проблемой.

Перспективным материалом для улучшения качества воды являются природные цеолиты, которые представляют собой широко распространенное и дешевое минеральное сырье, обладают уникальным спектром физико-химических, адсорбционных и ионообменных свойств, благодаря чему находят широкое применение в практике очистки сточных вод [2–4] и подготовки воды питьевого назначения [5]. Цеолиты относятся к группе каркасных алюмосиликатов, кристаллическая решетка которых образуется тетраэдрами $[SiO_4]^{4-}$ и $[AlO_4]^{5-}$, объединенными общими вершинами в трехмерный каркас [6]. 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 (Ca, Na, K, Mg, Ba и др.) на другие, 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 является одним из наиболее крупных [7]. Бадинское месторождение расположено в Читинской

области, в 7 км северо-восточнее железнодорожной станции Бада. Площадь развития потенциально цеолитизированных пород оценивается в 9 км^2. Предварительно оцененные запасы полезного ископаемого составляют 95 млн. т.

Химический состав цеолитовой породы Бадинского месторождения представлен следующими оксидами, мас. %: SiO_2 – 68,0…72,0; Al_2O_3 – 11,4…12,0; Fe_2O_3 – 0,6…0,8; TiO_2 – 0,16; MnO – 0,05; CaO – 2,1…3,7; MgO – 0,6…1,7; K_2O – 2,6…4,8; Na_2O – 0,4…1,5; H_2O – до 10 [8]. По химическому составу цеолитовая порода Бадинского месторождения относится к высококремнеземистой, характеризуется высоким отношением Si/Al.

Целью данной работы является изучение возможности улучшения качества скважинной воды с помощью природного цеолита Бадинского месторождения в динамических условиях.

Материалы и методики экспериментов. Для исследований свойств бадинского цеолита проведены следующие методы анализа: рентгенофазовый анализ (РФА) на дифрактометре ДРОН-3.0, термический анализ с помощью термоанализатора SDT Q600, инфракрасная (ИК) спектроскопия (спектрометр Nicolet 5700), электронно-микроскопический анализ (электронный микроскоп JSM-7500FA), химический анализ. Анализы выполнены в Научно-аналитическом центре ТПУ, Наноцентре ТПУ и УНПЦ «Вода» ТПУ.

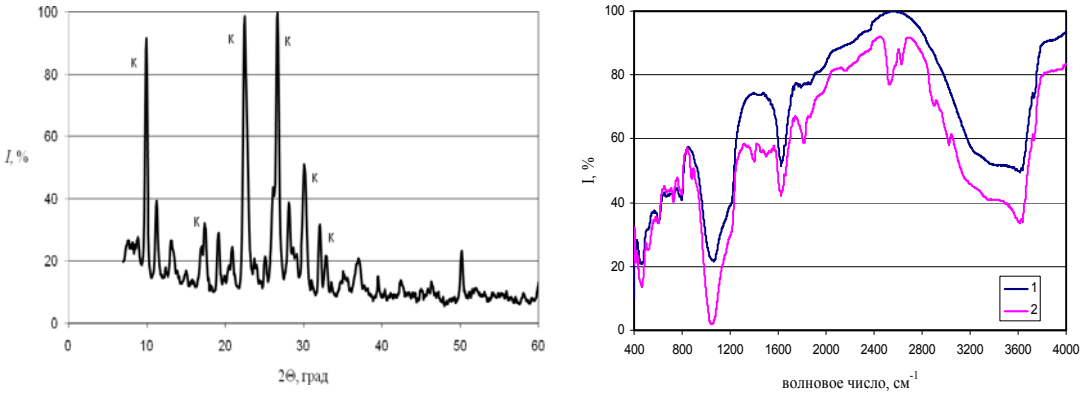
В экспериментах использованы фракция размером 1,0…2,0 мм. В стеклянную колонку было помещено 25 мл цеолита. Перед экспериментом по очистке воды была проведена предварительная активация цеолита раствором хлористого натрия. Скорость фильтрации природной воды составляла 7…8 мл/мин. Для анализа на спектрофотометре КФК-2 осуществлялся отбор каждых 100 мл фильтрата.

Эксперименты по очистке проводили с использованием скважинной воды Кожевниковского района Томской области, которая характеризуются как гидрокарбонатная кальциевая, слабощелочная, умеренно-жесткая. Химический состав пробы воды, определенный титриметричеким методом, методами потенциометрии и фотоколориметрии приведен в таблице.

Таблица 1. Химический состав скважинной воды

pH	Концентрация, мг/л									
	CO_2	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	$Fe_{общ}$	M*
6,7	105,6	439,2	<2	1,3	108	13,2	23,5	1,9	1,5	589,2

Результаты и обсуждение. С помощью РФА определен минералогический состав цеолитовой породы. Исследуемый образец содержит в своем составе клиноптилолит, гейландит, а также примесные породы – кварц, монтмориллонит, полевой шпат и кристобалит (рис. 1, *а*).



а *б*

Рис. 1. *а)* Дифрактограмма образца бадинского цеолита: к – клиноптилолит; *б*) ИК-спектры образцов цеолита исходного (1) и после фильтрации природной воды (2)

Наличие характерных для фазы клиноптилолита [6] структурных групп в образце бадинского цеолита установлено методом инфракрасной спектроскопии (рис. 1, *б*). Наиболее интенсивный пик наблюдается для полосы поглощения 1040 см$^{-1}$, отвечающей колебанию связи Si–O–Si. Пики поглощения 800,5 и 780,5 см$^{-1}$ связаны с валентными колебаниями связи Al–O, а 473,2 см$^{-1}$ – с деформационными колебаниями Al–O_4. С наличием цеолитной воды связаны

следующие полосы поглощения в диапазоне 3253–3734 $см^{-1}$, 1612,4 $см^{-1}$ – полоса деформационных колебаний молекул воды. На ИК-спектре образца после фильтрации через него природной воды наблюдаются дополнительные полосы поглощения 1446, 1822, 2535 $см^{-1}$, которые связаны с присутствием карбоната кальция.

Термическая устойчивость цеолита была исследована с помощью термогравиметрического анализа. На дифференциальной термической (ДТА) кривой образца бадинского цеолита регистрируется эндотермический эффект с максимумом 77,9 °С, типичный для данного минерала и обусловленный его дегидратацией (рис. 2). Установлено, что кривая дегидратации как функция температуры является плавной, что характерно для фазы клиноптилолита [3]. Потеря веса при нагревании образца природного цеолита до 1000 °С составила 10,0 %, причем максимальная потеря адсорбированной воды ~6 % наблюдалась в температурном диапазоне от 80 до 300°С.

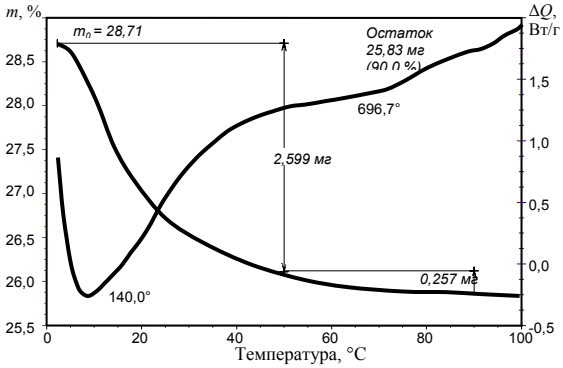
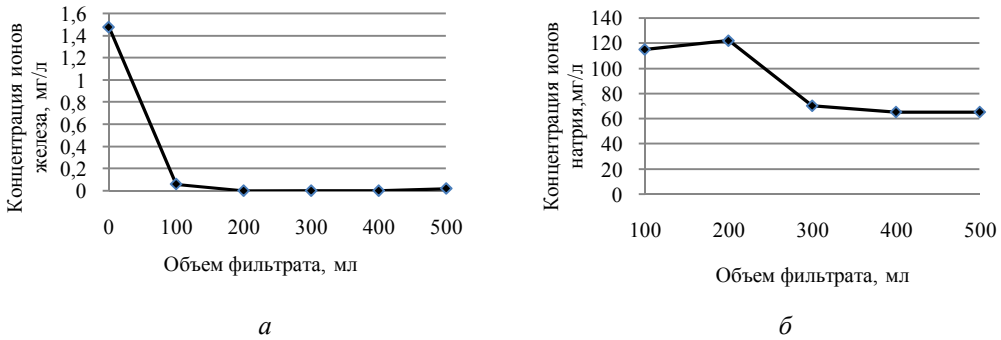


Рис. 2**.** Термограмма образца бадинского цеолита, скорость нагрева 10 град/мин, среда – воздух

Результаты экспериментов по очистке скважинной воды Кожевниковского района Томской области с помощью бадинского цеолита представлены на рис. 3. В соответствии с полученными данными эффективность удаления $Fe_{общ}$ в условиях проведенного эксперимента составила 100 % после фильтрации через колонку 500 мл воды (рис. 3, *а*).



а *б*

Рис. 3. Зависимость концентрации в фильтрате от объема отфильтрованной воды: *а)* $Fe_{общ}$; *б*) Na^+

На рис. 3, *б* также показана зависимость изменения концентрации ионов натрия в воде после фильтрации через цеолит. Основной обменный ион при очистке воды на цеолите – это ион натрия. Предварительная обработка цеолита раствором хлористого натрия перед проведением экспериментов способствовала насыщению цеолита обменными ионами натрия. Это простой и недорогой способ подготовки цеолита к очистке воды и его регенерации, в результате которого эффективность удаления из воды загрязнителей существенно возрастает.

Выводы. В данной работе представлена характеристика физико-химических свойств природного цеолита Бадинского месторождения, исследована эффективность очистки природной воды от ионов железа. Концентрация $Fe_{общ}$ в исследуемой воде после фильтрации не превышала предельно допустимых значений. Таким образом, выполненные исследования позволяют сделать вывод о возможности применения бадинского цеолита для обработки скважинной воды, предназначенной для питьевых и технических целей. Но для разработки предложений по практическому использованию необходимо проводить эксперименты по удалению других химических веществ, характерных для природных вод Томской области.

Список литературы

1. Экологический мониторинг: Состояние окружающей среды Томской области в 2008 году / Гл. ред. А.М. Адам; Департамент природн. ресурсов и охраны окружающ. среды Том. обл., ОГУ «Облкомприрода» Администрации Том. обл. – Томск: Издательство «Оптимум», 2009. – 144 с.
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. Wang S., Peng Y. Natural zeolites as effective adsorbents in water and wastewater treatment // Chemical Engineering J. – 2010. – Т. 156. – С. 11–24.
5. Пушмина И.Н., Хорунжина С.И., Пермякова Л.В. Использование цеолитов Сибири в производстве напитков // Пиво и напитки. – 2009. – №3.– С. 18–19.
6. Брек Д. Цеолитовые молекулярные сита. – М.: Мир, 1976. – 781 с.
7. Тарасов А.Г., Ларичкин В.А. Государственный баланс запасов полезных ископаемых РФ на 1 января 2008 года: Цеолиты. М.: Росгеолфонд, 2008. – В. 41. – 32 с.
8. Урханова Л.А., Лхасаранов С.А., Галданов С.Б. Нетрадиционные сырьевые материалы в производстве алюмосиликатных отделочных материалов // Вестник Восточно-Сибирского государственного технологического университета. – 2009. – № 3. – С. 66–71.

УДК 621.311.22

О прогнозировании распространения дымового факела в атмосфере

А.М. Веселов, С.В. Голдаев

Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

E-mail: veselovartem@inbox.ru

С помощью разработанной программы в среде Turbo Pascal были реализованы две математические модели начального подъёма выбросов ТЭС, учитывающие совместность динамического и теплового подъёма, которые позволят провести правильное прогнозирование экологической обстановки при работе котельной.

Энергетика является основой развития всех отраслей промышленности, сельского хозяйства, транспорта. Топливно-энергетический комплекс имеет наиболее высокие темпы роста и масштабы производства. Сжигание органического топлива связано с выбросом в окружающую среду основных продуктов сгорания (диоксид углерода, пары воды) и других вредных веществ: оксидов азота, серы, монооксида углерода, а также частиц золы, содержащей в своем составе ряд химических элементов и соединений тяжелых металлов. Положение усугубляется использованием низкосортного каменного и бурого угля, в результате сжигания которого на территориях, прилегающих к источникам выброса, экологические нагрузки загрязнителей превышают предельно допустимые нормы воздействия на окружающую среду.

Правильное прогнозирование возможных концентраций вредных примесей в приземном слое воздуха, выбор мест их рассеивания и воздухозабора, способов очистки удаляемого воздуха от пыли и вредных веществ, принятие мер по предотвращению их значительных выбросов в атмосферный воздух, – весь этот комплекс мер необходим при проектировании и строительстве новых и реконструкции действующих промышленных предприятий [1–3].

Поэтому рассматриваемая задача представляется актуальной и имеющей большое практическое значение, о чём свидетельствуют многочисленные публикации.

Целью работы является оценка экологической опасности предприятий топливно-энергетического комплекса, работающих на твердом топливе, по данным экологического мониторинга с прогнозированием распространения количества основных загрязняющих веществ в окружающей природной среде.

Анализ экспериментальных данных показал, что по оксидам азота вклад ТЭЦ в общее загрязнение атмосферы по сравнению с максимальной фоновой составляет около 17%, а по оксидам серы – 42%. Это говорит о том, что основными загрязнителями атмосферы являются предприятия с низкими источниками выбросов и автотранспорт.

Главной задачей сохранения воздушного бассейна является поддержание в нём концентраций вредных веществ, не превышающих предельно допустимые, и осуществление мер по их снижению. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе на

заводских площадках и в населённых пунктах определены санитарными нормами проектирования промышленных предприятий.

Например, ПДК окиси углерода являются: в приземном слое воздуха на заводской площадке – 6,0 мг/м^3; в воздухе населённых пунктов - 3,0 мг/м^3 (50% от ПДК) при разовом выбросе и 1,0 мг/м^3 (16,6% от ПДК) – при среднесуточных выбросах.

Обработка распределения примесей вдоль оси факела показала, что максимум концентраций для опасной скорости ветра составляет 5…8 м/с, находится на расстоянии 4 км. от ТЭЦ. Расчётные значения, полученные на основе методики определения концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий, оказались на 10…25% выше экспериментальных. Вероятно, это обусловлено тем, что городские застройки формируют повышенную турбулентность атмосферы и усиливающую рассеивание выбросов вредных веществ [8].

Установлено, что продолжительность воздействия дымового факела ТЭС на окружающую местность зависит от законов распределения векторов направления и скорости ветра в слое атмосферы, соизмеримой с высотой труб ТЭС, т.е. в приземном слое толщиной от 100 до 500 м.

В работе [8] описаны результаты измерения скоростей ветра на разных уровнях в городах Омске и Братске. Сопоставление накопленных в течение года наблюдений в г. Омске за направлением ветра на четырёх уровнях высот флюгера показало устойчивый поворот направления ветра с высотой вправо, т.е. по часовой стрелке, если смотреть сверху: при 100 м. – на 7°, при 200 м. – 18°, для 300 м. – 22°. Поэтому для наземных и низких (производственные корпуса) источников следует ориентироваться на уровень флюгера.

Для г. Братска характерным является возникновение штилевой обстановки в атмосфере. Оказалось, что частота появления их убывает с высотой от 60% на уровне флюгера, до 5…10% – на уровне 200…300 м. Неблагоприятные метеорологические условия, обусловленные возникновением 100…150 метрового штилевого слоя, создают наиболее тяжёлые условия загрязнения от низких источников. Одновременно они практически блокируют поступление к уровню дыхания токсичных веществ от сносимого ветром факела.

Другой особенностью атмосферной аэродинамики ряда районов Восточной Сибири является преобладание ветров западной ориентации. Исследования показали, что для одного из районов продолжительность воздействия расчётных приземных концентраций при западных ветрах возрастает до 3…6%, а при восточных падает до 0,15…0,3% от полной продолжительности вредных выбросов в течение года. На практике это означает, что для объектов, попадающих под западные ветры, длительность воздействия расчётных концентраций окажется в 20 раз больше, чем для объектов восточной ориентации.

Таким образом, при проектировании и строительстве объектов, в том числе и ТЭЦ, необходимо принимать во внимание параметры ветра на уровне выброса газа из дымовой трубы, которые учитывают метеорологическую обстановку в данном регионе.

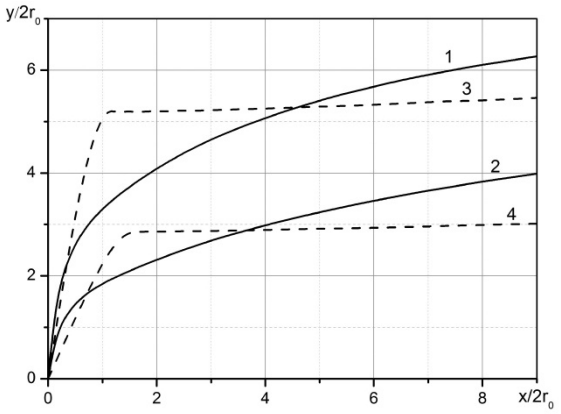


Рис. 1. Результаты расчётов и экспериментальные данные для траектории дымового факела в координатах. На основе двух моделей

В цикле статей [4–6] осуществлён анализ влияния силы плавучести [4] и динамического напора истекающей струи на её траекторию [5], а также их совместного воздействия [6]. Однако в этих публикациях нет ссылок на монографии [1, 2], а также на работу [7], где гораздо ранее была предложена математическая модель подъема дымового факела, обладающего начальным

динамическим и тепловым импульсом. В ней принималось, что у вершины трубы в каждое мгновение образуется дымовой клуб или облако конечных размеров, которое сразу же сносится ветром, а на его месте образуется новое. Видимое положение факела в каждый момент представляет собой ряд таких клубов, выпущенных последовательно один за другим.

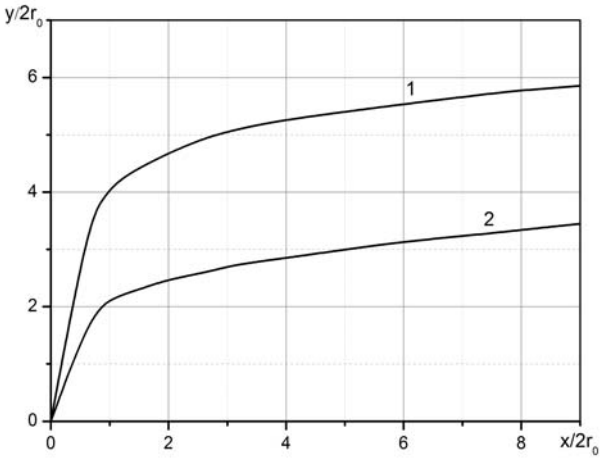


Рис. 2. Результаты расчётов и экспериментальные данные для траектории дымового факела в координатах. Усреднённый график

Как видно из графиков на рис. 1, методика работы [1] даёт заниженные значения траектории дымовой струи вблизи источника выбросов, а методика [4–6] – завышенные. По мере удаления от дымовой трубы характер изменения кривых меняется на противоположный. На рис. 2 для снижения погрешности прогнозирования поведения траектории дымового факела использованы среднеарифметические из этих значений [9].

Предложенный метод оценки прогноза образования основных загрязняющих веществ обеспечивает ресурсосбережение и предназначен для выбора приемлемых режимов работы ТЭЦ с экономической и экологической точек зрения. Он позволяет определять дальность уноса основных загрязняющих веществ (оксиды азота, диоксид серы, зола бурого угля) при фиксировании нагрузки в процессе сжигания твердого топлива и рекомендуется для использования в системах автоматизированного управления отдельными котлоагрегатами и системой в целом.

Список литературы:

1. Волков Э.П. Контроль загазованности атмосферы выбросами ТЭС. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 256 с.
2. Рихтер Л.А., Елизаров Д.П., Лавыгин В.М. Вспомогательное оборудование тепловых электростанций: Учебное пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 216 с.
3. Веселов А.М. Анализ влияния различных факторов на рассеивание в атмосфере выбросов ТЭС, работающих на каменном угле. – Томск: ТПУ, 2011. – т. 2. Теплоэнергетическое и гуманитарное направления. – 356 с.
4. Федосов А.А., Чичирова Н.Д., Шарифуллин А.Ш. Моделирование начального подъёма выбросов тепловых электрических станций. 3. Динамический подъём в масштабе пограничного слоя атмосферы //Изв. вузов. Проблемы энергетики. – 2003. – №1–2. – С. 3-9.
5. Федосов А.А., Чичирова Н.Д., Шарифуллин А.Ш. Моделирование начального подъёма выбросов тепловых электрических станций. 4. Тепловой подъём в масштабе пограничного слоя атмосферы //Изв. вузов. Проблемы энергетики. – 2003. – №3–4. – С. 48-53.
6. Федосов А.А., Чичирова Н.Д., Шарифуллин А.Ш. Моделирование начального подъёма выбросов тепловых электрических станций. 5. Совместный расчёт динамического и теплового подъёма //Изв. вузов. Проблемы энергетики. – 2003. – №5–6. – С. 14-20.
7. Математическое моделирование подъёма дымового факела в атмосфере / Э. П. Волков, Е. И. Гаврилов, П. Т. Зувков, С. А. Фадеев// Изв. вузов. Энергетика. – 1986. – №9. – С. 87-89.
8. Внуков А.К. Защита атмосферы от выбросов энергообъектов: Справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 176 с.
9. Голдаев С.В., Веселов А.М. Прогнозирование начального подъёма дымового факела на основе двух моделей. – Томск.: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – С. 251-254.

УДК 533.6.071.4

Поднятие факела вредных летучих примесей над источником выбросов

К.Г. Добросельский
Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, г. Новосибирск, Россия
Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск, Россия
E-mail: dobroselsky@mail.ru

Показана возможность использования физической модели распространения воздушной струи в поперечном потоке для исследования рассеяния вредных летучих примесей, распространяющихся от сосредоточенных источников в приземном атмосферном слое. Получены эмпирические формулы для определения поднятия факела выбросов над источником и его расширение по ходу распространения.

Вредные летучие примеси наиболее опасны для окружающей среды, так как трудно улавливаются и легко переносятся на большие расстояния. Одними из распространенных загрязнителей атмосферы являются трубы, которые можно считать сосредоточенными источниками.

Существующие модели и методики рассеяния примесей содержат большое количество параметров, зависимость которых от метеоусловий сложна и плохо изучена. Расчеты по ним сильно разнятся [1, 2]. Наиболее достоверные результаты получаются для высоких источников вредных выбросов и далеко от них.

Наибольшее воздействие на окружающую среду оказывают низкие и средние источники, например котельные, располагающиеся вблизи жилых и промышленных зон. Одним из важных параметров распространения выбросов является поднятие факела над источником, и, соответственно, над поверхностью Земли.

Физическая модель изучаемого нами распространения газообразных летучих примесей от сосредоточенных источников представляет собой воздушную осесимметричную струю, выбрасываемую из трубы диаметром d под прямым углом к направлению движения воздушного потока.

Положения, позволяющие использовать модель турбулентной струи в поперечном потоке:

1. Выбросы летучих газообразных примесей, скорость упорядоченного оседания которых практически равна нулю, – турбулентные струи, распространяющиеся в поперечном ветровом потоке.
2. Рассеяние примесей в атмосферном приземном слое осуществляется в конечном итоге под действием диффузии переносящей среды (ветрового, воздушного потока).
3. Поднятие струи выбросов осуществляется только под действием динамических сил, поднятие за счет плавучести нагретых газов под действием архимедовых сил не учитывается.
4. Стратификация и изменение скорости воздушного потока в приземном слое не учитываются.

Основные характеристики струи и потока представлены на рисунке. Для исследования струи в сносящем потоке применялся аэродинамический канал [3] длиной 5,5 м и поперечным сечением 0,8 × 0,5 м. Исследования проводились для относительных скоростных напоров струи и потока q = 0,85…6,12 ($q = u_0^2 / u_1^2$, где u_0 – максимальная скорость струи на срезе трубы; u_1 – скорость сносящего потока).

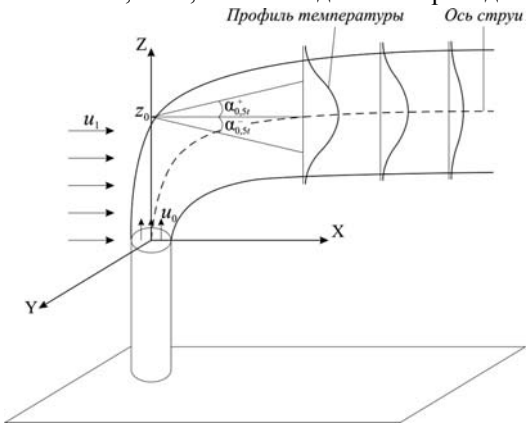


Рис. 1. Основные характеристики струи в поперечном потоке

Значения чисел Рейнольдса для воздушных струй, формирующихся в вертикальных трубках, составляли $Re_0 = 2{,}7 \times 10^3 \ldots 6{,}9 \times 10^3$, где $Re_0 = u_0 d/\nu$ (ν – кинематическая вязкость воздуха). В центральной части канала был сформирован равномерный поток с числом $Re_1 \approx 8{,}5 \times 10^4$, где $Re_1 = u_1 D/\nu$ (D – условный диаметр канала, который определялся из равенства площадей поперечного сечения канала и круглой трубы: $a \times b = \pi D^2/4$. Откуда $D = \sqrt{(4ab)/\pi} \approx 0{,}71$ м).

Реальные атмосферные течения имеют числа $Re_1 > 10^5$, а струи газообразных выбросов – $Re_0 > 10^4$. Однако это неполное подобие чисел Рейнольдса для «натуры» и «модели» не оказывает серьезного влияния на достоверность модельного исследования, так как расширение струи не зависит от плотности, вязкости и числа Рейнольдса, если оно достаточно велико [4].

Критерий Архимеда для исследуемых нами слабонеизотермических струй составлял $\mathrm{Ar} = (gd \cdot \Delta T_0)/(2u_0^2 \cdot T_1) = 2{,}8\times10^{-4} \ldots 1{,}0\times10^{-3}$ (g – ускорение свободного падения; ΔT_0 – разность абсолютных температур в начальном сечении струи и сносящем потоке; T_1 – абсолютная температура потока) при ΔT_0 = 12,5 … 16 К. Реальная струя примесей достаточно быстро приобретает температуру, близкую к окружающей среде. Поэтому можно не учитывать подъем струи за счет плавучести, связанной с разностью температур выбросов и окружающего воздуха [5, 6].

Идентификация струи производилась по полю температуры. В условиях нашего эксперимента изменение температуры струи относительно потока невелико. Поэтому поле температуры подобно полю концентрации пассивной примеси [7].

Для относительных скоростных напоров q = 2,0; 3,10; 5,55 слабонеизотермической струи было получено эмпирическое выражение для точек максимальной температуры [8] (поднятие струи над источником):

$$\bar{z}_0 = q^{0,51}\bar{x}^{0,33}, \qquad (1)$$

где $\bar{x}, \bar{z}_0$ – относительные координаты ($\bar{x} = x/d, \bar{z}_0 = z_0/d$), отсчитываемые относительно устья источника (трубы); x, z_0 – координаты точек максимальной температуры в поперечных сечениях струи (см. рис.).

На основе опытных данных был получен безразмерный профиль избыточной температуры [9], который может быть представлен в виде:

$$\frac{T - T_1}{T_m - T_1} = \exp\left\{-\frac{0,7}{tg^2\alpha_{0,5t}}\left(\frac{z - z_0}{x}\right)^2\right\}, \qquad (2)$$

где T – температура в измеряемой точке; T_m - максимальная температура в рассматриваемом поперечном сечении струи; $tg\alpha_{0,5t}$ – тангенс угла, образованного точкой половинной избыточной максимальной температуры и осью X в рассматриваемом поперечном сечении струи (см. рис.).

Вблизи источника были определены значения тангенсов отдельно выше ($tg\alpha^{+}_{0,5t}$) и ниже ($tg\alpha^{-}_{0,5t}$) оси в поперечных сечениях струи.

По этим опытным данным были получены эмпирические зависимости

$$tg\alpha^{+}_{0,5t} = \frac{0,39q^{0,43}}{\bar{x}^{0,75}} \text{ и } tg\alpha^{-}_{0,5t} = \frac{0,54q^{0,28}}{\bar{x}^{0,75}}. \qquad (3)$$

Далеко от источника ($\bar{x} \approx 15 \ldots 20$) $tg\alpha_{0,5t} \approx 0,10$, струя становится практически спутной [9].

Для конкретного значения q можно найти подъем (факела) струи над поверхностью Земли, определив сначала координату $\bar{x}_0$, когда подъем струи над источником будет максимальным $\bar{z}_{0\max}$, используя выражение для $tg\alpha^{-}_{0,5t}$ и приравняв его к 0,1 и далее, подставив в (1).

$$\bar{x}_0 = \left(\frac{0,54q^{0,28}}{0,1}\right)^{4/3},$$

$$\bar{z}_{0\max} = q^{0,51}\bar{x}_0^{\,0,33}.$$

Разработанная модель дает возможность оценить поднятие факела вредных летучих примесей над поверхностью Земли для различных относительных скоростных напоров струи и потока, позволяет определить расширение струи (3), а также получить профиль избыточной относительной безразмерной концентрации, изменив в (2) температуру T на концентрацию c.

Список литературы:

1. Защита атмосферы от промышленных загрязнений: Справ. изд.: В 2-х ч. Ч.2. Пер. с англ. /Под ред. С.Калверта, Г.М.Инглунда. - М.: Металлургия, 1988. - 712 с.
2. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. - Л.: Гидрометеоиздат, 1987. - 94 с.
3. Добросельский К.Г. Установка для исследования динамики воздушных потоков и струй // Информ. листок. - Благовещенск: ЦНТИ, 1997. - №9.

4. Рейнольдс А.Дж. Турбулентные течения в инженерных приложениях / Пер. с англ. - М.: Энергия, 1979. - 408 с.
5. Лейкин И.Н. Проектирование вентиляционных и промышленных выбросов в атмосферу. - М.: Химия, 1970. - 132 с.
6. Шагапов В.Ш., Гудкова О.С. Распространение паро-газокапельных струй в атмосфере // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. - 2001. - Т. 37. - №3. - С. 313 – 321.
7. Аксенов А.А., Гудзовский А.В., Дядькин А.А., Тишин А.П. Смешение газов при вдуве низконапорной струи в поперечный поток // Изв. РАН. Сер. МЖГ. - 1996. - №3. - С.67-74.
8. Добросельский К.Г. Геометрия слабонапорной струи в поперечном воздушном потоке // Теплофизика и аэромеханика. 2001. Т.8. № 2. С. 199 – 203.
9. Добросельский К.Г. Динамические и тепловые характеристики струи, вдуваемой по нормали к поперечному потоку // Теплофизика и аэромеханика, 2004. Т.11, №1. С. 79 – 86.

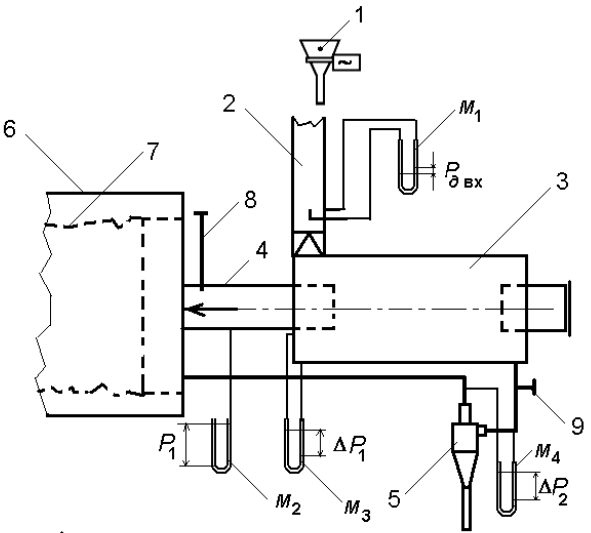
УДК 621.928.3

Исследование процесса обеспыливания воздуха в циклонных аппаратах

М.В. Василевский, И.В. Додонова
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия
E-mail: vasmix40@mail.ru

Разработан метод исследования процесса обеспыливания газов в циклонных аппаратах. При этом использовались известные результаты аэродинамических исследований потоков в циклонных аппаратах. Проведены расчеты эффективности концентрирования частиц в циклонном аппарате, не требующих привлечения экспериментальных коэффициентов по сепарации частиц.

Процесс пылеотделения в циклонах состоит из нескольких этапов: закрутка потока, концентрирование и вывод частиц из сепарационной зоны, формирование слоя в приемнике, удаление уловленной пыли из приемника. Нарушение любого из этапов приводит к неудовлетворительной работе пылеуловителя. Наиболее эффективным осадителем является противоточный циклон с собственным приемником пыли, в котором транспортирующий в него пыль поток газа в объёме замедляет движение и формируется слой из частиц, причем выделяются и частицы менее 10 мкм. В противоточном циклоне основная часть взвешенных в газе частиц отбрасывается к стенке циклона, собирается в жгуты и вместе с частью газового потока движется вниз, проходя через пылевыпускное отверстие в бункер циклона. В бункере завихренный поток меняет своё направление и теряет скорость, вследствие чего происходит выпадение сгустков частиц. Освобождённые от частиц газы, присоединяя к себе части потока, отделяющиеся от нисходящей спирали, движутся по восходящей (внутренней) спирали к выхлопной трубе.



$M_1 M_2$ / $M_3 M_4$ — манометры динамического напора входа, разрежения на выходе концентратора, перепада давления в концентраторе, перепада давления в пылесборном циклоне

1-питатель, 2-входной патрубок, 3-концентратор, 4-выводная труба концентратора, 5-пылесборный циклон, 6-воздухосборник к вентилятору, 7- фильтр, 8- задвижка на выводной трубе концентратора, 9- задвижка на патрубке концентрата пыли

Рис.1 Схема испытательного стенда расходов имеются задвижки 8, 9. Для измерения параметров потока имеются манометры M_1, M_2, M_3, M_4.

Существенное влияние на процесс очистки оказывает турбулентность, которая во многом определяет степень очистки. Поток, поступающий в выхлопную трубу, продолжает интенсивно вращаться. Затухание этого вращательного движения, связанного с невосполнимыми

потерями энергии, происходит сравнительно медленно. Однако эти пылеотделители имеют относительно большие размеры [1].

Большое распространение получили аппараты с дополнительными (выносными) устройствами для осаждения образующегося в них пылевого концентрата. Они компактны, позволяют размещать выносное устройство в удобном для выгрузки уловленной пыли месте. В качестве выносного устройства чаще всего применяют противоточные циклоны с собственными приёмниками пыли.

На рисунке 1 представлен стенд для испытания пылеуловителей, в котором концентрирование пыли осуществляется в противоточном пылеконцентраторе 3, а осаждение пыли происходит в выносном противоточном циклонном аппарате 5.

За счет разрежения, создаваемого вентилятором, на рисунке не показанном, в емкости 6 образуется пониженное давление и воздух через патрубок 2 с пылью, поступающей из питателя 1, проходит в концентратор 3, закручивается, концентрат пыли проходит в циклон 5. Очищенный воздух через выводные патрубки циклонов поступает в фильтр 7 воздухосборника 6. Для регулировки

Таблица 1. Данные измерений

$P_{д1}$ кгс/м^2	P_1 кгс/м^2	ΔP_1 кгс/м^2	ΔP_2 кгс/м^2	t с	$G_{вх}$ г	$G_{ул}$ г
18	200	40	80	180	59	57

На рисунке 2 представлена схема концентратора с распределением окружных скоростей воздуха по радиусу.

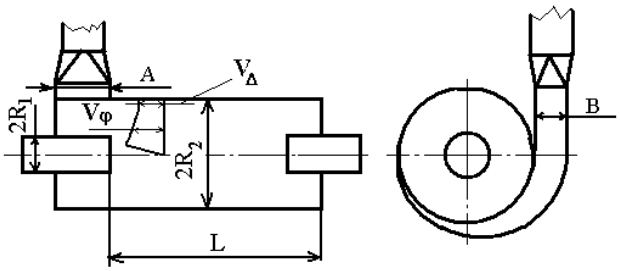


Рис.2 Схема концентратора

Таблица 2. Размерные величины концентратора

$2R_1$, мм	$2R_2$, мм	L, мм	A, мм	B, мм
34	100	200	50	22

Общий коэффициент обеспыливания газа в инерционном аппарате с учетом вывода пыли в выносные пылеуловители определяется формулами $\eta_э = \frac{G_{ул}}{G_{вх}}100 = \frac{G_{вх} - \sum G_{вых}}{G_{вх}}100 = \frac{G_{ул}}{G_{ул} + \sum G_{вых}}100 = \frac{C_{вх}Q_{вх} - \sum C_{вых}Q_{вых}}{C_{вх}Q_{вх}}100\%$, где $G_л$, $G_{вх}$, $G_{вых}$, $C_{вх}$, $C_{вых}$, $Q_{вх}$, $Q_{вых}$ –массы, концентрации частиц, расходы газов.

$q = 3600 \cdot f_ц \cdot \sqrt{\frac{\Delta P_2 \cdot g \cdot 2}{\rho \cdot \xi_ц}} = 1.52\sqrt{\Delta P_2}$ м^3/ч, где $f_ц$ – плановая площадь выносного циклона, $\xi_ц$– коэффициент гидравлического сопротивления выносного циклона.

$Q = 3600 \cdot F_т \cdot k \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot P_{д1} \cdot g}{\rho}} = 14.4\sqrt{P_{д1}}$ м^3/ч, где $F_т$– площадь подводящей трубы $K = \frac{q}{Q} \cdot 100\%$, $C = \frac{G_{вх}}{Q}\frac{3600}{t}$ г/м^3. Заполняется итоговая таблица 3.

Таблица 3. Итоговые величины

Q м^3/ч	q м^3/ч	K	C г/м^3	ΔP_1 кгс/м^2	$\eta_э$
61	13,6	0, 22	19, 3	40	96,6

На рисунке 3 представлен цилиндрический противоточный концентратор. Схема потоков выглядит следующим образом. Запыленный газ с расходом Q входит через сечение 1, поступает в кольцевое пространство с радиусами R_i, R_2. В это же пространство поступает рециркулирующий газ из цилиндрического объема с радиусом R_1 с расходом m_2Q. Через периферийное кольцевое сечения 2 проходит объем газа $(1+m_2)Q$ [2]. Большая часть закрученного газа в кольце с радиусами R_1, R_i, между сечениями 2, 3 в количестве 60–80 % движется в радиальном направлении к оси, меньшая

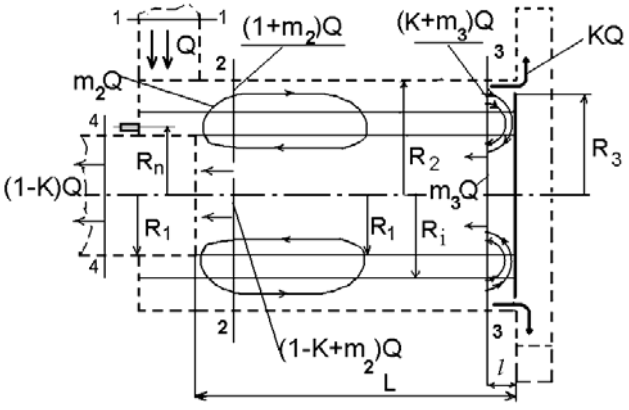


Рис.3. Схема потоков в концентраторе

часть газа с расходами $(m_3+ K)Q$ проходит через периферийное кольцевое сечение 3 и между сечениями 3 и 5 разветвляется на два потока. Поток с расходом KQ выводится из сепарационного объема с отсепарированной пылью, поток с расходом m_3Q поступает между сечениями 3 и 5 в цилиндрическую область с радиусом R_1.

Алгоритм расчета приведен сводкой формул (1) – (14) и заполнением таблицы 3 [3].

$$U_0=\frac{Q}{3600\pi R_2^2}=\frac{61}{3600\pi\cdot 50^2\cdot 10^{-6}}=2{,}16\ \text{м/с},\ V_\Delta\approx Q/(F_1 3600)=61/(50\cdot 22\cdot 10^{-6}\cdot 3600=15{,}43\ \text{м/с}, \quad (1);$$

$$\overline{\Delta P}_{1-2}=\frac{\Delta P_{1-2}}{\rho\frac{V_\Delta^2}{2}}=\frac{1}{n}\left[\left(\frac{R_2}{R_n}\right)^{2n}-1\right],\ n \text{ определяется интерполяцией, } n=0.9 \quad (2);$$

$$A=\upsilon_\Delta^2\cdot\frac{3-2r_m^{1-2n}(n+1)}{3(1-2n)(1-r_*)}=7{,}14^2\,\frac{3-2\cdot 0{,}186^{1-2\cdot 0.9}(0.9+1)}{3(1-2\cdot 0{,}9)(1-0{,}149)}=289{,}63,\ \upsilon_\Delta=V_\Delta/U_0=15.43/2.16=7{,}14, \quad (3);$$

$$\varepsilon=\frac{W_r r}{n+1}=\frac{Q(1-K+2m_2)r}{2\pi rL(n+1)}=\frac{U_0R_2(1-K+2m_2)}{(n+1)(L/2R_2)}=\frac{2{,}16\cdot 0{,}05(1-0{,}22)}{(0.9+1)(0{,}2/(2\cdot 0{,}05)}=0{,}022\ \text{м}^2/\text{с}; \quad (4);$$

$$\alpha=r\frac{\Delta UR_2}{\varepsilon}=r\Delta u\frac{(n+1)(L/2R_2)}{1-K+2m_2}=A\frac{U_0\tau}{R_2}\frac{(n+1)(L/2R_2)}{1-K+2m_2}=$$

δ подставляется в микронах

$$=289{,}63\frac{2{,}16\cdot 92{,}6\cdot 10^{-7}\cdot\delta^2\cdot(0{,}9+1)(0{,}2/2\cdot 0{,}05)}{0{,}05(1-0{,}22)}=0{,}056\delta^2$$

$$\Delta U=\frac{V^2}{R}\tau,\ \tau=\rho_\delta\delta^2/\rho 18\nu=3000\delta^2\cdot 10^{-12}/1.2\cdot 18\cdot 1.5\cdot 10^{-5}=92.6\cdot 10^{-7}\delta^2,\ \Delta u=\frac{\Delta U}{U_0};$$

$$\text{Stk}=\frac{U_0\tau}{R_2},\ \Delta u=\frac{\upsilon^2}{r}\text{Stk}; \quad (5); \quad r_m=\frac{R_m}{R_2},\ r_m=0{,}35\frac{r_1^{1.5}}{f_1^{0.5}}=0.35\frac{0{,}34^{1.5}}{0{,}14^{0.5}}=0{,}186,\ r_1=\frac{R_1}{R_2}=\frac{17}{50}=0.34,$$

$$f_1=\frac{F_1}{\pi R_2^2}=\frac{50\cdot 22\cdot 10^{-6}}{\pi\cdot 50^2\cdot 10^{-6}}=0.14, \quad (6); \quad r_*=\frac{R_*}{R_2}\approx 0.8r_m=0{,}8\cdot 0{,}186=0{,}149, \quad (7);$$

$$\left[2^+\right]=\frac{2}{1-r_i^2}\left[\frac{1-r_i^{\alpha_2+2}}{r_{*2}^{\alpha_2}(\alpha_2+2)}\right],\ r_i=\frac{R_i}{R_2}=0.8+0.2exp(-20b)\ [4], \quad (8);$$

$$\left[2^-\right]=\frac{2}{r_1^2}\left[\frac{r_{*2}^2}{2}+\frac{r_1^{\alpha_2+2}-r_{*2}^{\alpha_2+2}}{r_{*2}^{\alpha_2}(\alpha_2+2)}\right], \quad (9); \quad \left[5^+\right]=\frac{2}{1-r_3^2}\left[\frac{1-r_3^{\alpha_3+2}}{r_{*3}^{\alpha_3}(\alpha_3+2)}\right], \quad (10); \quad \eta_{\text{ri}}=\frac{1}{1+B_1B_2B_3}, \quad (11);$$

$$B_1=\frac{1-\text{K}}{\text{K}}=\frac{1-0.22}{0.22}=3.55, \quad (12); \quad B_2=\frac{\left[2^-\right]}{\left[5^+\right]}, \quad (13); \quad B_3=\frac{\left[3^+\right](K+m_3)-\left[3^-\right]m_3}{\left[2^+\right](1+m_2)-\left[2^-\right](1+m_2-K)}, \quad (14).$$

Таблица 3 Расчетные значения фракционных эффективностей по формулам (1–14)

α	0	0,1	0,2	0,4	1	2	4
δ мкм	0	1,338	1,892	2,675	4,230	5,982	8,460
$r_1^{\alpha+2}$	0,116	0,104	0,093	0,075	0,039	0,013	0,002
r_*^{α}	1	0,827	0,683	0,467	0,149	0,022	0,001
$r_*^{\alpha+2}$	0,022	0,018	0,015	0,010	0,003	0,0005	0,00001
$r_i^{\alpha+2}=0.8^{\alpha+2}$	0,640	0,626	0,612	0,585	0,512	0,409	0,262
$r_3^{\alpha+2}=0.95^{\alpha+2}$	0,903	0,898	0,893	0,884	0,857	0,815	0,735
$\lfloor 2^- \rfloor = \lfloor 3^- \rfloor$	1	1,047	1,088	1,194	1,584	2,648	4,486
$\lfloor 2^+ \rfloor = \lfloor 3^+ \rfloor$	1	1,197	1,436	2,059	6,069	37,34	683,88
$\lfloor 5^+ \rfloor$	1	1,205	1,461	2,123	6,561	43,118	905,86
B_2	1	0,869	0,745	0,562	0,241	0,061	0,005
B_3	1	0,732	0,597	0,478	0,369	0,331	0,321
η_{ti}	0,22	0,307	0,388	0,512	0,76	0,933	0,994

Общая эффективность концентрирования пыли определяется по соотношению $\eta_{t\Sigma}=\sum\eta_{ti}\varepsilon_i$ где: η_{ti} - фракционная эффективность концентратора по расчетной таблице, ε_i - доля частиц i-ой фракции в пыли. По интегральной оценке $\eta_{t\Sigma}=\Phi(X_\Sigma)$, $X_\Sigma=\dfrac{lg(\delta_m/\delta_{50})}{\sqrt{lg^2\sigma_\eta+lg^2\sigma_\delta}}$. Для цементной пыли медианный диаметром частицы $\delta_m=23$ мкм, дисперсия в функции весового распределения пыли $\sigma_\delta=3$, $\lg\sigma_\eta=\lg\dfrac{\delta_{84.1}}{\delta_{50}}=\lg\dfrac{\delta_{50}}{\delta_{16}}$ – дисперсия частиц в функции распределения парциальных коэффициентов очистки, где $\delta_{84,1}$, δ_{50}, δ_{16} - размер частиц, сепарируемых в концентраторе с эффективностью 84,1, 50 и 16% соответственно.

Методом интерполяции найдены значения $\delta_{84.1}$=4,95 мкм и δ_{50}=2,55 мкм. $\sigma_\eta=\dfrac{\delta_{\eta=84.1}}{\delta_{\eta=50}}=\dfrac{4.95}{2.55}=1{,}941$, $X_\Sigma=\dfrac{lg(\delta_m/\delta_{50})}{\sqrt{lg^2\sigma_\eta+lg^2\sigma_\delta}}=1{,}74\cdot$

По таблице интегральной вероятностной функции [1] к.п.д. концентратора на цементной пыли равен 96%. Эффективность стандартного противоточного циклона типа СК–34 диаметром 55мм на цементной пыли по расчету равна $\eta_ц$ = 98,5 %, Эффективность обеспыливания воздуха определится по формуле $\eta_{t0}=\eta_ц\cdot\eta_{t\Sigma}$=0,96·0,985=0,946.

Список 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. Смульский И.И. Аэродинамика и процессы в вихревых камерах. Новосибирск: ВО "Наука" 1992. – 301с.
3. Василевский М. В., Зыков Е. Г., Разва А. С. Расчетная модель концентрирования частиц в противоточном цилиндрическом циклонном аппарате. // Теоретич. основы хим. технологии, 2011, т. 45, № 3 с. 321–328.
4. Штым А.Н. Аэродинамика циклонно-вихревых камер. – Владивосток: Дальневосточный ун-т, 1985. –200 с.

Новый способ переработки диоксида серы, содержащегося в отходящих обжиговых газах металлургических производств

Е.В. Заболотская, Т.С. Цыганкова, В.Н. Михеев
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

В настоящее время, когда во всем мире существуют экологические проблемы, связанные с наличием промышленных отходов, ученые ищут пути решения производственных проблем в наиболее безопасном варианте для окружающей среды.

С этой точки зрения использование техногенных материалов в строительной промышленности является наиболее целесообразным направлением, поскольку в этом случае соблюдается основной закон природы – круговорот веществ. Сейчас, в производстве строительных материалов в основном используются природное сырье, однако в целях развития ресурсоэффективных технологий значительное их количество с успехом можно заменить техногенными материалами, в частности, техногенным ангидритом.

Целью данных исследований является использование выбрасываемого в атмосферу кислого газа – диоксида серы за счет превращения его в востребованный в строительной промышленности материал – ангидритовое вяжущее, на примере ОАО «Горно-металлургический комбинат «Норильский никель».

Согласно поставленной цели в задачи решения указанной проблемы вошли следующие исследования:

- определение условий и режимов, при которых будет происходить полная нейтрализация серной кислоты известняком, с получением безводного сульфата кальция;
- определить состав полученного материала с помощью рентгенофазового анализа.

Для исследований были использованы следующие существующие методы: рентгенофазовый анализ образующегося в результате нейтрализации серной кислоты известняком сульфата кальция; ситовой анализ сыпучих материалов для определения гранулометрического состава компонентов; потенциометрический анализ водной вытяжки продуктов нейтрализации; метод определения прочности образцов на сжатие с помощью лабораторного пресса.

В ОАО «Горно-металлургический комбинат «Норильский никель» производится первоначальное получение серной кислоты из серосодержащих обжиговых газов металлургического производства.

В опытах использовали серную кислоту марки х.ч. с концентрацией 93 % масс. и известняк месторождения в г. Норильске следующего химического состава, % массовые (% масс.): $CaCO_3$ – 86,5; Al_2O_3 – 2,01; SiO_2 – 6,18; Fe_2O_3 – 1,28; MgCO3 – 2,78; S – 0,31.

Предварительными опытами было установлено, что для нейтрализации серной кислоты указанным известняком требуется измельчение последнего с содержанием максимального размера его гранул ниже 200 мкм. Увеличение размера гранул известняка вызывало увеличение времени реагирования реагентов выше технологически приемлемых значений. Показателем степени нейтрализации серной кислоты служило значение pH водной вытяжки продукта взаимодействия измельченного и просеянного через сито известняка с серной кислотой. Стехиометрическое количество известняка не обеспечивало полную нейтрализацию серной кислоты даже при температурах выше 150ºС. Поэтому были проведены опыты по определению оптимального избытка известняка относительно стехиометрически необходимого для полной нейтрализации серной кислоты.

С целью получения безводного сульфата кальция и исключению возможности образования полуводного сульфата кальция были проведены исследования по определению оптимальной температуры процесса нейтрализации вышеуказанных реагентов.

Влияние влияния времени перемешивания известняка с серной кислотой на значение pH продукта нейтрализации определяли следующим образом.

Известняк перемешивали с серной кислотой при температуре взаимодействия 120 ºС в лопастном лабораторном смесителе при избытке известняка над стехиометрическим количеством 50 % масс. Кислотность водной вытяжки полученного материала определяли с помощью аналитического устройства pH-150 МИ (ООО «Измерительная техника», г. Москва, 2010 г.). Водная вытяжка техногенного ангидрита представляет собой водный раствор водорастворимого сульфата кальция после тщательного перемешивания навески продукта в количестве 10 г в 50 мл дистиллированной воды, и выдержки в спокойном состоянии на протяжении 5 минут. Результаты измерений представлены в таблице 1.

Таблица 1. Влияние времени перемешивания известняка с кислотой на pH водной вытяжки массы

№ п/п	Время перемешивания, мин.	Значения pH
1	4	2,4
2	5	3,9
3	6	5,3
4	7	5,3
5	8	5,3

Из таблицы видно, что рекомендуемое время перемешивания серной кислоты с Норильским известняком в лопастном смесителе составляет 6 минут.

Влияние температуры реакции на значение pH продукта нейтрализации определяли следующим образом.

При проверке зависимости степени нейтрализации серной кислоты известняком (фракция – 60 мкм) время перемешивания массы составило 6 минут. Результаты опытов представлены в таблице 2.

Таблица 2. Влияние температуры реакции на pH водной вытяжки получаемого кальцитоангидрита

№ п/п	Температура, ºС	Значения pH
1	105	5,2
2	120	5,3
3	130	5,3
4	140	5,3
5	150	5,4

Из таблицы видно, что более полно нейтрализация происходит температуре реакции равной 120 ºС.

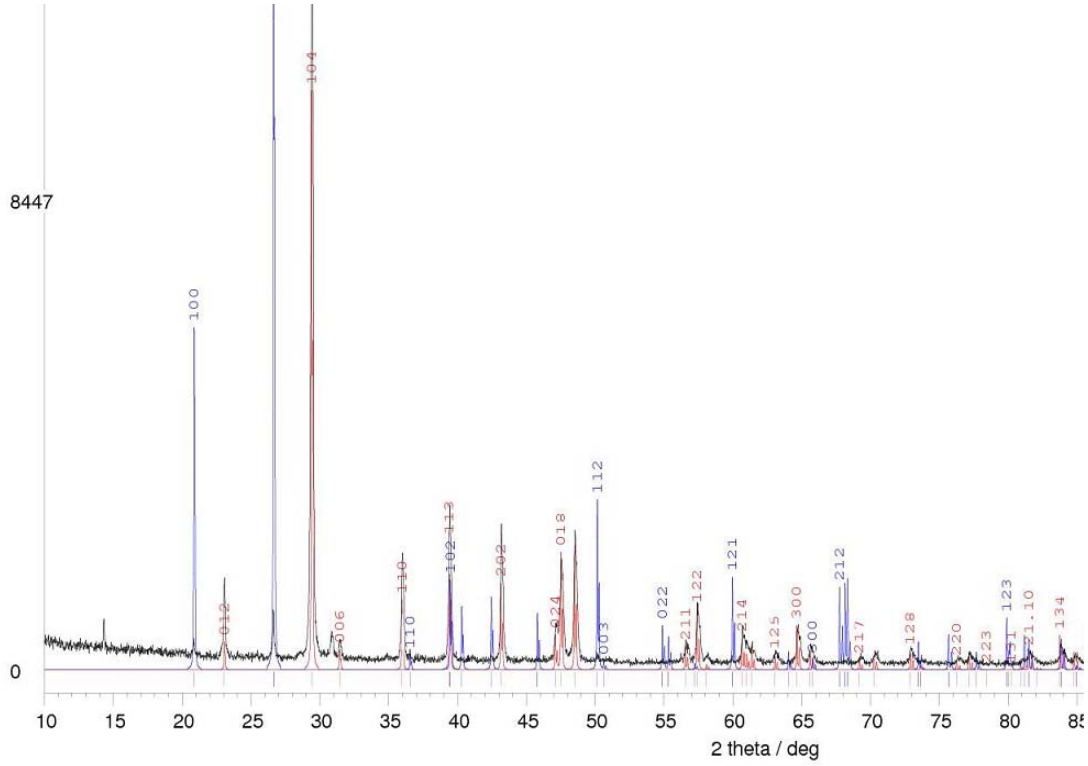


Рис. 1. Рентгенограмма известняка Норильского месторождения

Следующим этапом исследований явилось определение зависимости значения pH от избытка известняка. Результаты данных опытов представлены в таблице 3.

Таблица 3. Влияние избытка известняка на pH водной вытяжки получаемого продукта нейтрализации.

№ п/п	Избыток известняка, % масс.	Значения pH
1	30	4,3
2	40	4,8
3	50	5,3
4	70	5,3

Из таблицы видно, что рекомендуемый избыток известняка составляет 50% масс.

Образцы известняка Норильского месторождения и продукта нейтрализации серной кислоты Норильским известняком были подвергнуты рентгенофазовому анализу с помощью дифрактометра ***Shimadzu XRD-7000***, результаты которых представлены на рисунке 1 и 2 соответственно.

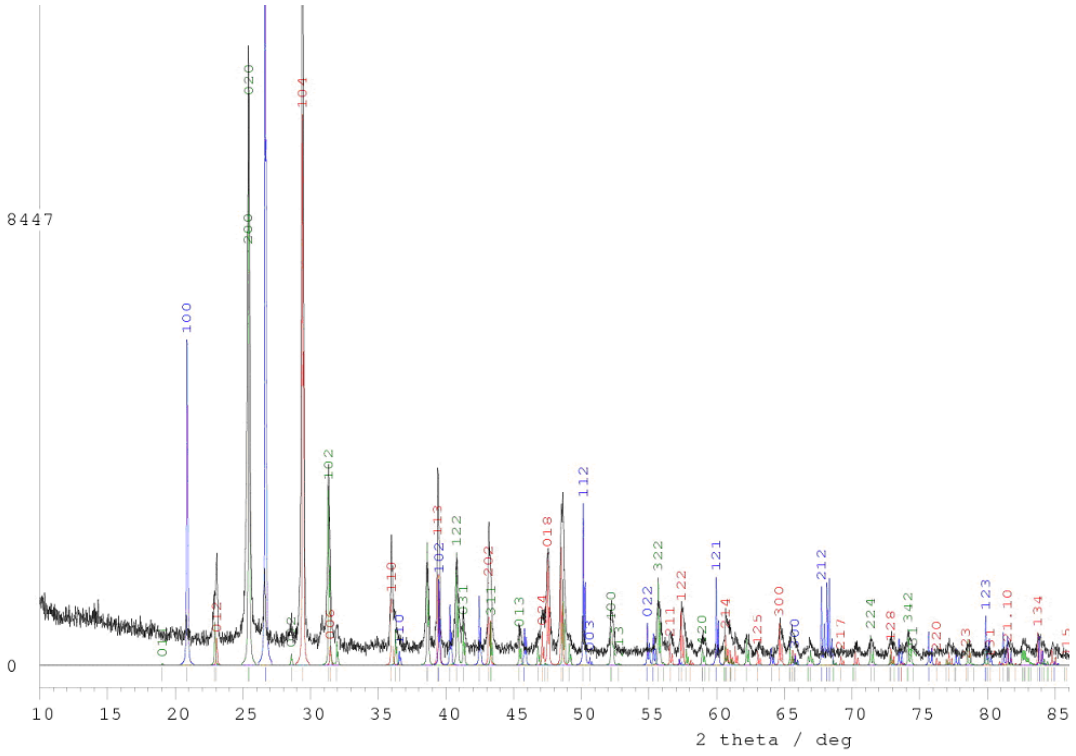


Рис. 2. Рентгенограмма продукта нейтрализации серной кислоты известняком Норильского месторождения.

Как показали результаты РФА, в продукте нейтрализации серной кислоты известняком, который мы назвали кальцитоангидритом, присутствует безводный сульфат кальция – $CaSO_4$, а также карбонат кальция $CaCO_3$ и инертный материал (SiO_2). Полуводного и двуводного сульфата кальция не обнаружено.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

1. Определены следующие условия и режимы получения безводного сульфата кальция, при которых будет происходить полная нейтрализация серной кислоты известняком – время перемешивания 6 минут, температура процесса 120 ^oC, избыток известняка.
2. Рентгенофазовый анализ показал, что в результате взаимодействия серной кислоты и известняка образовывается безводный сульфат кальция, названный нами кальцитоангидритом, в отличие от известных ранее фторангидрита и фосфоангидрита, и может быть использован для получения закладочных растворов для заполнения шахтных пустот в ОАО «Горно-металлургический комбинат «Норильский никель».

Список литературы

3. Федорчук Ю.М., Цыганкова Т.С. Разработка способов снижения воздействия фтороводородных производств на окружающую среду. Томск: изд-во ТПУ, 2010, 152 с.

4. Воробьев Х.С. Гипсовые вяжущие изделия (Зарубежный опыт) // М.: Стройиздат, 1983. – 232 с.
5. http://www.textra-vita.com/technology/konserv12.php

Нечеткое регулирование параметров информационных систем

В.Н. Извеков
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия
E-mail izvekovvn@tpu.ru

Рассмотрен процесс нечеткого регулирования для поддержания оптимального режима работы котла ТЭЦ при потере одного из информационных параметров, регулирующих режим работы

В общем случае, информационная система (ИС) предназначена для получения, передачи и обработки измерительной информации. Структурную схему ИС можно иллюстрировать Рис. 1.

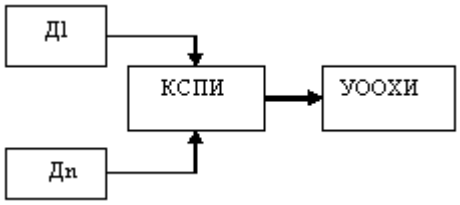


Рис.1. Структурная схема ИС
Д1…Дn – измерительные датчики; КСПИ – канал сбора и передачи информации; УООХИ– устройство обработки, отображения, хранения информации или управления какими-либо оконечными устройствами

При многоканальном процессе получения и обработки информации (когда датчиков несколько) отказ одного из каналов может привести к искажениям в ИС и сбою работы оконечных устройств.

Примером подобной ИС может служить ИС, предназначенная для дистанционного измерения концентраций газовых компонентов в факеле выбросной трубы ТЭЦ с учетом изменения температуры факела для оптимизации режима работы котла.
Структурная схема ИС приведена на Рис. 2.

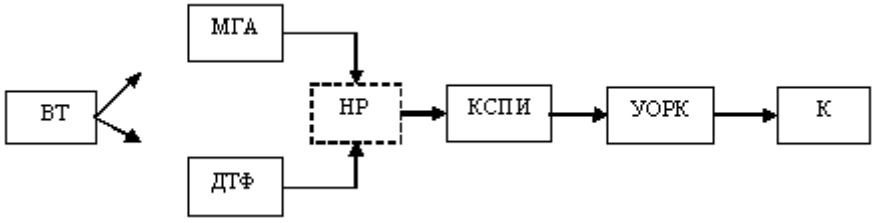


Рис. 2. Структурная схема ИС
ВТ - выбросная труба; МГА - многокомпонентный газоанализатор; ДТФ - датчик температуры факела; КСПИ- канал сбора и передачи информации; УОРК -устройство оптимизации режима котла; К-котел

При установленных (рекомендованных) показаниях МГА и ДТФ режим работы котла оптимален. При отклонениях показаний МГА и ДТФ от установленных (нарушение оптимального режима работы) УОРК оптимизирует режим работы котла.

В общем случае режим работы котла зависит от показаний МГА и ДТФ, т. е.

$$Рк = f\ (Пмга, Пдтф),$$

где Рк – режим работы котла, Пмга – показания МГА, Пдтф – показания ДТФ.

Возможна ситуация, когда один из датчиков выходит из строя, что приводит к искажению информации и нарушению оптимального режима работы котла. Учесть потерю информации от одного из датчиков МГА или ДТФ, т.е. поддерживать техпроцесс в рамках заданных параметров, можно введением в ИС нечеткого регулятора (НР) (Рис. 2).

Принцип действия НР основан на понятиях нечеткой логики [1].

Основные базовые понятия нечеткой логики:

- лингвистическая переменная (ЛП) (любая физическая величина, которая имеет больше значений, чем только ДА или НЕТ);
- терм (множество значений ЛП);
- функция принадлежности (описывает степень принадлежности ЛП к терму);

- нечеткая база знаний (совокупность нечетких правил, определяющих взаимосвязь между входами
и выходами исследуемого объекта).

Реализация нечеткого процесса состоит из следующих стадий [2]:
- фаззификация (определение степени уверенности в том, что выходная ЛП принимает значение – конкретный терм);
- нечеткий логический вывод (вычисление значения истинной принадлежности ЛП терму на основании набора правил, т.е. нечеткой базы знаний);
- дефаззификация (преобразование нечеткого набора значений ЛП к точным значениям).

Функциональная схема процесса представлена на Рис. 3.

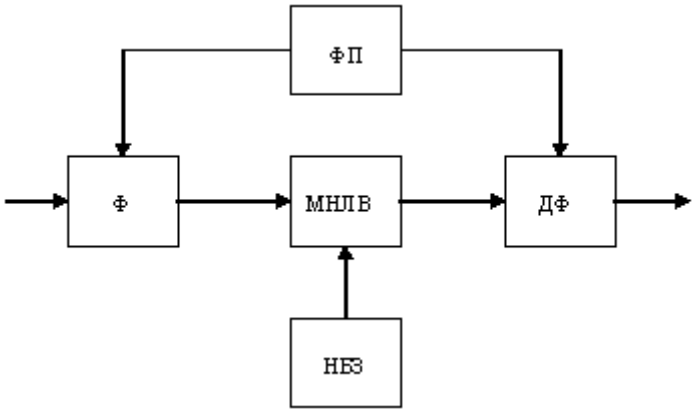


Рис.3. Нечеткий логический вывод
Ф – фаззификатор; ФП – функции принадлежности; МНВЛ – машина нечеткого логического вывода; НБЗ – нечеткая база знаний; ДФ – дефаззификатор

Имея значения и диапазоны заданных значений ЛП (Ci, T,) с выбранными функциями принадлежности и базой нечетких правил, в соответствии со схемой Рис.2 можно реализовать НР с заданными параметрами как для случая отсутствия информации (выход из строя датчика) о значении Ci (показания МГА), так и о значении T (показания ДТФ).

Предложенная модель нечеткого регулирования параметров режима котла теплоэнергетических установок позволяет восполнить потерю информации об уровнях влияющих величин на оптимизацию режим котла (при выходе из строя одного из датчиков), т.е. повысить качество процесса сжигания и избежать нештатных ситуаций при эксплуатации.

Список литературы

1. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. – Мир, 1976. 168 с.
2. Ефимов А.С., Моренов О.А. Основы нечеткой логики, логико-лингвистические модели. – Материалы семинара ITLab, НГУ, Нижний Новгород, 2004.
3. Способ подготовки смеси воздуха с топливом и ее сжигания в камере сгорания теплоэнергоустановки и устройство для его осуществления. Пат. Рос. Федерации № 211 6574.

Регулирование параметров производственной среды при неопределенности в исходной информации

В.Н. Извеков
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия
E-mail izvekovvn@tpu.ru

Рассмотрен процесс нечеткого регулирования для поддержания заданных микроклиматических параметров производственной среды при потере одной из информационных величин, регулирующих режим работы

Согласно ряду нормативных документов [1,2] микроклиматические параметры производственной среды (температура – T, влажность – Ф, скорость движения воздуха – V) должны поддерживаться в допустимых пределах.

Эти пределы предполагают некоторый разброс параметров (интервал).

Существует ряд производств (например, производство сверхчистых веществ, кристаллов и пр.) в которых параметры производственной среды должны обеспечиваться и поддерживаться на заданном уровне с очень высокой точностью, от чего зависит качество конечной продукции.

Эта задача решается с помощью программируемых установок кондиционирования параметров производственной среды.

Они обеспечивают заданные параметры, а их контроль осуществляется либо отдельными датчиками либо комбинированными устройствами контроля с передачей информации в устройство регулирования и поддерживания постоянства параметров производственной среды кондиционера.

Структурная схема подобной установки может быть проиллюстрирована Рис. 1.

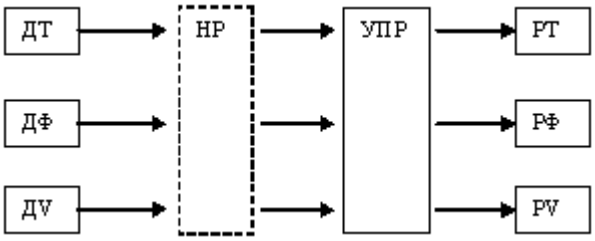


Рис. 1. Структурная схема установки
ДТ – датчик Т; ДФ – датчик Ф; ДV– датчик V; УПР – устройство принятия решений; РТ – регулятор Т; РФ – регулятор Ф; РV – регулятор V;

В общем случае режим работы кондиционера зависит от информационных параметров датчиков, т. е.

$$Рк = f(Т, Ф, V).$$

Возможна ситуация, когда один из датчиков выходит из строя, что приводит к искажению информации о параметрах производственной среды, нарушению ее заданного состояния и несоответствию качества конечной продукции установленным требованиям.

Учесть потерю информации от одного из датчиков ДТ, ДФ или ДV, т.е. поддерживать техпроцесс в рамках заданных параметров, можно введением в структуру установки нечеткого регулятора (НР) (Рис. 1).

Принцип действия НР основан на понятиях нечеткой логики [3].

Основные базовые понятия нечеткой логики:

- лингвистическая переменная (ЛП) (любая физическая величина, которая имеет больше значений, чем только ДА или НЕТ);
- терм (множество значений ЛП);
- функция принадлежности (описывает степень принадлежности ЛП к терму);
- нечеткая база знаний (совокупность нечетких правил, определяющих взаимосвязь между входами и выходами исследуемого объекта).

Реализация нечеткого процесса состоит из следующих стадий [4]:

- фаззификация (определение степени уверенности в том, что выходная ЛП принимает значение – конкретный терм);
- нечеткий логический вывод (вычисление значения истинной принадлежности ЛП терму на основании набора правил, т.е. нечеткой базы знаний);
- дефаззификация (преобразование нечеткого набора значений ЛП к точным значениям).

Функциональная схема процесса представлена на Рис. 3.

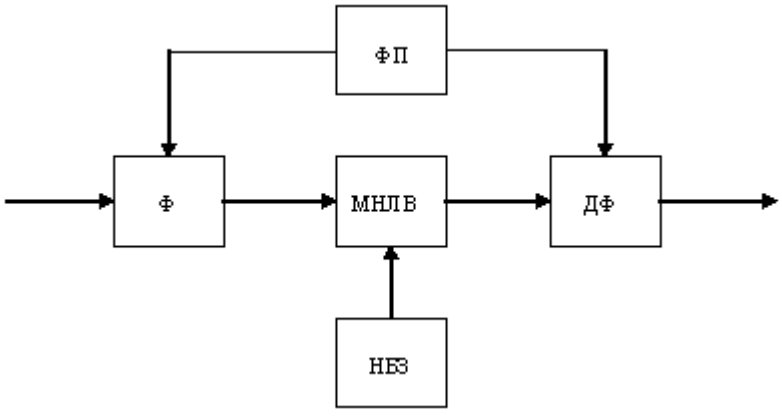


Рис.3. Нечеткий логический вывод
Ф – фаззификатор; ФП – функции принадлежности; МНВЛ – машина нечеткого логического вывода; НБЗ – нечеткая база знаний; ДФ – дефаззификатор

Имея значения и диапазоны заданных значений ЛП (Т, Ф, V) с выбранными функциями принадлежности и базой

нечетких правил, в соответствии со схемой Рис.3 можно реализовать НР с заданными параметрами для случая отсутствия информации (выход из строя датчика) о значении либо Т либо Ф либо V.

На сегодня существуют многочисленные серийные микросхемные реализации нечетких регуляторов (контроллеров), реализующих схему Рис. 3, которые можно использовать для реализации устройства по схеме Рис. 1.

Предложенная модель нечеткого регулирования постоянства параметров производственной среды позволяет восполнить потерю информации об одном из факторов (при выходе из строя одного из датчиков), т.е. обеспечить поддержание заданных параметров производственной среды и соответствие качества конечной продукции установленным требованиям.

Список литературы:

1. ГОСТ 12.1.005 – 88 (с изм. №1 от 2000 г.) ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (01.01.89).
2. СаНПиН 2.2.4.548 – 96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
3. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. – Мир, 1976. 168 с.
4. Ефимов А.С., Моренов О.А. Основы нечеткой логики, логико-лингвистические модели. – Материалы семинара ITLab, НГУ, Нижний Новгород, 2004.

Диагностика нанопорошков металлов: тепловые характеристики горения в воздухе

[1]Шувалов Г.В., [1]Клековник И.В., [2]Ильин А.П., [2]Тихонов Д.В., [2]Роот Л.О.
[1]ФГУП «Сибирский НИИ метрологии», г. Новосибирск, Россия
[2]Томский политехнический университет, г. Томск Россия
E-mail: genchem@mail.ru

Известно, что диспергирование горючих материалов повышает их горючесть: снижается температура перехода экзотермического окисления в процесс горения, повышается скорость горения, температура в зоне горения и мощность теплового потока, что представляет собой термическую опасность для окружающих материалов [1].

Одной из актуальных проблем в прогнозировании пожаробезопасности является количественное измерение тепловых потоков. При этом необходимо иметь устойчивые к нагреванию датчики тепловых потоков и проводить их измерения. Ранее нами были разработаны 4 параметра термической активности нанопорошков металлов, на которые получены Государственные стандарты [2].

Цель работы: создание прибора, с помощью которого можно измерять мощные тепловые потоки от горящих материалов, в том числе от горящих нанопорошков.

Для решения задачи выбрана схема адиабатического калориметра с водоохлаждающимися приемниками излучения, специальным держателем и термостойкими стенками. Инициирование процесса горения осуществляли с помощью твердотельного лазера. В процессе горения нанопорошков и охлаждения их продуктов сгорания проводилась запись потоков излучения с интервалом через 0,1 с. Данные измерения выводились на компьютер в процессе измерения в реальном масштабе времени. Особенностью нанопорошков является неоднозначность их характеристик: наблюдаются флуктуации плотности, энергонасыщенности и, как следствие, разброс показаний параметров горения нанопорошков. Различные по природе нанопорошки характеризуются своими специфичными параметрами горения. Например, нанопорошок алюминия сгорает в две стадии, которые различаются по длительности, температуре в зоне реакции и по величине тепловых потоков.

Нанопорошки молибдена, алюминия, никеля, титана, меди и вольфрама получали на опытно-промышленной установке УДП-4Г, принципиальная схема которой показана на рис.1 Установка работает следующим образом. От высоковольтного источника питания 1 заряжается емкостной накопитель энергии 2. Механизм подачи проволоки 3 обеспечивает автоматическую подачу взрываемого отрезка проволоки 4 между двумя электродами 5 и 11.

При достижении проволокой пробивного промежутка до высоковольтного электрода 5 срабатывает коммутатор 6, происходит разряд емкостного накопителя на этот отрезок проволоки – и он взрывается. Образовавшийся порошок собирается в накопителе 7. Отделенный от порошка газ с помощью вентилятора 8 подается в камеру. Объем разрядной камеры 9 перед работой

вакуумируется, а затем заполняется газовой атмосферой. Эти функции выполняет система газового снабжения 10. В качестве газовой атмосферы при производстве нанопорошков металлов использовался аргон. Давление рабочего газа во взрывной камере установки составляло $1...3 \cdot 10^5$ Па. После получения проводилось пассивирование нанопорошков медленным окислением компонентами воздуха.

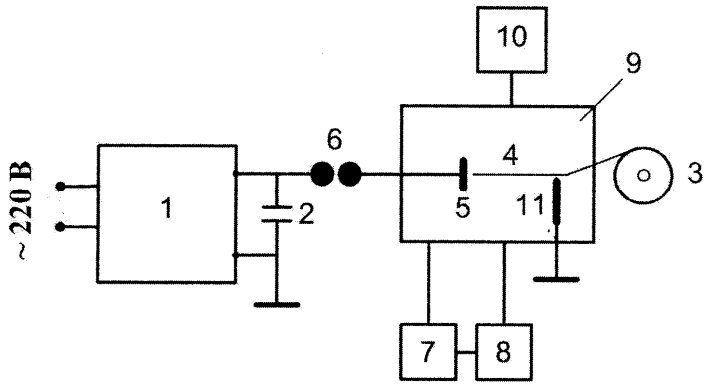


Рис. 1. Принципиальная схема установки УДП-4Г для производства нанопорошков с помощью ЭВП: 1 – источник питания; 2 – накопитель энергии; 3 – механизм подачи проволоки; 4 – взрываемый проводник; 5 – высоковольтный электрод; 6 – коммутатор; 7 – накопитель нанопорошка; 8 – вентилятор; 9 – взрывная камера; 10 – система газового снабжения; 11 – заземленный электрод.

Измерение тока в контуре проводилось с помощью омического шунта и цифрового запоминающего осциллографа. Напряжение на взрывающемся проводнике измерялось с использованием омического делителя напряжения. Электрический взрыв проводников осуществляли в режиме «быстрого взрыва» с бесконечной паузой тока или с дуговой стадией. Энергетические параметры электровзрыва регулировались путем изменения зарядного напряжения, величины зарядной емкости или длины взрываемого проводника. Величина удельной введенной в проводник энергии (e) принимала значения от 0,8 до $1,0e_с$ ($e_с$ - энергия сублимации материала проводника), а энергии дуговой стадии ($e_д$) – от 0,2 до $1,6e_с$. Параметры электрического контура установки: емкость батареи конденсаторов C= 2,32 мкФ; напряжение зарядки накопителя энергии U=19...29 кВ; индуктивность разрядного контура L = 0,58 мкГн.

Полуколичественный фазовый анализ состава полученных нанопорошков проводили с помощью рентгеновского дифрактометра Shimadzu XRD-7000 с использованием $Cu_{K\alpha}$–излучения трубки. Дисперсность и форму частиц определяли с помощью растрового микроскопа JSM-7500FA (Jeol). Определение площади удельной поверхности порошков осуществлялось с помощью метода низкотемпературной адсорбции азота (метод БЭТ). Функции распределения частиц порошка по диаметру были получены с помощью анализатора «Mastersizer 2000». Химическую активность порошков исследовали с помощью термического анализа, включающего термогравиметрию (ТГ) и дифференциально-термический анализ (ДТА). В работе использовали совмещенный термоанализатор ТГА/ДСК/ДТА SDT Q600 научно-аналитического центра Томского политехнического университета. Анализ проводили в режиме линейного нагрева в интервале температур 20…1200 °С со скоростью нагрева 10 град./мин в атмосфере воздуха.

Таблица 1. Характеристики нанопорошков алюминия, полученных методом ЭВП.

Образец	Удельная площадь поверхности, $м^2/г$	Содержание алюминия, % масс.	Температура начала окисления, ºС	Уровень окисленности, %	Условный тепловой эффект, отн.ед.
Al-30	10,8±0,3	88,0±1,4	540	27,4	3,9
Al-28	9,9±0,3	87,9±0,3	530	28,6	5,5
Al-26	9,9±0,9	88,1±1,1	550	26,5	3,7
Al-24	9,3±0,3	88,5±0,9	540	35,4	2,9
Al-22	8,8±0,25	90,9±0,8	550	39,1	3,3
Al-20	6,7±0,2	90,0±0,6	540	31,3	3,1
Al-18	7,7±0,25	91,0±0,7	550	28,3	2,9

Согласно полученным результатам (табл.1) с увеличением напряжения на взрываемом проводнике алюминия дисперсность нанопорошков увеличивается, но при напряжении 28-30 кВ дисперсность достигает максимума (10 $м^2/г$). Максимальный тепловой эффект проходит через максимум, и при увеличении напряжения с 28 до 30 кВ снижается, что, вероятно, связано с высокой активностью и спеканием нанопорошка.

В отличие от взрыва алюминиевого проводника для взрыва проводника из меди, активность нанопорошка меди (табл.2) возрастает быстрее и достигает максимума уже при напряжении на проводнике 26 кВ. Изменение теплового эффекта не так существенно, как для нанопорошка алюминия, но величина теплового эффекта имеет тенденцию к росту.

Необходимо отметить, что для обеих серий нанопорошков температура начала окисления практически не изменяется: для нанопорошка алюминия она составляет 530…550 ºС, а для нанопорошка меди – 160…170 ºС, то есть она практически не зависит от дисперсности нанопорошков. Электрический взрыв проводников представляет собой действие энергии высокой плотности мощности на металлы. С повышением напряжения, подаваемого на проводник введенная в проводник энергия увеличивается, что приводит к повышению активности, получаемых нанопорошков. Активность нанопорошков возрастает до определенного предела, после которого наблюдается спекание нанопорошков в процессе их пассивирования: для нанопорошка алюминия – это 28 кВ, а для меди – 26 кВ.

Таблица 2. Характеристики нанопорошков меди, полученных методом ЭВП.

Образец	Удельная площадь поверхности, $м^2/г$	Температура начала окисления, ºС	Уровень окисленности, %	Условный тепловой эффект, отн.ед.
Cu-30	6,2±0,2	165	20,1	1,5
Cu-28	8,2±0,2	170	19,4	1,4
Cu-26	10,2±0,3	170	19,6	1,6
Cu-24	5,7±0,2	160	18,7	1,5
Cu-22	3,8±0,2	170	19,8	1,5
Cu-20	3,7±0,3	170	20,8	1,4
Cu-18	3,9±0,1	170	20,6	1,2

Разработанный прибор для измерения тепловых потоков от горящих материалов получил название «Термомер-1». Эксперименты по измерению по измерению тепловых потоков от горящих нанопорошков многократно дублировали (не менее 6 раз) и рассчитывали в $Вт/м^2$. Полученные величины тепловых потоков коррелировали со стандартными значениями энтальпии образования соответствующих оксидов.

Выводы

1. Разработан и изготовлен прибор для измерения тепловых потоков от горящих материалов получил название «Термомер-1».
2. Проведены испытания прибора «Термомер-1» при использовании в качестве объекта испытаний нанопорошков металлов: молибдена, алюминия, никеля, титана, меди, вольфрама и сплава никель-хром.
3. Разработанный прибор «Термомер-1» рекомендуется для использования при тестировании горючих материалов, в том числе нанопорошков металлов.

Список литературы:

1. Громов А.А., Хабас Т.А., Ильин А.П. Горение нанопорошков металлов.– Томск: Дельтоплан, 2008.–383 с.
2. Свидетельства от 30 декабря 2009 года на государственные стандартные образцы: №1078/2 «Теплового эффекта окисления нанопорошков металлов»; №1079/2 «Степени окисленности нанопорошков металлов»; №1080/2 «Температуры начала окисления нанопорошков металлов»; №1081/2 «Относительного содержания размерных фракций нанопорошка алюминия в диапазоне 50-500 нм». Стандарты разработаны ФГУП «СНИИМ», г. Новосибирск и ГОУ ВПО ТПУ ОСП «НИИ ВН», г. Томск.

Способ измерения емкости ДЭС и УЭП водных растворов с использованием источника тока по форме напряжения на кондуктометрической ячейке

А.Г. Кагиров, К.В. Сесь
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия
E-mail: kagirov@tpu.tpu

Проведено измерение проводимости водного раствора KCl с использованием источника тока по форме напряжения на кондуктометрической ячейке. Получены осциллограммы напряжений кондуктометрической ячейки с масштабом 20 мВ/дел и 100 мкс/дел, при измерении проводимости растворов KCl разной концентрации, а именно 0.01 М и 1 М. Замечено, что происходит не только уменьшение среднего за период значения напряжения на кондуктометрической ячейке, но и изменение формы сигнала. Полученные данные свидетельствуют о том, что для увеличения точности измерений коммутируются различные образцовые сопротивления. Разработана схема измерения проводимости растворов с использованием источника переменного напряжения с регулируемой амплитудой, а также образцовых резисторов, коммутируемых в резистивном делителе.

Контактная кондуктометрия – один из наиболее универсальных и совершенных методов исследования физико-химических характеристик различных систем и в первую очередь растворов электролитов. Наряду с широким использованием в лабораторной практике кондуктометрические методы находят известное применение в промышленности [1–3], позволяя непрерывно контролировать и регулировать производственные процессы с помощью относительно несложных устройств. Методами кондуктометрии определяют многие физико-химические характеристики растворов, определяющие как их равновесные свойства, так и кинетику протекающих в растворах реакций, проводят количественный анализ растворов [4, 5]. Современная кондуктометрия – это совокупность большого числа методов измерения преимущественно активной составляющей импеданса ячейки, которая определяется электропроводностью электролитов, находящихся в ячейке.

Большинство современных кондуктометров реализуют контактный метод измерения на низкой частоте (до 40–50 кГц). Теория бесконтактных методов разработана к настоящему времени в меньшей степени, чем теория контактной кондуктометрии. В некоторых случаях, несмотря на высокую чувствительность измерений современной бесконтактной аппаратуры, это вносит неопределенность в интерпретацию результатов измерения при дальнейших расчетах удельной проводимости по измеренному значению тока или напряжения. При оценке достоверности результатов измерения контактным или бесконтактным методом первому из них отдается предпочтение, особенно при абсолютных измерениях [6, 7]. Всё большее число кондуктометров становятся микропроцессорными, имеют нормированный электрический выходной сигнал, цифровую форму индикации показаний, позволяют проводить измерение температуры исследуемой жидкости и приводить результаты измерения к температуре 20 или 25°С.

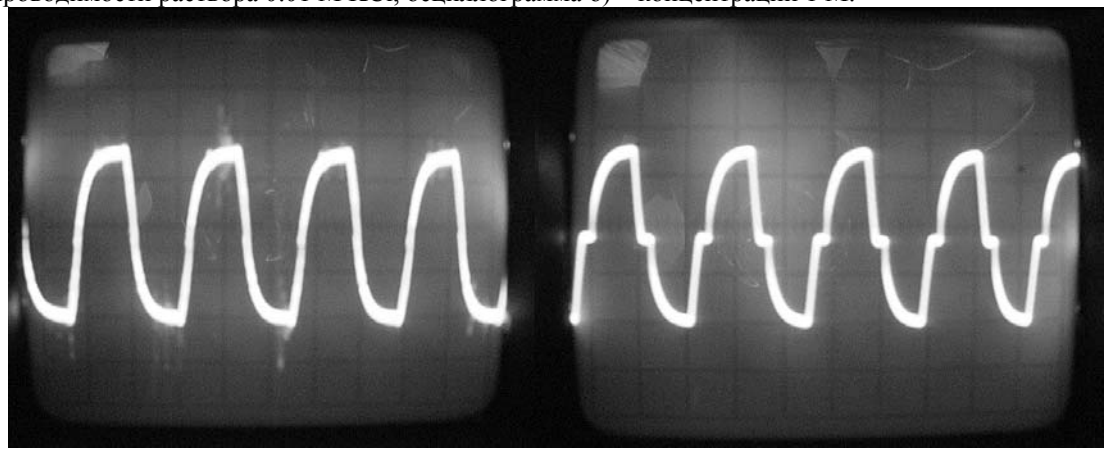
Простота схемотехнических решений, приводит к удешевлению приборов, уменьшению их габаритов и энергопотребления, однако при этом уменьшается диапазон измерения проводимости кондуктометров. Наиболее часто применяются схемы прямого преобразования переменного тока кондуктометрической ячейки в постоянное напряжение, и дальнейшего его измерения в аналогово-цифровом преобразователе. Естественным недостатком вышеописанной измерительной схемы является увеличение погрешности измерения при малой удельной проводимости раствора.

Целью настоящей работы является разработка более совершенного способа повышения точности измерения проводимости растворов.

Для повышения точности измерения применяют либо несколько ячеек с различной поверхностью электродов, либо одну кондуктометрическую ячейку с подвижными электродами. В этом случае обеспечивается заданная погрешность измерения во всем интервале измеряемых значений проводимости за счет изменения параметров кондуктометрической ячейки. Однако такой способ приводит к увеличению стоимости конечного прибора.

Анализируя способы повышения точности измерения, мы выяснили, что повысить точность измерения в случае мостовой или полумостовой схемы также можно используя различные номиналы образцовых резисторов. Однако этот способ требует нормировки выходного значения напряжения на кондуктометрической ячейке, иначе напряжение на электрохимической ячейке будет сильно зависеть от проводимости раствора, что в конечном итоге приведет к большой погрешности на крайних диапазонах измерения. На рис. 1 изображены осциллограммы

напряжений с масштабом 20 мВ/дел и 100 мкс/дел. Осциллограмма а) соответствует измерению проводимости раствора 0.01 М KCl, осциллограмма б) – концентрации 1 М.



а) б)

Рис. 1. Осциллограммы напряжений кондуктометрической ячейки при измерении проводимости растворов KCl а) 0.01 М и б) 1 М .

Из анализа осциллограмм видно, что происходит не только уменьшение среднего за период значения напряжения на кондуктометрической ячейке, но и изменение формы сигнала, что, очевидно, в конечном итоге приводит к большим погрешностям измерений в начале и конце диапазона измерения проводимости.

Для достижения поставленной цели нами предлагается схема измерения (рис.2), при которой обеспечивается нормированное выходное напряжение на электрохимической ячейке, а также заданная точность измерения проводимости как при измерении проводимости концентрированных, так и разбавленных растворов. Отличие этого метода от традиционных методов повышения точности заключается в использовании источника переменного напряжения с регулируемой амплитудой, а также образцовых резисторов, коммутируемых в резистивном делителе.

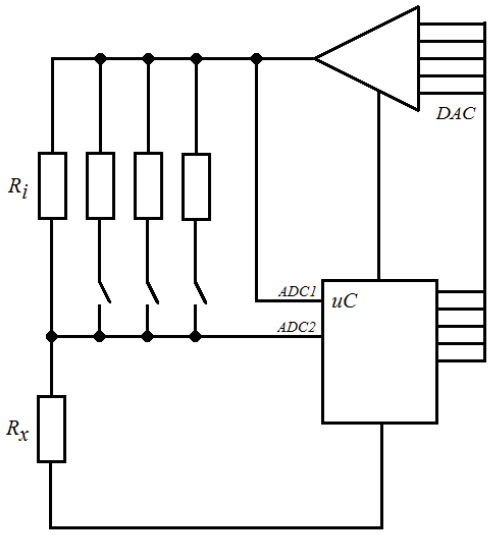


Рис. 2. Электрическая принципиальная схема кондуктометра

R_i – образцовое сопротивление; R_x – измеряемое сопротивления раствора; ADC1- первый аналогово-цифровой преобразователь; ADC2- второй аналогово-цифровой преобразователь; DAC- резистивный двигатель.

Напряжение с генератора подается на резистивный делитель, образованный известным сопротивлением и кондуктометрической ячейкой (рис. 2). Первый аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) измеряет переменное напряжение непосредственно на кондуктометрической ячейке, второй АЦП измеряет напряжение источника. При таком

подключении связь между напряжением источника и напряжением на кондуктометрической ячейке выражается формулой (1):

$$V_x = \frac{V_0}{R_x + R_i} R_x, \quad R_x = \frac{R_i}{\frac{V_0}{V_x} - 1}, \tag{1}$$

где V_x – напряжение на кондуктометрической ячейке, R_i – образцовое сопротивление, V_0 – напряжение источника, R_x – измеряемое сопротивления раствора.

Для того, чтобы ячейка работала при определенном фиксированном напряжении (пусть V_x = 100 мВ) АЦП непрерывно измеряет текущее её значение и передает сигнал в центральный процессор. Постоянство напряжения на кондуктометрической ячейке обеспечивается следующим: при условии V_x >100 мВ процессор передает сигнал об уменьшении амплитуды источника напряжения, при V_x < 100 мВ — об увеличении, до тех пор пока не выполнится условие V_x = 100 мВ. Далее второй АЦП измеряет напряжение источника, а сигнальный процессор пересчитывает сопротивление раствора по образцовому сопротивлению и значению двух АЦП по формуле (1).

Полученные данные свидетельствует о том, что при использовании одного образцового сопротивления (R_i) невозможно получить высокую точность измерения в большом диапазоне концентраций растворов. Для увеличения точности измерений коммутируются различные образцовые сопротивления. Ниже приведена таблица 1 «Диапазон измерения проводимости растворов» с относительной погрешностью измерения не более 1 % при измерении напряжения 11-битными АЦП.

Таблица 1. Диапазон измерения проводимости растворов

L	R_x	R_i	V_0	I
0,03…1 См	1…30 Ом	47 Ом	0.25…5 В	100 мА
1…30 мСм	30…1000 Ом	1.5 кОм		3 мА
0.03…1 мСм	1…30 кОм	47 кОм		0.1 мА
1…30 мкСм	0.03…1 МОм	1.5 МОм		3 мкА

Так как коррозионная стойкость материала является необходимым, но ещё недостаточным условием использования этого материала в качестве электрода контактной кондуктометрической ячейки, на электроде должна обратимо протекать электродная реакция с достаточно высоким значением плотности тока обмена, в частности, при измерении проводимости раствора KCl, реакция адсорбции–десорбции водорода [8]. Поэтому в контактной кондуктометрии применяют в основном платину или нержавеющую сталь, а такой коррозионностойкий металл, как золото, не используют при определении проводимости стандартных растворов.

Ввиду большой стоимости платины, кондуктометрическая ячейка, используемого в эксперименте кондуктометра, была изготовлена из нержавеющей жаропрочной стали марки 08Х18Н10Т. В результате измерения удельной проводимости растворов KCl с концентрацией 0.01–1 М вышеизложенным способом относительная погрешность не превысила 5 % при температуре 25 °С.

В результате проведённого исследования можно сделать вывод о том, что разработанный способ имеет преимущества перед традиционными способами измерения проводимости, так как не требует подключения кондуктометрических ячеек с различными параметрами и обеспечивает одинаковую погрешность измерения в заданном измерительном диапазоне.

Список литературы:

1. Мухин В.А., Реутова О.А., Яцкевич Т.В., Белых Н.А., Доронина С.А., Ускова С.С. // Вестник Омского университета . 2010. № 2. С. 113-116
2. Павловский В.А. // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки . 2005. № 33. С. 255-257.
3. Килимник А.Б., Ярмоленко В.В. // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2007. Т. 13. № 1. С. 51-56.
4. Шелохвостов В.П., Чернышев В.Н., Шелохвостов Р.В., Макарчук М.В. // Контроль. Диагностика. 2008. № 3. С. 36-45.
5. Лыгач В.Н., Семенов Ю.В. // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2004. № 7. С. 320-323.

6. Голубева Л.В., Титов С.А., Довгун Н.П. // Хранение и переработка сельхозсырья. 2010. № 12. С. 30-32.
7. Корпусов О.В., Свинцов И.В., Липчанский А.А., Свинцов В.Я. // Датчики и системы. 2006. № 7. С. 7-11.
8. Грилихес М.С., Филановский Б.К. Контактная кондукттометрия: Теория и практика метода. – Л.: Химия, 1980. – 176 с.

УДК: 574.632:539.163

Радиоактивное загрязнение хариуса сибирского в реке Енисей

А.Д. Карпов, А.Я. Болсуновский
Институт биофизики СО РАН, г. Красноярск, Россия
E-mail: kasta_anton@mail.ru

В статье описаны результаты радиоэкологического исследования хариуса сибирского в реке Енисей, в зоне влияния Горно-химического комбината г. Железногорска. В биомассе рыб была определена общая α- и β-активность, проведена оценка концентрации в них природных радионуклидов урана и тория, выявлено содержание γ-излучающих техногенных радионуклидов.

Река Енисей является одной из крупнейших рек мира и загрязнена радионуклидами как техногенного, так и природного происхождения. Источником поступления в Енисей техногенных радионуклидов на протяжении последних 50 лет являлся Горно-химический комбинат (ГХК) Росатома, расположенный в г. Железногорске Красноярского края. Ранее ГХК использовал воду р. Енисей для охлаждения прямоточных реакторов. Не смотря на то, что последний работающий реактор ГХК был остановлен в апреле 2010 г., в воде, донных отложениях и гидробионтах реки Енисей продолжают детектироваться техногенные радионуклиды, хотя их разнообразие и максимальная активность существенно снизились [1,2,3]. Источником поступления в воду природных радионуклидов служат различные радиоактивные аномалии, а также месторождения природных ископаемых, расположенные в бассейне реки Енисей.

Важной проблемой радиоэкологии является перенос радионуклидов по водной трофической цепи. Накопление радионуклидов в биомассе водных организмов, в том числе и рыб, может стать причиной их попадания в организм человека.

Цель данной работы - оценка содержания радионуклидов в ихтиофауне реке Енисей в зоне влияния ГХК.

Материалы и методы

В качестве объекта исследования использовался хариус сибирский (*Thymallus arcticus*), отобранный в период лето – осень 2010 г. в районе санитарно-защитной зоны ГХК (район села Хлоптуново). Перед проведением исследований хариус был разделен на 8 фракций: головы, жабры, кожа, чешуя, плавники, мышцы, кости и внутренние органы, после чего они высушивались в сушильном шкафу, а затем озолялись в муфельной печи при температуре 450° С. Содержание радионуклидов в биомассе рыб определялось тремя методами: 1) регистрация общей α- и β-активности; 2) определение активности γ-излучающих радионуклидов; 3) определение содержания природных радионуклидов, таких как уран и торий. Все результаты рассчитывались на сухую массу фракций хариуса или целой рыбы. Для определения активности γ-излучающих радионуклидов использовался γ-спектрометр компании Canberra (США) со сверхчистым германиевым детектором. Регистрация общей α- и β-активности проводилась при помощи альфа-бета радиометра УМФ-2000 (Россия).

Результаты и обсуждения

Во время работы реакторов ГХК, основным β-излучающим техногенным радионуклидом, поступающим в воду реки Енисей, являлся короткоживущий техногенный радионуклид - ^{32}P [4,5]. Его период полураспада составляет 14,3 дня, в связи с чем идентификация его в пробах осуществлялась путем математических расчетов экспоненциального изменения с течением времени общей β-активности. После остановки реактора ГХК (в апреле 2010 года) полученные нами результаты не выявили снижения общей β-активности в пробах хариуса, что свидетельствует о том, что ^{32}P перестал поступать в Енисей. Согласно полученным результатам, максимальная удельная β-активность зарегистрирована в коже хариуса (540 Бк/кг). В остальных фракциях, удельная β-активность была несколько ниже (во внутренних органах – 410 Бк/кг, в мышцах – 360 Бк/кг, в жабрах – 310 Бк/кг, в костях – 250 Бк/кг, в головах – 200 Бк/кг, в чешуе и плавниках – 130

Бк/кг). Удельная β-активность на одну целую рыбу составила 330 Бк/кг. На основании данных расчетов абсолютной суммарной β-активности во фракциях одной рыбы было установлено, что максимальная β-активность накапливается в мышцах (12 Бк), а минимальная – в плавниках (0,23 Бк). Достоверно зарегистрировать α-активность удалось только во внутренних органах (0,34 Бк/кг). В остальных фракциях α-активность была меньше МДА.

Для того чтобы объяснить полученные результаты общей α- и β-активности, были проведены исследования γ-спектрометрического анализа фракций хариуса, а также анализ содержания в них природных радионуклидов. Результаты γ-спектрометрического анализа выявили присутствие в пробах хариуса ряда техногенных радионуклидов, таких как ^{60}Co ^{65}Zn, ^{137}Cs и природного радионуклида ^{40}K. В жабрах хариуса зарегистрирована максимальная концентрация ^{65}Zn (970 Бк/кг) и ^{137}Cs (960 Бк/кг), а в коже – ^{60}Co (60 Бк/кг) и ^{40}K (2370 Бк/кг). Эти результаты могут свидетельствовать о доминировании водного пути поступления радионуклидов в организм рыбы. Однако полученные значения содержания техногенных радионуклидов не превышают установленных нормативов для потребления человеком рыбы. Удельная активность ^{40}K, рассчитанная на одну рыбу, составила 540 Бк/кг, что несколько выше удельной β-активности одного экземпляра рыбы, рассчитанной по измерениям общей β-активности (330 Бк/кг). Очевидно, что основной вклад в общую β-активность проб хариуса вносит именно ^{40}K, однако полученная столь существенная разница требует проведения дополнительных уточняющих исследований.

Для отдельных фракций хариуса (мышцы, кости и внутренние органы) было установлено содержание в них природных радионуклидов урана и тория. Максимальная концентрация урана в мышцах составила 0,148 мг/кг, во внутренних органах - 0,43 мг/кг. Зарегистрировать уран в костях хариуса не удалось. Концентрация тория составила: в мышцах – 0,007 мг/кг, во внутренних органах – 0,61 мг/кг, и в костях – 0,087 мг/кг. При расчете абсолютного содержания радионуклидов в одной рыбе установлено, что в мышцах урана содержится 0,0033 мг, во внутренних органах – 0,0032 мг; а тория в мышцах содержится 0,00012 мг, во внутренних органах – 0,0045 мкг, и в костях – 0,00013 мг.

Присутствие в органах хариуса природного урана, который является α-излучающим радионуклидом, свидетельствует о том, что в биомассе хариуса содержится α-активность. Однако измерения общей α-активности проб хариуса показали, что α-активность была зарегистрирована только во внутренних органах (0,34 Бк/кг), где также было выявлено и максимальное содержание урана. Для других органов хариуса, где содержится уран, определить общую α-активность достоверно не удалось. Это связано с недостаточной чувствительностью использованного прибора.

Заключение

Содержание радионуклидов в биомассе хариуса сибирского является одним из показателей загрязнения водной экосистемы, в которой он обитает. В связи с тем, что экосистема реки Енисей содержит радионуклиды не только природного, но и техногенного происхождения, оценка их содержания в пробах гидробионтов требует разных методов. В данной работе впервые был применен комплексный подход с использованием трех методов: измерение общей α- и β-активности, измерение активности γ-излучающих радионуклидов и содержания природных радионуклидов урана и тория. Регистрация общей α - и β-активности выявила, что максимальная удельная β-активность накапливается в коже хариуса (540 Бк/кг) и его внутренних органах (410 Бк/кг). Достоверно определить α-активность удалось лишь во внутренних органах (0,34 Бк/кг), в остальных фракциях ее значение оказалось меньше МДА. Также в отдельных частях хариуса, таких как мышцы, кости и внутренние органы, была определена концентрация природных радионуклидов урана и тория. Максимальное содержание урана было отмечено во внутренних органах, где и была зарегистрирована общая α-активность. Результаты γ-спектрометрического анализа биомассе хариуса показали содержание таких радионуклидов, как ^{40}K, ^{60}Co, ^{65}Zn, ^{137}Cs. Максимальные значения активности радионуклидов в коже и жабрах свидетельствуют о доминировании водного пути поступления радионуклидов в организм рыбы. Полученные значения содержания техногенных радионуклидов в пробах хариуса не превышают установленных нормативов для потребления человеком рыбы.

Список литературы:

1. Бондарева Л.Г., Болсуновский А.Я., Трапезников А.В., Дегерменджи А.Г. Использование новой методики концентрирования трансурановых элементов в пробах воды реки Енисей. // ДАН. 2008. – Т. 423. – №4. – С. 479-482
2. Зотина Т.А., Трофимова Е.А., Каглян А.Е., Болсуновский А.Я., Гудков Д.И. Распределение техногенных радионуклидов в организме рыб из р. Енисей (Россия) и водоемов зоны

отчуждения Чернобыльской АЭС (Украина). // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. 2010. – №1 (12). – С. 91-94.
3. Болсуновский А.Я., Медведева М.Ю., Александрова Ю.В. Интенсивность накопления радионуклидов в биомассе водных растений реки Енисей. // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2011. – Т. 13 №1(4). – С. 776-779.
4. Паньков Е.В., Болсуновский А.Я., Пименов Е.В. Содержание радионуклидов и мощности доз облучения отдельных видов ихтиофауны реки Енисей. / Доклады IV международной конференции «Тяжелые металлы и радионуклиды в окружающей среде», Семипалатинск – 2006. – Т. 1– С. 357-361.
5. Карпов А.Д. Содержание техногенных радионуклидов в гидробионтах реки Енисей. / Материалы XIV Международной научной школы-конференции студентов и молодых ученых «Экология Южной Сибири и сопредельных территорий», Абакан – 2010. – Т. 2. – С. 13-14.

Геологические, экологические и политические аспекты хранения и захоронения ядерных материалов

Е.В. Комлева
Дортмундский технический университет, г. Дортмунд, Германия

В сфере энергетики продолжено рассмотрение взаимосвязи нефтегазового бизнеса и международных проектов долговременного хранения ядерных материалов. Представлены российские варианты создания ядерных хранилищ и сопутствующих геологических оценок. В частности, для Северо-запада России.

Комплексные, в сфере энергетики, интересы Германии на Севере Европы (прежде всего, - на европейском Севере России) сосредоточены, в основном, вокруг двух проблем: газ Штокмановского месторождения и долговременные хранилища ядерных материалов. В перспективе ядерное хранение имеет мотивацию трансформироваться в прямое захоронение. Эти интересы и проблемы определяют и соответствующие ракурсы, прежде всего, российско-германской интеллектуально-прагматической деятельности в регионе. Определенным благом для региона является то, что международную деятельность сейчас можно фокусировать через “оптику” важных исторических событий и тенденций.

Как уже отмечалось, осмысление международными усилиями проблемы долговременного хранения ядерных материалов полезно в поле образа SAMPO [1]. И не только теоретическое. И в том смысле, чтобы сферы влияния ядерных и нефтегазовых объектов в идеале территориально не перекрывались. Сопутствующая шельфовой, например, береговая инфраструктура при разработке Штокмана запланирована от Кольского залива до Териберки.

Ситуацию “подогревает” решение Б. Обамы через 22 года с начала строительства и после затрат в 9 миллиардов долларов прекратить реализацию проекта “путеводной звезды”, прототипа многих подобного рода строек – национального хранилища высокоактивных материалов Yucca Mountain. А также – появившиеся раньше в условиях глобализации мировой экономики идея и проекты интернационализации последней стадии обращения с ядерными отходами, их надежной изоляции от биосферы. Возникают конкретные вопросы “как?” и “где?” Особенно после вступления в силу американо-российского Соглашения № 123, открывающего странам возможность “обмена” ядерными материалами.

Одним из авторов работ, способствовавших отмене некачественного с научной точки зрения проекта подземного ядерного хранилища Yucca Mountain, является новосибирский геолог и спелеолог с украинскими “корнями” Ю.В. Дублянский (Juri Dublyansky, www.uibk.ac.at). Уникальная ситуация: его общая эрудиция и знания в сфере инженерной геологии и гидрогеологии, низкотемпературных гидротермальных процессов, изотопных исследований значимо повлияли на формирование решения ведущей ядерной страны относительно места размещения природно-техногенного, с элементами самоорганизации объекта, безопасно функционировать который по нормативам должен не менее десяти тысяч лет. А косвенно возможно ожидать отложенное влияние на общечеловеческое будущее ядерной проблематики. Он, кроме того, нелицеприятно охарактеризовал стиль собственных геологических обоснований таких объектов российскими и американскими ядерными ведомствами и финансирования ими независимых оценок.

После закрытия проекта Yucca Mountain, фукусимской катастрофы и приостановки эксплуатации ряда АЭС Японии обострились споры по главному вопросу ядерных технологий -

хранения выведенных из оборота гражданских и военных ядерных материалов. Также возможен возврат интереса к небольшим подземным АЭС или гибридам подземной АЭС и подземного хранилища. Напомним, что в Японии внешних воздействий с катастрофическими последствиями не выдержали не только реакторы, но и прireакторные хранилища (бассейны выдержки) отработавшего ядерного топлива. Заслуживает внимания мнение, что вскрытая проблема серьезной уязвимости хранимого топлива – главный урок Фукусимы (например, [2]).

Необходимо учитывать явное стремление западных стран повысить контроль над легкодоступными углеводородами Ближнего Востока и Африки. Грядут также серьезные изменения на рынке, обусловленные сланцевым газом. Вследствие чего внимание Запада к российским нефтегазовым регионам с суровым климатом может временно уменьшиться. Как необходимо учитывать и “постфукусимское цунами” решений о закрытии европейских АЭС. Например, в Германии, где глобальной значимости решение было принято по результатам работы специально созданной после Фукусимы Комиссии по этике (!), состоящей из представителей не только инженерных и естественных наук, но и гуманитарно-духовной сферы (http://de.wikipedia.org/wiki/Ethikkommission_f%C3%BCr_eine_sichere_Energieversorgung).
Логическим продолжением этих решений следует считать меры по сверхплановому демонтажу станций с наработкой больших объемов дополнительных отходов. Кроме того, европейские ядерщики будут искать работу в Китае или России. Кстати, это соответствует общей стратегии, например, Германии в сфере международного разделения труда. Когда тяжелая промышленность и опасные виды производства переносятся в развивающиеся страны, а внутри Германии стимулируется современная наукоемкая промышленность, относительно малозатратная по ресурсам.

Осмысление SAMPO&Co может способствовать формированию составной усиливающей части региональных и общероссийских программ создания технологической платформы “Инфраструктура Арктики”. В условиях, когда независимые оценки ([3,4]; участники телепередачи “В фокусе” на канале РБК от 9.03.11 и 23.03.11) показывают отсутствие стабильной и позитивной тенденции относительно развития нефтегазового бизнеса в Арктике. Как и реалии провалов в 2011г. попыток Роснефти найти партнеров для работы в Арктике и Газпрома наконец-то обнародовать план инвестиций в Штокман. А также (на примере проектов “Сахалин-1,2”, [5]) приводят к выводу, что надежды на привлекательность освоения шельфа и для сухопутной экономики сопряженного региона не всегда сбываются. Эти оценки экспертов не противоречат показателю “от народа”: жителей Мурманской области стало меньше.

Россия имеет национальное наземное долговременное хранилище плутония на площадке ПО “Маяк”. Связанные, прежде всего, с высокой концентрацией опасного вещества на земной поверхности потенциальные опасности глобального уровня неоднократно обсуждались (например, http://nuclearno.ru/text.asp?15383).

Россия желает строить международные долговременные ядерные хранилища подземного типа на своей территории. Теперь – тем более, так как после Фукусимы ожидаемая прибыль Росатома от строительства АЭС за рубежом может устремиться к нулю. Нацеленность на международные хранилища формировалась задолго до Фукусимы. Подготовлена законодательная база, в 2002 и 2005 годах в Москве под эгидой МАГАТЭ прошли международные совещания по этой теме. Реальные действия российских властей противоречат озвученным неоднократно намерениям поддерживать и развивать в стране замкнутый ядерный топливный цикл [6]. При отказе от радиохимической переработки отработавшего топлива главной становится задача его долговременного хранения. Россия желает иметь хранилища третьего (высшего) уровня, дополняющие систему хранилищ федеральных и региональных. За рубежом идею международной кооперации применительно к подземной изоляции ядерных материалов наиболее активно развивает ассоциация ARIUS и компания MCM Consulting (Ch. McCombie).

Вариантами площадок размещения международных хранилищ в России, наиболее официально “продвинутыми”, без нового комплексного анализа и дополнительных обоснований традиционно для ядерной отрасли “состыкованными” с объектами наследия “холодной войны”, являются пока площадки вблизи Красноярска, Челябинска и границы с Китаем и Монголией (Краснокаменск). При этом преобладает выбор площадок в зонах палеовулканов (как и в случае Yucca Mountain). А применительно к Краснокаменску интерес проявлен к эксплуатирующемуся и крупнейшему в России Стрельцовскому рудному полю на уран и позитивным считают наличие инфраструктуры горных выработок. Хотя приоритетные площадки уже “назначены”, даже лояльный к ним анализ (ИГЕМ РАН [7]) геологической ситуации на базе чрезвычайно слабой разведки закончился признанием, что Россия находится на начальной стадии реализации таких

программ и принимать решения о пригодности площадок преждевременно. В Казахстане и Украине планируют подобные объекты на территории, соответственно, Семипалатинского полигона (на котором задействованы охранные технические системы США: http://nuclearno.ru/text.asp?15384) и Чернобыльской зоны.

Важно помнить, что военно-промышленные ядерные объекты СССР, к которым теперь в России "привязывают" международные подземные ядерные хранилища, размещались (прятались в глуши, подальше от врагов) примерно 60 лет назад в полной конфронтации с Западом вообще не по геологическим критериям. Не считая урановые горно-обогатительные предприятия, но и в этом случае первоначальные геологические задачи коренным образом отличались от таковых при обосновании места нахождения хранилища. Безопасность же хранилищ в течение тысяч лет детерминирована, прежде всего, качеством породных массивов (механическая устойчивость и способность изолировать радионуклиды), а также комплексом геологических, геофизических, гидрогеологических и геохимических условий их длительного существования. Да и социально-политическая обстановка "на дворе" совсем другая. Как и другими стали некоторые границы, дальше от которых старались разместить ядерные объекты.

Применять в новое время и для новой задачи прежний подход – ошибка. Поэтому, первые (возможно, и ключевые) аргументы в вопросе подземной изоляции ядерных материалов должны быть за международной геологией, должны базироваться на результатах международных комплексных геологических проектов. Например, Е.Б. Андерсон, В.Г. Савоненков и С.И. Шабалев (Радиевый институт, [8]) как идеологический постулат отмечают прерогативу наук о Земле при обосновании безопасности удаления ядерных материалов в геологические формации. Кроме того, они, применительно к Северо-западу России, подчеркивают важность вспомогательного использования обильных материалов предшествующего (для других целей) геологического изучения региона. Прежде всего, полученных на многолетних этапах поиска, разведки и добычи различных полезных ископаемых. Это аналог попутных массовых поисков на уран. А также и уже во вторую очередь – важность учета географических особенностей сложившейся ранее и прогнозируемой многокомпонентной ядерной и другой инфраструктуры региона. Подобные подходы не новы. Но они с трудом приживаются в реальной практике геологов российской (и не только) ядерной отрасли.

После уроков Фукусимы в стенах Национального ядерного университета МИФИ сформирован важный посыл: первоочередным считают ядерно-геологический симбиоз на международной основе. "Задача заключается в том, чтобы установить для площадки АЭС соответствие между уровнем природных рисков и объемом мер, необходимых для обеспечения должной степени безопасности. При этом такая оценка должна быть дана на основе единой общепризнанной методики (которую также еще предстоит создать) группой квалифицированных экспертов при непременном соблюдении принципа интернациональности ее состава. В то же время упомянутая методика должна содержать критерии безусловной непригодности какой-либо площадки (или даже региона) для сооружения и эксплуатации атомной станции" [9].

Добавлю, что позиция интернационализации еще более актуальна при выборе площадки и создании ядерного хранилища. Например, японская катастрофа не прошла бесследно и для шведов. Известнейший проект шведского оператора по обращению с ядерными отходами SKB, предусматривающий строительство подземного национального ядерного хранилища вблизи АЭС Оскарсхамн и разрабатываемый три десятилетия, приостановлен в марте 2011г. Надзорная инстанция уже объявила о созыве международной экспертной комиссии, которая проверит, как именно будут утилизировать отходы под землей. Видимо, строительство подземного шведского хранилища может быть отложено на неопределенный срок [10]. А проект SKB - мировой лидер в своей "нише" наряду с Yucca Mountain и финской разработкой, во многом сопряженной со шведской версией.

На Северо-западе России проектировщики Росатома (Минатома) последовательно предлагали в качестве изолирующей геологической среды для ядерного хранилища (пока официально лишь регионального) многолетнемерзлые известняки полигона Новой Земли и залежи солей Республики Коми [11]. Кстати, в Ухте работает известный в радиоэкологии геолог В.А. Копейкин, имеющий серьезные наработки применительно к геохимическим барьерам защиты от распространения радионуклидов, возглавлявший несколько самых тяжелых лет Рабочую группу Мингео СССР в Чернобыле. Видимо, и это обстоятельство в череде других обусловило "дрейф" интереса Росатома от Новой Земли к геологическим структурам Коми. Предложения Горного института Кольского научного центра РАН – Сайда-Губа и Дальние Зеленцы [12]. Возможно, нацеленность этих предложений на потенциальных потребителей по одному из вариантов

подскажет статья В.А. Перовского с красноречивым названием “Где взять радиоактивные отходы для Сайды?” Автор показывает многократную избыточность возводимых Германией в Сайда-Губе мощностей по переработке отходов, если ориентироваться на поставки только северных флотов [13]. Примем во внимание, что с 2011г. начато проектирование функционально-аналогичного комплекса переработки радиоактивных отходов и накопительной площадки временного хранения контейнеров в Губе Андреева (финансирование Италии). Существуют и другие признаки, что на Северо-западе России дело региональным хранилищем не ограничится.

Еще раз вспомним о геологических критериях выбора площадок. Несомненно, они существуют на национально-отраслевом уровне. Но что же это за такие бесчеловечные и удобные лишь для отдельных граждан критерии, которые позволяют проектировать ядерное хранилище на тысячи лет для условий потенциально-мирового болота Новой Земли или строить АЭС и хранилища (Фукусима и другие) в регионе проявления самых разрушительных сил природы? Скорей всего, наиболее разумными критериями являются шведско-финские.

Альтернативой официальным площадкам Росатома, Дальним Зеленцам и Сайда-Губе является Печенга (Печенгская геологическая структура и ее обрамление). Вулканологи обосновывают наличие в глубинах Печенги позитивных для изоляции ядерных материалов процессов современного минералообразования [14]. На “ядерный” потенциал этой структуры обращали внимание сотрудник ВНИПИЭТ В.А. Перовский [15], мурманские геологи-производственники (Н.И. Бичук, В.Г. Зайцев, Г.С. Мелихова и др. [16]), специалисты Петербургского университета А.С. Сергеев и Р.В. Богданов [17]. А также - руководители Геологического института Кольского НЦ РАН (Ф.П. Митрофанов), Кольской сверхглубокой скважины (Д.М. Губерман) и Ярославской экспедиции сверхглубокого бурения “Недра” (Л.А. Певзнер). Равно как и SKB, МНТЦ и The UNESCO International Geological Correlation Programme [18,19]. Причем, пожалуй, геологические условия Печенги (как и Краснокаменска) не только альтернативны, но и, по большому счету, являются интеграционными относительно концепций хранилищ в гнейсах и гранитах (Швеция, Финляндия, Красноярский край, Сайда-Губа и Дальние Зеленцы) и вулканогенно-осадочных породах (Yucca Mountain, Челябинская область).

Вблизи Печенги сосредоточены силы и средства для профессионального выполнения геологических, горных и радиационно/ядерно-опасных работ. Действуют аналог ядерных подземных сооружений (современный рудник “Северный-Глубокий”), предтеча и возможный аналог будущего Фукусимы относительно судьбы аварийных хранилищ отработавшего ядерного топлива (инфраструктура Губы Андреева). Здесь же имеются примеры плодотворного международного сотрудничества в сферах геологии (Кольская сверхглубокая скважина), экологии (заповедник “Пасвик”), хозяйственной деятельности (гидроэлектростанции на реке Паз), технологии (реконструкция плавильного цеха комбината “Печенганикель”), культуры (энциклопедия “Печенга”), спорта (массовый лыжный марафон по приграничной территории России, Финляндии и Норвегии) и других. Наличие в приграничных окрестностях Трифонов Печенгского монастыря потенциально благотворно. Необходимое дополнительное теологическое осмысление феномена ядерной энергии в его гражданском и военном проявлениях с позиций православия и других религиозных конфессий получит еще одну мотивацию. По примеру мнений основных мировых религий по поводу ядерного оружия в книге "Ethics and weapons of mass destruction: religious and secular perspectives".

Следует сказать, что в породах Печенги, где возможна материализация одного из вариантов SAMPO (в виде подземной АЭС или хранилища), российскими и норвежскими геологами найдены окаменелые образцы древнейших, возрастом более 2 миллиардов лет, микроорганизмов (*Pechengia melezhiki*). Микроорганизмов, сформировавших на Земле важнейшие условия для будущей биологической эволюции (развития на кислородной основе) вплоть до высших форм. Эти сохранившиеся до нас окаменелости возможно, видимо, считать признаком региональной геологической долговременной стабильности, столь необходимой ядерным объектам. Своеобразным талисманом-оберегом. А сочетание открытия *Pechengia melezhiki* с SAMPO - символом трансформации и преемственности энергетики жизни.

Не добрые ли это знаки, учитывая, что по преданиям в свое время в “пещерах” “утеса из меди” Печенги было создано Сампо “Калевалы”? И не подсказка ли это к объединению на этой площадке усилий, и не только геологов? К объединению усилий, для начала, хотя бы упомянутых специалистов и организаций. При “перезагрузке” на Печенгу финансирования от Yucca Mountain, Новой Земли и других подобных проектов, не имеющих социокультурных оснований и не выдерживающих испытания временем. Чтобы надежно под землей экранировать источник электроэнергии (в случае АЭС) или (в случае хранилища) искусственные, комплексно

насыщенные газами гидротермы, неизбежно возникающие в породах, в которых надолго размещены высокоэнергетичные радиоактивные материалы.

Одним из важных аргументов против Печенгской геологической структуры и ее обрамления формально может быть то обстоятельство, что здесь в настоящее время ведется добыча медно-никелевых руд. Этот аргумент (как и против Стрельцовского рудного поля) есть производное от рекомендации (не более того) МАГАТЭ избегать размещения ядерных материалов в зоне месторождений полезных ископаемых. Однако в случае Печенги совместный, внимательный и объективный анализ текста этой рекомендации и конкретных горно-геологических и экономических условий работы хозяйствующего субъекта (компания "Норильский никель") приводит к выводу, что фактически факт более чем семидесятилетней истории изучения и освоения медно-никелевых месторождений Печенги является не осложняющим, а благоприятствующим фактором. Учитывая, кроме всего прочего, и перспективу на 50-100 лет. Это время принятой в мире стратегии временного/отложенного хранения ядерных материалов в наземных хранилищах. Реальный опыт США, Канады, Швеции, Финляндии и других стран (более продвинутых в программах создания подземных ядерных хранилищ, чем Россия) показывает, что и за 30-40 лет необходимых научно-технических и производственных работ ни одно такое хранилище еще не создано. В перспективе таких интервалов запаса времени до загрузки хранилища ядерным содержимым рассматриваемые месторождения будут гарантированно полностью отработаны. Хотя и сейчас возможно выбрать перспективные участки заведомо вне проявлений никеля (или, как расплывчато сказано в упомянутой рекомендации МАГАТЭ, "вблизи месторождений"). В обоих случаях "Норильский никель", не осложняя свою деятельность, может заранее и выгодно продать горно-геологическую документацию и реальную инфраструктуру, постепенно снижая добычу руды в окрестностях Приречного, Никеля и Заполярного.

Любопытно еще одно "родство" – геополитическая симметричность по контуру размежевания России с соседями. Площадка "Печенга" расположена у северо-западной, площадка "Краснокаменск" – у юго-восточной границ РФ. С одной стороны, соответственно, потребности, как минимум, Европы, а с другой – Японии, Южной Кореи и Китая. Правда, инициативу по размещению зарубежного отработавшего топлива у Краснокаменска может перехватить Монголия. Кроме того, не получилось порознь у СССР и Японии (отчасти, и у США) обойтись без национальных ядерных катастроф. Велик риск террористического инициирования (средиземноморское "цунами") таких катастроф для ряда стран Западной Европы, учитывая их воинственную политику в южных, богатых углеводородами регионах. При ликвидации последствий чернобыльской и фукусимской катастроф более эффективными оказались действия на основе государственной собственности и государственного управления, чем частных. Следует ожидать, что межгосударственный уровень для таких ситуаций еще более надежен. Видимо, свершившиеся и потенциальные "неприятности" - еще один довод для объединения усилий и повышения эффективности надзора, что, например, имеет наибольшие предпосылки реализации при создании международных подземных ядерных хранилищ на стыке стран в труднодоступной для несанкционированных посещений местности. Присоединиться к идее создания таких хранилищ было бы полезно, например, Германии, Финляндии, Швеции (в том числе и как владельцам-носителям технологий), а также Беларуси, Литве, Украине и Казахстану. Как и участникам программы "Сотрудничество АТОМ-СНГ".

Благодарю за поддержку исследований профессоров B. Falkenburg, N. Witoszek, D. Macer, V. Masloboev, O. Ivanov. А также - научных сотрудников Института философии и политологии Дортмундского технического университета.

Список литературы:

1. Комлева Е.В. Ядерные отходы, газовые месторождения и безопасность Севера Европы // ЭКО: Всероссийский экономический журнал, 2007, №3.- С. 104-111.
2. Просвирнов А. Джинн снова вышел из лампы – первые уроки Фукусима-1. [Электронный ресурс]: http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=2934 (дата обращения 23.05.11).
3. Криворотов А.К. Северный шельф перед лицом глобальной нестабильности // Север и Арктика в новой парадигме мирового развития. Лузинские чтения-2010. Апатиты, 2010. – С. 40-45.
4. Череповицын А.Е., Жуков А.М. Стратегический анализ возможностей и угроз освоения углеводородных ресурсов Западной Арктики // Север и Арктика в новой парадигме мирового развития. Лузинские чтения-2010. Апатиты, 2010. – С. 61-69.

5. Штокман // Север промышленный. – 2011, №1. – С. 4-5.
6. Кому нужен сибирский атом? [Электронный ресурс]: http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=3013 (дата обращения 23.05.11).
7. Лаверов Н.П., Величкин В.И., Пэк А.А. Радиогеоэкологические проблемы начального и завершающего этапов ядерного топливного цикла // Безопасность ядерных технологий и окружающей среды. – 2010, № 4. - С. 26-33.
8. Андерсон Е.Б., Савоненков В.Г., Шабалев С.И. Геологические формации, перспективные для изоляции РАО // Безопасность ядерных технологий и окружающей среды. – 2011, № 1. – С. 54-58.
9. Колдобский А.Б. Мирный атом после цунами [Электронный ресурс]: http://www.globalaffairs.ru/number/Mirnyi-atom-posle-tcunami-15187 (дата обращения 23.05.11).
10. Рядом со "шведской Фукусимой" планируют строить "вечное" хранилище ядерных отходов. [Электронный ресурс]: http://www.dw-world.de/dw/article/0,,14939212,00.html (дата обращения 23.05.11).
11. Саркисов А.А. Проблемы реализации интеграционного подхода к обращению с радиоактивными отходами в северо-западном регионе России и окончательной их изоляции. [Электронный ресурс]: http://www.fcp-radbez.ru/index.php?option=com_content&task=view&id=355&Itemid=386 (дата обращения 23.05.11).
12. Мельников Н.Н., Конухин В.П., Наумов В.А. и др. Научные и инженерные аспекты безопасного хранения и захоронения радиационно опасных материалов на Европейском Севере России. Апатиты, 2010. – 305 с.
13. Перовский В.А. Где взять радиоактивные отходы для Сайды? [Электронный ресурс]: http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=2838 (дата обращения 23.05.11).
14. Белоусов В.И., Рычагов С.Н., Комлев В.Н. и др. Печенгская глубинная и другие гидротермальные системы: новый взгляд на изоляцию ядерных материалов от биосферы // Уральский геологический журнал. – 2001, № 3. – С. 131-153.
15. Перовский В.А. О возможности приповерхностного хранения реакторных отсеков АПЛ, ВНИПИЭТ, 1995 / Нилсен Т., Кудрик И., Никитин А. Доклад объединения “Беллуна” “Северный флот. Потенциальный риск радиоактивного загрязнения региона”, 1996. - С. 138.
16. Комлев В.Н., Бичук Н.И., Зайцев В.Г., Мелихова Г.С. О перспективности площадок северо-западной части Мурманской области для размещения радиоактивных отходов и отработавшего ядерного топлива / Тез. докладов конференции “Радиационная безопасность: радиоактивные отходы и экология”. – Санкт-Петербург, 1999. - С. 24-25.
17. Сергеев А.С., Богданов Р.В., Комлев В.Н. Оценка геологических формаций северо-западного региона России как среды размещения подземного хранилища радиоактивных отходов / Тез. докладов конференции “Радиационная безопасность: радиоактивные отходы и экология”. – Санкт-Петербург, 1999. - С. 88-89.
18. SKB&NEDRA Technical Report 92-39. – 1992. – 116 p.
19. Project-408 in the framework of the UNESCO International Geological Correlation Programme.

УДК 504.064.36+543.311

Фотометрическое определение хрома(VI) в пробах из водоемов г. Томск и Томской области на УЛК «Экологический мониторинг» и ТА Эколаб-2

В.В. Морозова
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия
E-mail: viktoriya_tpu@sibmail.com

Определена концентрация хрома (VI) в водоемах города Томск и Томской области. Установлено, что содержание хрома в природных водах соответствует ПДК для вод санитарно-бытового назначения. Представлены метрологические характеристики методики анализа.

Фотометрические методы анализа ввиду их большой чувствительности и избирательности, экспрессности и точности широко применяются при анализе различных природных сред. Эти

методы используют в почвенном, биохимическом анализе, а также для определения малых и ультра малых количеств примесей в веществах особой чистоты (10^{-5} — 10^{-6} %) [1].

В Томском политехническом университете ведется разработка новых приборов для фотометрического анализа, их методического и программного обеспечения для решения учебных и исследовательских задач, а также производственного контроля состояния объектов окружающей среды. ООО «Универсальные образовательные технологии» совместно с ТПУ предложили учебно-лабораторный комплекс (УЛК) «Экологический мониторинг», который предназначен для проведения лабораторных работ по промышленной экологии и экологическому мониторингу. В состав которого входит модуль «Фотоколориметр». Принцип работы модуля «Фотоколориметр» основан на измерении светопоглощения окрашенных растворов в полихроматическом пучке света в видимой области спектра (400–660 нм). Прибор выполнен по однолучевой схеме, когда поток излучения проходит поочередно через кюветы с раствором сравнения и исследуемым раствором. Нужно отметить, что в настоящее время лабораторные работы проводятся с использованием различных приборов, самостоятельно объединенных в лабораторные установки, что снижает качество обучения. УЛК «Экологический мониторинг» является одним из наиболее функциональных лабораторных комплексов. Комплекс «ТА-Эколаб-2», который включает в себя собственно аналитический прибор и ноутбук. Комплекс предназначен для анализа вод (поверхностных, подземных, питьевых, сточных) и других экологических объектов и может быть использован, в частности, при проведении работ по экологическому мониторингу и водоподготовке, включая изыскания, проектирование и эксплуатацию очистных установок [2].

В качестве анализируемого вещества выбран хром (VI). В поверхностные воды соединения трех- и шестивалентного хрома попадают в результате выщелачивания из пород (хромит, крокоит, уваровит и другие). Некоторые количества поступают в процессе разложения организмов и растений, из почв. Значительные количества могут поступать в водоемы со сточными водами гальванических цехов, красильных цехов текстильных предприятий, кожевенных заводов и предприятий химической промышленности. Соединения Cr (VI) и Cr (III) в повышенных количествах обладают канцерогенными свойствами. Соединения хрома (VI) являются более опасными. Содержание их в водоемах санитарно-бытового использования не должно превышать $ПДК_В$ для Cr (VI) 0,05 мг/дм^3, для Cr (III) 0,5 мг/дм^3. $ПДК_{ВР}$ для Cr (VI) – 0,001 мг/дм^3, для Cr (III) – 0,005 мг/дм^3 [3,4].

Дифенилкарбазид в кислой среде взаимодействует с хромом (VI) с образованием растворимого соединения красно-фиолетового цвета. Предполагают, что сначала дихромат-ион окисляет дифенилкарбазид до дифенилкарбазона. Раствор хрома (III) нельзя использовать для анализа, так как его кинетически инертные аква- и галогенаквакомплексы взаимодействуют с дифенилкарбазоном крайне медленно. В то же время с хромат-ионом (дихромат-ионом) хелат образуется мгновенно. Реакция хрома (VI) с дифенилкарбазндом очень чувствительна и достаточно селективна [5].

Для оценки методики определили ее метрологические характеристики [6]. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1. Метрологические характеристики методики определения хрома (VI), при p = 0.95, n=3

	УЛК*	ТА**	УЛК	ТА	УЛК	ТА
Измеряемая концентрация, С, мг/л	0,03		0,05		0,08	
Показатель повторяемости S_{rm}, мг/л	0,00082	0,00114	0,00018	0,00124	0,00126	0,00303
Показатель внутрилабораторной прецизионности, S_{Rm}, мг/л	0,00049	0,00003	0,00006	0,00057	0,00050	0,00028
Показатель точности $\pm\Delta$	0,03395	0,03397	0,03395	0,03395	0,03395	0,03408

* Показатели для хрома (VI), определенного с помощью модуля «Фотоколориметр» УЛК «Экологический мониторинг».

** Показатели для хрома (VI), определенного с помощью ТА «Эколаб-2».

Далее для оценки корреляции построили график зависимости A = f (C) по результатам, полученным входе измерения оптической плотности растворов хрома (VI) различной концентрации (рисунок 1 и 2) и провели линейный регрессионный анализ таблицы 2 и 3.

Результаты линейного регрессионного анализ для зависимости оптической плотности от концентрации хрома (VI), полученных на модуле «Фотоколориметр» УЛК «Экологический мониторинг» (рисунок 1) представлены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты линейного регрессионного анализа градуировочных характеристик, полученных на модуле «Фотоколориметр» УЛК «Экологический мониторинг», для хрома (VI)

$A = a + bC$, $R = 0{,}999$, $p < \alpha = 0{,}05$			
	Оценка коэффициента	Стандартное отклонение	p
a	0,005	0,002	0,063380
b	0,762	0,028	0,000107

Далее построили график зависимости A = f (C) по результатам, полученным входе измерения оптической плотности растворов хрома (VI) различной концентрации (рисунок 2).

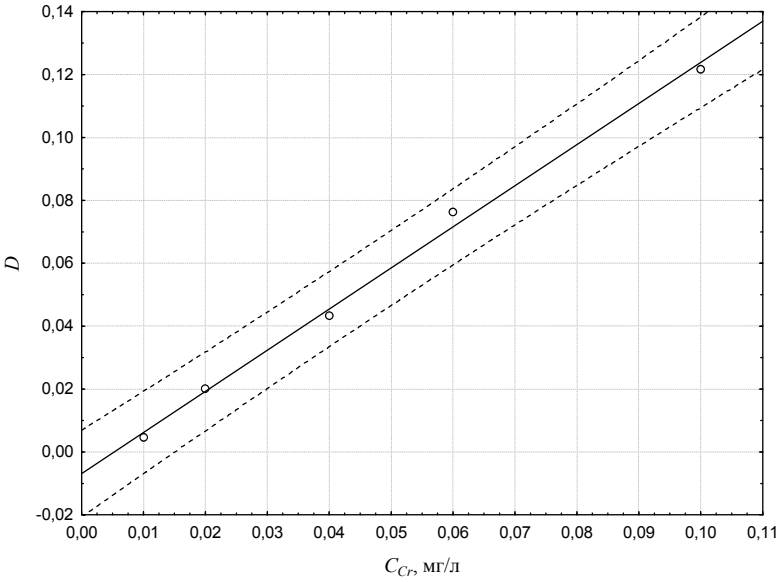


Рис. 1. Градуировочный график для хрома (VI)

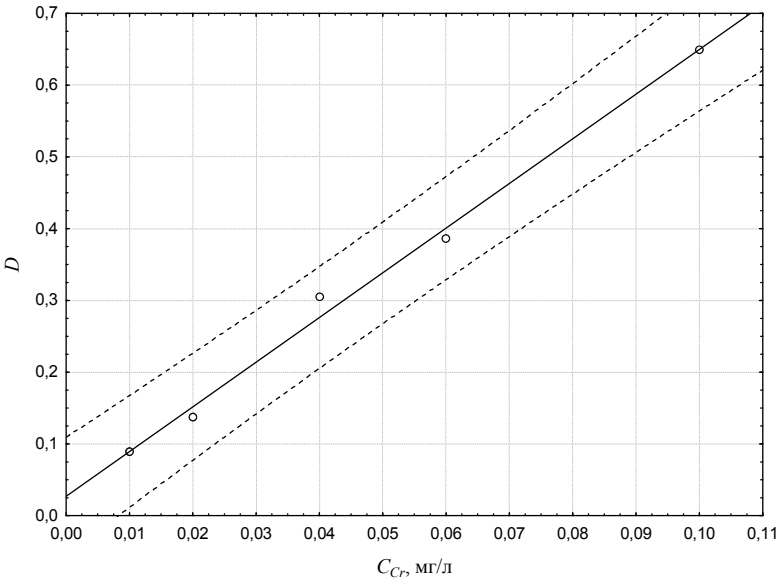


Рис. 2. Градуировочный график для хрома (VI)

Проведем линейный регрессионный анализ для зависимости оптической плотности от концентрации хрома (VI), полученных на комплексе ТА «Эколаб-2» (рисунок 2). Результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3. Результаты линейного регрессионного анализа градуировочных характеристик, полученных на комплексе ТА «Эколаб-2», для хрома (VI)

$A = a + bC$, $R = 0{,}999$, $p < \alpha = 0{,}05$			
	Оценка коэффициента	Стандартное отклонение	p
a	-0,004	0,003	0,230686
b	0,160	0,007	0,000207

Пробы были отобраны в водоемах города Томск и Томской области, представленных в таблице 4. В таблице 4 представлены усредненные результаты, измерения проводились три раза в разные дни и три раза в один день для определения метрологических характеристик методики определения.

Таблица 4. Концентрация хрома (VI) в водоемах города Томск и Томской области

Место отбора пробы	Концетрация УЛК*, мг/л	Концетрация ТА**, мг/л
р. Большая Киргизка, автомобильный мост	0,0094	0,0092
Университетское озеро	0,0082	0,0086
Мавлюкеевское озеро	0,0127	0,0125
Огневое озеро, Парабельский район	0,0102	0,0104
р. Сенная Курья	0,0137	0,0135
р. Ушайка, 300 м ниже коллектора	0,0176	0,0170
р. Ушайка, п. Заварзино	0,0108	0,0102

* Концентрация хрома (VI), определенная с помощью модуля «Фотоколориметр» УЛК «Экологический мониторинг».
** Концентрация хрома (VI), определенная с помощью ТА «Эколаб-2».

В результате проведенного анализа получено уравнение градуировочной характеристики, подтверждена гипотеза о линейности исследуемой зависимости, оценена адекватность линейной модели и определены концентрации реальных проб. Концентрация хрома (VI) в водоемах города Томск и Томской области находится в пределах нормы.

Список литературы:

1. Аналитическая химия. Лабораторный практикум: пособие для ВУЗов / Под ред. В.П. Васильева. – 2-е изд., испр. – М.: Дрофа, 2004. – 416 с.
2. Пат. 89704 Многофункциональный модельно-измерительный комплекс / заявитель и патентообладатель ООО «Универсальные образовательные технологии» – № 2009124970; приоритет 29.06.09.
3. Ю.Ю.Лурье Унифицированные методы анализа вод.- М.: Химия, 1973. –376 с.
4. Сборник санитарно-гигиенических нормативов и методов контроля вредных веществ в объектах окружающей природной среды. - М.: Искусство, 1991. - 370 с.
5. Закономерности химических реакций. Методическое пособие. – Томск: изд. ООО «Универсальные образовательные технологии», 2010. – 139 с.
6. Показатели качества анализа. ГОСТ Р ИСО 5725-2002.

УДК 620.181

Особенности диагностики нанопорошков металлов, полученных электрическим взрывом проводников

А.П. Ильин, О.Б. Назаренко
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия
E-mail: obnaz@mail.ru

Рассмотрены основные характеристики нанопорошков металлов, полученных с помощью электрического взрыва проводников: форма и размеры частиц, величина площади удельной поверхности, распределение частиц нанопорошка по диаметру, параметры химической активности. Приведены экспериментальные результаты применения стандартных методов анализа и особенности их использования при определении характеристик нанопорошков.

Развитие техники и технологий требует постоянного улучшения физико-химических и физико-механических характеристик материалов. Снижение размеров структурных элементов до нанометрового диапазона (≤ 100 нм) является одним из способов придания веществу качественно новых свойств.

Одним из перспективных методов получения нанопорошков (НП) является электрический взрыв проводников (ЭВП). Процесс ЭВП характеризуется большой плотностью мощности энергии ($>10^{14}$ Вт/м^2) и быстрым нагревом ($>10^7$ К/с) проводника до высоких температур ($>10^4$ К). Формирование нанодисперсных частиц при ЭВП происходит в сильно неравновесных условиях – при больших градиентах температуры и скоростях охлаждения, интенсивном тепло- и массопереносе, воздействии электрического и магнитного полей. Благодаря этому электровзрывные НП обладают рядом необычных свойств [1–3]: после пассивирования устойчивы к окислению и спеканию при комнатной температуре, характеризуются высокой диффузионной активностью при нагревании.

НП металлов являются метастабильными системами [2, 3]. Даже при условии хранения НП металлов в инертной атмосфере, в них одновременно протекают процессы рекристаллизации, диффузионного спекания, диффузии продуктов восстановления воды и др. С нестабильностью и высокой реакционной способностью НП связаны проблемы их диагностики, возникают трудности в интерпретации результатов. Выбор методов диагностики является сложной не только технической, но и теоретической задачей. Методы диагностики необходимы не только при исследовании свойств наноматериалов, изучении влияния условий получения на их фазовый состав и структуру, но и как методы контроля входного сырья в различных нанотехнологиях.

Целью работы является обоснование стандартных физико-химических методов анализа и соответствующих параметров для диагностики нанопорошков металлов. Для тестирования были выбраны нанопорошки алюминия и вольфрама, полученные с помощью электрического взрыва проводников в среде аргона и азота.

Материалы и методики экспериментов. Нанопорошки металлов получали на опытно-промышленной установке УДП-4Г, работа которой подробно описана в [1–3].

Параметры электрического контура установки: емкость батареи конденсаторов C=2,32 мкФ; индуктивность разрядного контура L=0,58 мкГн. Условия получения порошков и значения площади удельной поверхности полученных порошков представлены в табл. 1.

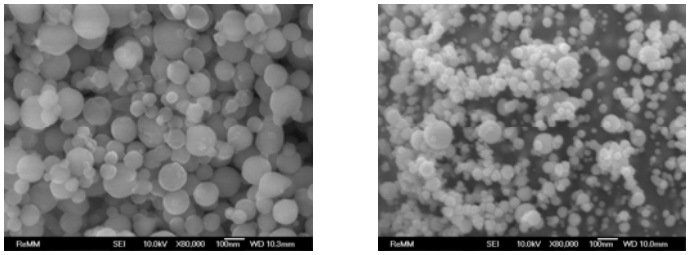
Таблица 1. Условия получения и характеристики нанопорошков алюминия и вольфрама

№	Материал проводника	d, мм	U, кВ	e/e_c	$e_д/e_c$	Газ	Р, Па	$S_{уд}$, м^2/г	$\bar{a}_s$, нм
1	Al	0,35	24	1,5	0,4	Ar	$1{,}5\cdot10^5$	12	120
2	W	0,2	22	1,1	0,5	Ar	$1{,}5\cdot10^5$	3,9	79
3	W	0,3	23	0,4	1,1	Ar	$1{,}5\cdot10^5$	1,9	164
4	W	0,3	23	0,7	0,8	N_2	$1{,}5\cdot10^5$	1,7	183
5	W	0,3	23	0,4	0,9	N_2	$0{,}3\cdot10^5$	2,6	120

Полуколичественный фазовый анализ состава полученных порошков проводили с помощью рентгеновского дифрактометра ДРОН-3,0 с использованием $Cu_{K\alpha}$-излучения трубки. Дисперсность и форму частиц определяли с помощью сканирующего электронного микроскопа JSM-840. Просвечивающая электронная микроскопия проводилась с помощью микроскопа Hitachi H-8100. Площадь удельной поверхности ($S_{уд}$) порошков определяли методом низкотемпературной адсорбции азота (метод БЭТ). Функции распределения частиц порошка по диаметру получены с помощью анализатора «Mastersizer 2000». Для анализа химической активности порошков использовали термоанализатор SDT Q600. Анализ проводили в режиме линейного нагрева в интервале 20…1000 ºС со скоростью нагрева 10 град/мин в атмосфере воздуха.

Дисперсный состав и распределение частиц по размеру. Частицы порошков, получаемые методом ЭВП, как правило, имеют сферическую форму, а сами порошки являются полидисперсными системами. Диапазон размеров частиц электровзрывных НП изменяется в очень широких пределах: от $5\cdot10^{-9}$ до 10^{-3} м. Получение НП с размерами меньше 30 нм нецелесообразно в связи с низкой температурой спекания, нестабильностью к окислению при пассивировании и агломерацией. Поэтому задача поиска условий получения НП, обеспечивающих высокую дисперсность и узкое распределение частиц по размерам в области 30…60 нм актуальна и непосредственно связана с проблемой диагностики дисперсного состава НП.

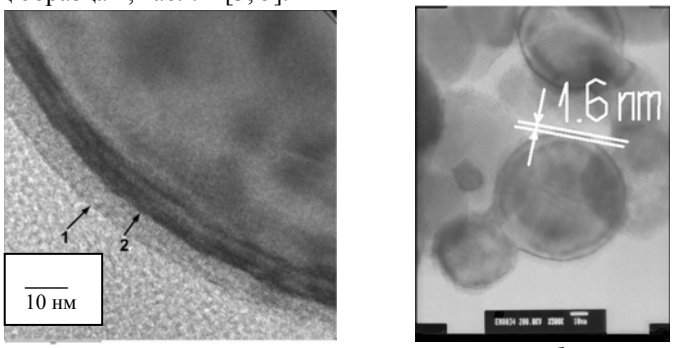
По данным сканирующей электронной микроскопии (рис. 1, *а*) НП алюминия состоит из частиц диаметром ~100 нм, но присутствуют частицы как большего диаметра ~200 нм, так и меньшего диаметра ~50–60 нм. Форма частиц близка к сферической, имеются отдельные агломераты частиц, которые частично спечены. Форма частиц НП вольфрама близка к сферической с гладкой поверхностью. На рис. 1, *б* представлена микрофотография образца 3, табл. 1. Большинство частиц имеют диаметр меньше, чем 100 нм.



а *б*

Рис. 1**.** Микрофотографии нанопорошков алюминия (*а*) и вольфрама (*б*)

На рис. 2, *а* приведена фотография частицы НП алюминия, полученная с помощью просвечивающей электронной микроскопии [4]. При пассивировании порошков медленным напуском воздуха происходит десорбция газа–среды, адсорбция компонентов воздуха и формирование защитной оксидно-гидроксидной защитной оболочки. Толщина окидно-гидроксидных плёнок для наночастиц металлов составляет от 2 до 8 нм, причём с уменьшением диаметра частиц со 100 до 50 нм их толщина уменьшается. При такой толщине плёнки рентгеноаморфны, т. е. определение их фазового состава с помощью рентгенофазового анализа проблематично. Толщина оксидной оболочки наночастицы вольфрама составляет 1,6 нм (рис. 2, *б*) для частиц образца 2, табл. 1 [3, 5].



а *б*

Рис. 2. Микрофотографии наночастицы алюминия (*а*) (1 – оксидно-гидроксидный слой; 2 – слой, обогащенный примесями тяжелых металлов) и наночастицы вольфрама (*б*)

Для всех электровзрывных порошков характерно трехмодальное распределение частиц по диаметру, что связано с механизмом разрушения проводника и последующего охлаждения первичных продуктов ЭВП [1, 6]. На рис. 3, *а* представлены графики распределения по диаметру частиц порошка вольфрама, полученного при ЭВП в азоте, $P = 1{,}5 \cdot 10^5$ Па. Функции распределения частиц по диаметру позволяют судить о влиянии условий получения на дисперсный состав порошков.

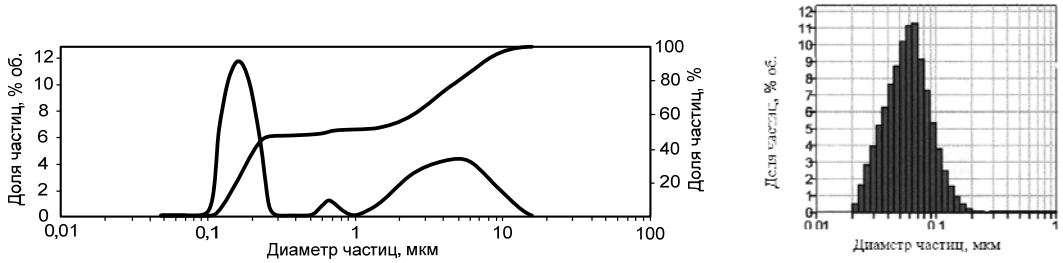


Рис. 3. Распределение по диаметру частиц вольфрамового порошка, полученного при ЭВП в азоте (*а*), частиц вольфрамового порошка обр. 2, табл. 1 (*б*)

Следует отметить, что на графиках распределения отсутствуют частицы нанодисперсного диапазона. Вероятно, в процессе разлета продуктов диспергирования проводника образуются агломераты, наличие которых и внесло погрешность в определение размера частиц порошка, так как электронно-микроскопические исследования (рис. 1, *б*) указывают на наличие частиц нанодисперсного диапазона. Данные результаты свидетельствуют о необходимости предварительной подготовки порошков перед проведением анализа для разрушения агрегатов частиц. Образец порошка вольфрама 2, табл. 1 был предварительно суспендирован в этаноле и обработан ультразвуком (200 Вт, 22 кГц) в течение 15 мин перед проведением анализа. Согласно полученным результатам (рис. 3, *б*) НП вольфрама имеет относительно узкое распределение частиц по диаметру в диапазоне 0,02…0,2 мкм с максимумом 0,06 мкм [3, 5].

Параметры химической активности. Для тестирования устойчивости НП к окислению и химическому взаимодействию предлагается использовать дифференциальный термический анализ (ДТА). На основе данных ДТА определяют четыре параметра химической активности [7]:

1. Температура начала окисления ($t_{н.о.}$, °С) – характеристика термической устойчивости НП в воздухе, определяется как температура, с которой начинается увеличение массы образца.

2. Максимальная скорость окисления (v_{max}, мг/с) характеризует интенсивность (скорость) прироста массы и тепловыделения в процессе окисления.

3. Степень окисленности (α, %) определяется для заданного температурного интервала и характеризует степень превращения исходного НП в продукты окисления.

4. Тепловой эффект (приведенный тепловой эффект) ΔH, кДж/г) – количество выделившейся теплоты, отнесенное к увеличению массы НП, т. е. к количеству связанного кислорода и азота.

С целью уменьшения тепловых эффектов при окислении нанопорошков в воздухе при проведении ДТА рекомендовано использовать малые навески (~$1 \cdot 10^{-5}$ кг порошков).

При нагревании в воздухе согласно ДТА (рис. 4) нанопорошок алюминия проявляет высокую активность. Заметна десорбция газообразных веществ, адсорбированных на поверхности частиц (~3 мас. %). Затем происходит резкое увеличение скорости роста массы и выделение теплоты, носящие взрывоподобный характер.

Параметры химической активности исследуемых НП алюминия и вольфрама, необходимые для оценки устойчивости к окислению, определенные по данным термического анализа, представлены в табл. 2.

Таблица 2. Параметры химической активности НП алюминия и вольфрама

образец	$t_{н.о.}$, °С	α, мас. %	v_{max}, мас. %/с	ΔH, Дж/г
Al	450	63,8	0,130	4995
W	370	24,1	0,03	3197

Процесс окисления порошков вольфрама включал три стадии [5, 6]. Наличие двух максимумов тепловыделения связано с полимодальным распределением частиц по диаметру: сначала окисляется фракция более мелких частиц, а затем – более крупная фракция. Параметры термической активности тесно коррелируют с дисперсностью исследованных порошков и с условиями их получения.

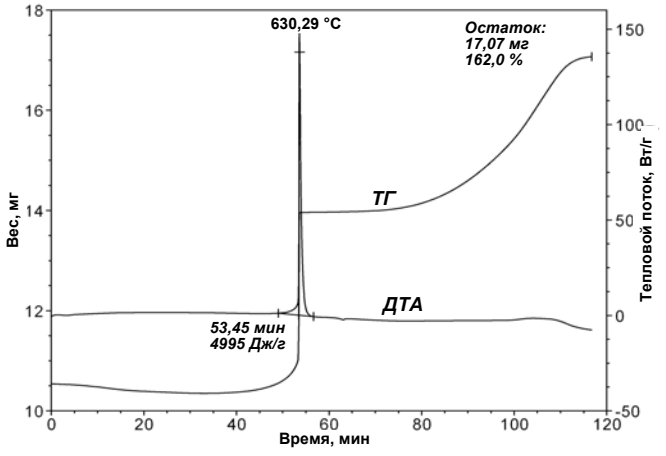


Рис. 4. Термограмма нанопорошка алюминия

Заключение. Для диагностики металлов в наносостоянии предлагается использовать метод низкотемпературной адсорбции азота (метод БЭТ), метод определения функций распределения частиц порошка по диаметру (седиментационный анализ), электронную микроскопию и термический анализ. В результате применения этих методов нанопорошки металлов характеризуются следующими численными характеристиками: наноструктурные характеристики (форма, размеры, состояние поверхности, площадь удельной поверхности), распределение частиц по диаметру, параметры химической активности (инертности).

Список литературы:

1. Назаренко О.Б. Электровзрывные нанопорошки: получение, свойства, применение / Под ред. Ильина А.П. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2005. – 148 с.
2. Ильин А.П., Громов А.А. Горение алюминия и бора в сверхтонком состоянии. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2002. – 154 с.
3. Громов А.А., Хабас Т.А., Ильин А.П. и др. Горение нанопорошков металлов. – Томск: Дельтаплан, 2008. – 382 с.
4. Назаренко О.Б., Тихонов Д.В. Влияние добавок активного газа на дисперсность электровзрывных нанопорошков металлов // Огнеупоры и техническая керамика. – 2006. – № 10. – С. 25–29.
5. Громов А.А., Ильин А.П., Верещагин В.И. Исследование процесса окисления электровзрывного нанопорошка вольфрама в воздухе // Известия Томского политехнического университета. – 2003. – Т. 306. - № 6. – С. 59–62.
6. Ильин А.П., Назаренко О.Б., Тихонов Д.В., Толбанова Л.О. Характеристики и свойства электровзрывных нанопорошков молибдена и вольфрама // Перспективные материалы. – 2010. – № 2. – С. 11–18.
7. Ильин А.П., Яблуновский Г.В., Громов А.А. Об активности порошков алюминия // Физика горения и взрыва. – 2001. – Т. 37.– № 4. – С. 58–62.

УДК 628.11

Характеристика водных ресурсов Зимбабве

Э. Нкубе, О.Б. Назаренко
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия
E-mail: obnaz@mail.ru

На территории Африки расположено 55 государств. Водные ресурсы по территории Африки распределены крайне неравномерно. Особенностью многих стран Африки является отсутствие выхода к морю. На основе географической и климатической однородности, что имеет прямое влияние на орошение, 55 африканских стран были сгруппированы в семь регионов. Эти регионы включают в себя следующие страны:

- Северный: Алжир, Египет, Ливия, Марокко, Тунис;
- Судано-сахелианский: Буркина-Фасо, Кабо-Верде, Чад, Джибути, Эритрея, Гамбия, Мавритания, Мали, Нигер, Сенегал, Сомали, Судан;
- Гвинейского залива: Бенин, Кот-д'Ивуар, Гана, Гвинея, Гвинея-Бисау, Либерия, Нигерия, Сьерра-Леоне, Того;
- Центральный: Ангола, Камерун, Центральноафриканская Республика, Конго, Демократическая Республика Конго, Экваториальная Гвинея, Габон, Сан-Томе и Принсипи;
- Восточный: Бурунди, Эфиопия, Кения, Руанда, Уганда, Объединенная Республика Танзания;
- Южный: Ботсвана, Лесото, Малави, Мозамбик, Намибия, Южная Африка, Свазиленд, Замбия, Зимбабве;
- Острова Индийского океана: Коморские Острова, Мадагаскар, Маврикий, Сейшельские острова.

Характеристика водных ресурсов. Республика Зимбабве – это государство в Южной Африке, между водопадом Виктория, реками Замбези и Лимпопо. Густая речная сеть принадлежит бассейну Индийского океана, за исключением небольшой области внутреннего стока на западе. Река Замбези, протекающая по северо-западной границе страны, собирает притоки с половины территории Зимбабве (Гвай, Сенгва, Саньяти, Хуньяни и др.). В Лимпопо, текущей по южной

границе, впадают реки Шаше, Умзингвани, Бубье, Мвенези. На юго-востоке река Саве принимает притоки Рунде и Саби. На западе река Ната с притоками высыхает по пути к Калахари. Реки Зимбабве, как правило, немноговодные, с многочисленными порогами и водопадами. Многие из них пересыхают в сухой сезон с ноября по апрель. На северо-востоке страны на реке Замбези находится знаменитый водопад Виктория высотой 107 м и шириной около 1500 м – главная туристическая достопримечательность Зимбабве. На многих реках построены водохранилища. В Зимбабве имеется одно крупное водохранилище Кариба на реке Замбези вдоль границы с Замбией, и много небольших – Кайл на реках Мтиликве, Робертсон и Мак-Илуэйн на реках Гвеби, Шангани-Тиябензи на реке Тиябензи и др. Судоходны только отдельные участки Замбези и Лимпопо.

Только крупные реки, такие как Саньяти, Мазове, Саве и Рунде являются многолетними. Тем не менее, в засушливые годы даже эти крупные реки пересыхают в период с августа по ноябрь. Среднегодовой сток для Зимбабве составляет 19910 млн. м^3. Используется же только 22 % от среднегодового стока. В связи с тем, что среднегодовое количество осадков в Зимбабве, как правило, низкое, и реки не многолетние, необходимо воду, полученную во время основного сезона дождей, сохранять для использования во время сухого сезона. Обширная сеть плотин была построена по всей стране. Они варьируются от небольших плотин на коммерческих фермах и в сельских районах, до крупных плотин с целью подачи воды к крупным городам и для орошения.

Кроме поверхностных вод, Зимбабве также использует подземные воды. По всей стране пробурены многочисленные колодцы и скважины. Мелкие, малопродуктивные колодцы и скважины в зонах общего пользования служат для снабжения питьевой водой деревень, особенно во время сухого сезона и в засушливые годы. Глубокие, высокопродуктивные скважины используются для орошения на коммерческих фермах.

Качество поверхностных и подземных вод в Зимбабве в настоящее время, как правило, хорошее, так как химикаты в сельском хозяйстве используются мало. Локальные загрязнения, тем не менее, имеют место. Примером является эвтрофикации озера Чиверо к югу от столицы Зимбабве Хараре. Кроме того, емкость основного водохранилища находится под угрозой заиления в результате потерь почвы в большинстве водосборных бассейнов. В этих условиях задачей правительства является обеспечение снабжения чистой питьевой водой всего населения.

Строительство плотин представляет собой значительный прогресс в направлении развития водных ресурсов страны. Правительство Зимбабве приступило к программам строительства крупных и средних плотин в стране как для ирригации, так и для других целей. Общий объем плотин составляет около 103 км^3, что равно 50 % от емкости озера Кариба на реке Замбези, разделяющей Замбию и Зимбабве.

Общее количество потребляемой в Зимбабве воды было оценено в 2008 году в 4,2 км^3. Водопотребление на душу населения составляет 324 м^3/год [1]. Водные ресурсы используются в основном для орошения, водоснабжения городов, промышленных нужд. Большая часть воды (79 % от общего объема водопользования) используется в сельском хозяйстве для орошения, рыбоводства и водопоя скота. Площадь орошаемых земель составляет 1740 км^2. Орошаемое земледелие будет оставаться основным потребителем воды в обозримом будущем. Потребление воды муниципального и промышленного назначения составляет 14 и 7 %, соответственно.

Международные проблемы водных ресурсов. В случае сохранения воды с помощью плотин для различных целей будет затронут поток трансграничных рек, таких как Замбези. Таким образом, возникает необходимость обеспечения баланса между количеством плотин и поддержанием определенного минимального уровня воды в реках, протекающих по территории разных государств [2]. В области системы управления реками региона Зимбабве сотрудничает с другими членами экономического объединения «Сообщество развития Южной Африки» (САДК). Недавно страна подписала протокол, который обеспечивает основу для управления трансграничными реками в САДК. Страна активно участвует в формировании комиссий бассейнов рек Лимпопо и Замбези, которые будут осуществлять надзор за совместным управлением этими трансграничными реками.

Ирригация и дренажные системы. Развитие системы орошения рассматривалось очень значимым для страны направлением всеми сменяющими друг друга правительствами в Зимбабве. До обретения независимости в 1980 г. правительство инвестировало значительные средства в строительство плотин и ирригационной инфраструктуры, хотя это приносило в основном пользу крупномасштабным коммерческим фермерам. С 1980 г. новое правительство признало важность расширения системы орошения для сектора мелких фермерских хозяйств и активизировало свои

усилия в этом направлении.

Большинство ирригационных систем в стране зависят от воды, хранящейся в малых и средних плотинах. Другими важными источниками воды являются скважины, глубокие колодцы, прямой отвод воды от реки, шахтные колодцы, дренажные системы.

В качестве источника водоснабжения могут использоваться подземные водосборные галереи (рис. 1). Обычно их строят на подгорных равнинах, где в конусах выноса содержится вода. Обнаружив в первой шахте водоносный горизонт, от него начинают вести горизонтальную галерею, соблюдая уклон. На равных расстояниях роют вспомогательные вертикальные шахты, которые вначале служат строителям для удаления грунта, а затем остаются для вентиляции. Горизонтальную штольню роют большого сечения, чтобы человек мог пройти стоя. Грунт закрепляют, иногда каменной кладкой. Средняя длина галереи 5–10 км, глубина первой, самой глубокой шахты – 50–100 м, дебит колеблется от 30 до 100 л/с и более. Каждый метр подземной галереи, пронизывающей водоносный горизонт, обеспечивает расход 0,3–0,6 л/с.

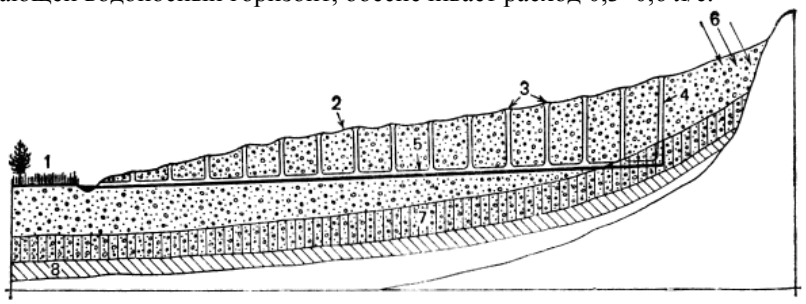


Рис. 1. Схема подземной водосборной галереи: 1 – орошаемый участок, 2 – подгорная равнина, 3 – вентиляционные шахты, 4 – головной колодец, 5 – горизонтальная галерея, 6 – атмосферные осадки, 7 – водоносный слой, 8 – водоупорный слой

Сбор воды является еще одним важным видом деятельности в Зимбабве. Наиболее распространенными методами являются использование инфильтрационные ямы, связанные борозды, fanya juus [3].

Инфильтрационные ямы выкапывают вдоль контура дренажных каналов, для улавливания воды за счет инфильтрации (рис. 2, *а*). Эти ямы имеют многофункциональное назначение. Некоторые фермеры заполняют ямы травой и другими органическими материалами для формирования компоста, другие фермеры высаживают фруктовые деревья и бананы вокруг ям. Инфильтрационные ямы служат также для сбора дождевой воды и обеспечивают проникновение влаги для сельскохозяйственных культур на склоне ям.

Связанные борозды похожи на обычные борозды, но имеют почвенные насыпи через секции траншей (рис. 2, *б*). Они улавливают и удерживают всю попадающую в них воду, которая затем инфильтруется на соседние поля для обеспечения влагой сельскохозяйственных культур.

Технология fanya juus является противоположностью связанным бороздам (рис. 2, *в*). Увлажненная почва извлекается из дренажного канала и укладывается шапкой в верхней части канала. В некоторых fanya juus высаживаются деревья и бананы. Это позволило использовать часть излишков воды, удерживаемой в канале.

а *б* *в*

Рис. 2. Технологии для сбора воды: *а* – инфильтрационные ямы; *б* – связанные борозды; *в* – fanya juus

Несмотря на очевидные преимущества использования поверхностных вод в стране, до сих пор отсутствуют подробные количественные данные и информация о степени использования водных ресурсов в стране, что затрудняет вывод о том, какие методы сбора воды предпочтительнее.

Окружающая среда и здоровье. Развитие системы орошения в Зимбабве оказывает, как правило, положительное влияние на здоровье человека. Наблюдается улучшение состояния питания людей. Положительный эффект носит двоякий характер: 1) из-за экономического прогресса в результате развития орошения общины могут позволить себе лучшее медицинское обслуживание; 2) улучшение инфраструктуры (дороги, электричество и т.д.), которое сопровождает развитие орошения, способствует оказанию более качественных услуг здравоохранения, таких как иммунизация детей, планирование семьи и сохранение здоровья матери и ребенка. Однако, несмотря на положительный эффект на здоровье человека, развитие орошения (особенно поверхностного орошения) в стране связано с повышенным риском малярии, шистосомоза, кишечных заболеваний, агрохимических отравлений, кожных и глазных заболеваний.

Список литературы:

1. Chenje, M., (eds). ‘State of the Environment – Zambezi Basin 2000.’ SADC/IUCN/ZRA/SARDC, Maseru/Lusaka/Harare, 2000
2. Tumbare, M.J. (ed.) 2000. ‘Management of River Basins and Dams: The Zambezi River.’ A.A. Balkema, Rotterdam, the Netherlands / Brookfield, U.S.A.
3. World Bank. 2006. ‘Zambezi River Basin – Sustainable Water Resources Development for Irrigated Agriculture.’ TFESSD Africa Poverty and Environment Programme.

УДК 628.16.081

Анализ технологий производства питьевой бутилированной воды

Я.Н. Богданова, О.Б. Назаренко
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия
E-mail: bjn88@sibmail.com

В связи с ухудшением экологической ситуации и повышением материального уровня жизни в городах нашей страны все большую популярность приобретает бутилированная вода [1]. В России за последние годы наблюдается стремительный рост потребления такой воды, так как качество водопроводной воды в значительной степени зависит от таких факторов, как состояние и протяженность водопроводных сетей, влияние экологических или технологических факторов и т.д. При прохождении по трубопроводам вода обогащается целым комплексом веществ, среди которых есть и не всегда безопасные для нашего здоровья, например, остаточный активный хлор, соединения железа и т. д. Питьевая вода не содержит подсластителей или химических добавок, калорий и сахара. Особую популярность в домашнем использовании питьевой бутилированной воды приобрели кулеры, в которых используются 19-литровые бутыли из поликарбоната – высококачественного экологически безопасного пластика.

В Томске лидерами по производству и продажам воды являются бутилированная вода «Афины» производства ОАО «Томское пиво» и бутилированная вода от компании «Ключевая вода». Оба производителя используют скважины, зарегистрированы в Кадастре подземных вод Томской области. По химическому составу подземные воды гидрокарбонатные натриево-кальциевые с средним значением минерализации 0,54–0,78 г/дм^3, с общей жесткостью 6,5–7,0 мг-экв/дм^3, pH 7,0–7,2. Вода из скважин не соответствует требованиям СанПиН 2.1.4.1074-01 [2] только по железу, концентрация которого составляет 4,75 мг/дм^3, т. е. имеет место превышение ПДК почти в 5 раз. Однако к воде, расфасованной в емкости, предъявляются более высокие гигиенические требования в соответствии с СанПиН 2.1.4.1116-02 [3]. Исходя из этих требований, подземные воды нуждаются в корректировке следующих основных характеристик: запах, мутность, цветность, общая минерализация, жесткость и железо. Исходный состав примесей в воде важно учитывать при выборе технологии очистки воды.

Кальций и магний присутствуют во всех подземных водах. Их источником являются природные залежи известняка, гипса. Именно кальций и магний определяют жесткость воды. Избыток этих солей в воде может привести к сердечно-сосудистым патологиям (склероз, гипертония), заболеваниям кишечно-желудочного тракта, мочекаменной болезни. Избыток магния

оказывает в основном слабительных эффект (особенно сульфат магния), а также может приводить к дефициту кальция и фосфора. Соли способны накапливаться в организме и могут дать о себе знать по прошествии многих лет. Кроме того, наличие солей жесткости в воде в большом количестве, быстро выводит из строя нагревательные элементы бытовых электроприборов.

Органические вещества, присутствующие в природных водах, влияют на органолептические показатели их качества – вкус, запах, цветность, мутность.

Железо и марганец придают воде неприятную красновато-коричневую или черную окраску, ухудшают ее вкус, вызывают развитие железобактерий. Длительное употребление железистой воды способствует возникновению болезней крови, развитию инфарктов, заболеванию печени, оказывает негативное влияние на репродуктивную функцию организма. Поэтому технологическая цепочка подготовки воды для питьевых целей у любого производителя обязательно начинается с аэрации, с помощью которой железо воды переходит в нерастворимую форму, и в дальнейшем лучше оседает на фильтры. Далее отдельно рассмотрим две технологические цепочки производства питьевой бутилированной воды.

Вода природная питьевая «Афины» поступает из скважины № ТМ-546 глубиной 90 м в две накопительные емкости общей вместимостью 50 $м^3$, где происходит отстаивание воды и оседание механических примесей. Далее вода фильтруется через механический фильтр с альбитофиром, который снижает содержание железа и взвешенных частиц размером более 60 мкм. Затем вода проходит обработку на водоочистном оборудовании. Первым следует фильтр обезжелезивания, который удаляет коллоидные примеси, соединения гуминовых и фульвокислот, Fe^{2+} и Fe^{3+}, марганец, коллоидный кремний и крупные колонии бактерий. Загрузка фильтра состоит из гравия, каталитически активного фильтрующего материала МЖФ, ускоряющего реакции окисления кислородом воздуха и антрацита, обладающего большой грязеёмкостью и задерживающего большое количество примесей. При производстве каталитического материала МЖФ диоксид марганца вводится в структуру частиц, поэтому активность материала сохраняется при износе его гранул. Так, в отличие от большинства каталитически активных загрузок, содержащих в качестве каталитически активного компонента диоксид марганца MnO_2, он позволяет использовать для окисления не только воздух, но и озон, гипохлорит натрия, перманганат, что дает возможность удалять сероводород, органические загрязнения и обеззараживать воду. Соотношение гидрокарбонатов к суммарному содержанию сульфатов и хлоридов не влияет на эффективность его работы. Исходные концентрации железа и марганца могут доходить до 50 и 2 мг/л соответственно. Регенерация фильтра проводится в автоматическом режиме обратным и прямым потоками. Второй этап – фильтр умягчения КУ-2-8, который снижает жесткость воды, удаляя ионы Ca^{2+} и Mg^{2+} путем замены на катионообменной смоле на ионы Na^{+}. Катиониты КУ-2-8 – разновидность ионообменной смолы, негорючий, неплавкий материал, не растворимый и не ядовитый [4], имеет цвет от желтого до коричневого. Ионообменные смолы – высокомолекулярные вещества синтетического происхождения. Ионообменная смола в емкостях высокого давления установки умягчения, состоит из маленьких синтетических шариков диаметром от 0,3 до 1,2 мм, которые дают высокую ионообменную способность из-за пористой поверхности. Способность ионообменных смол ограничена. После прохождения через смолу определенного количества воды, её нужно регенерировать. Регенерация фильтра проводится в автоматическом режиме 8–12 %-м раствором NaCl, время регенерации определяется по расходу воды, по состоянию раствора соли. Смола заряжается новыми ионами натрия. В процессе регенерации, ионы кальция и магния удаляются в дренаж. После регенерации ионообменная смола может умягчить такое же количество воды. Использование катионита КУ-2-8 в настоящее время является экономически выгодным решением, а качество и надежность этой смолы проверена временем. Очищенная вода обеззараживается на бактерицидной установке Б-М 1/НД 9 непрерывным ультрафиолетовым излучением и поступает в накопительную емкость из нержавеющей стали вместительностью 6 $м^3$, где кондиционируется по химическому составу и микродобавкам (серебру, йоду, фтору, селену). Затем готовая к розливу вода поступает в накопительную ёмкость вместительностью 15 $м^3$, откуда подается на розлив.

Серебро способно в малых концентрациях оказывать бактерицидное действие. При концентрациях 50–100 мкг/л ионы серебра обладают бактериостатическим действием, т.е. способностью сдерживать рост и размножение бактерий. Однако, в тех концентрациях, которые разрешены действующими нормативами (0,025 мг/$дм^3$) [3], серебро способно лишь притормозить рост бактерий в воде. Его можно использовать как способ продления срока хранения воды (при несоблюдении правил хранения и в зависимости от концентрации серебра возможно выпадение осадка и изменение цвета воды).

Технологическая схема производства питьевой бутилированной воды «Ключевая вода» имеет свои особенности. Источником воды служит собственная артезианская скважина № 1П-08 глубиной 120 метров, расположенная на территории производственного комплекса. Первая ступень очистки это аэратор – танк, в котором вода из артезианских скважин насыщается кислородом. Кислород переводит железо воды в нерастворимую форму, и оно в виде хлопьев оседает на фильтр. Песочно-гравийный фильтр, следующий после аэратора, производит очистку от грубых загрязнений. Проходя сквозь слои песка и гравия, в песочно-гравийном фильтре из воды удаляются мутные взвеси, и вода становится прозрачной. Взвешенные твердые примеси, присутствующие в природных водах, состоят из частиц глины, песка, ила, суспендированных органических и неорганических веществ, различных микроорганизмов. Взвешенные частицы влияют на прозрачность воды. Мутность воды вызвана присутствием в воде тонкодисперсных примесей, обусловленных нерастворимыми или коллоидными неорганическими и органическими веществами различного происхождения. Третья ступень очистки – BIRM-фильтр, материал из вулканической золы, обработанный диоксидом марганца, предназначенный для удаления из воды железа и марганца. Благодаря ему происходит ускорение реакции между растворённым кислородом, и соединениями железа. Четвертая ступень – угольный фильтр, состоящий из экологически чистого сырья, удаляет из воды методом адсорбции хлор, органические и неорганические соединения, посторонние запахи и вкусы. Промывка производится периодически с целью восстановления адсорбирующих свойств загрузки и удаления осадка. Дезинфекция фильтра паром предназначена для более глубокой отмывки и обеззараживания загрузки. Этот цикл проходит между несколькими обычными промывками. После адсорбирующего фильтра вода проходит через УФ-лампы, где уничтожаются болезнетворные микроорганизмы. Завершающая ступень очистки – обратный осмос, единственный способ получить максимально очищенную воду. В этом фильтре используется полупроницаемая мембрана, через которую проходят молекулы воды, но не проходит большая часть химических примесей. После прохождения фильтра обратного осмоса вода приближается по своему составу к дистиллированной. Обратный осмос служит барьером для всех растворимых солей, удаляется до 98,5 % примесей. Далее следует обогащение воды природными минеральными веществами в концентрациях, одобренных СанПиН 2.1.4.1116-02 [3]. Ученые давно вывели четко сбалансированную норму оптимальной минерализации воды, суммарного содержания всех найденных при химическом анализе воды минеральных веществ, – 100,0–1000,0 мг/л, к которой стремятся производители. Вкус воды, ее органолептические свойства создает именно минерализация. Сравнение состава «Ключевой воды» с нормами физиологической полноценности воды [1] показало значительное снижение до критических значений pH, общей жесткости, гидрокарбонат-иона, кальция, кремния и изменение ионного состава вод.

Серебро при производстве «Ключевой воды» не используется. После проведения ряда исследований производитель «Ключевой воды» пришел к выводу о негативном воздействии так называемого серебрения воды, т. е. обработки воды серебром. Как и большинство тяжелых металлов, серебро медленно выводится из организма и при его постоянном поступлении может накапливаться. При длительном (до 10 и более лет) накоплении серебра возможно проявление признаков аргироза – отравления серебром (оно не представляет угрозы для жизни). Физиологическая роль серебра в организме человека пока изучена недостаточно. Серебро поступает в организм в ничтожно малых количествах (среднее суточное поступление составляет около 7 мкг в сутки, по данным ВОЗ) и при этом дефицит серебра пока нигде не описан.

Если сравнивать технологическую цепочку производства двух видов бутилированной воды, можно сделать вывод, что при производстве «Ключевой воды» используют достаточно дорогостоящее оборудование. Вода после обработки на установке обратного осмоса по своим свойствам близка к дистиллированной, что полезным для здоровья не является. Перед фильтром обратного осмоса для его бесперебойной работы необходимо иметь картриджный фильтр. Последующая минерализация воды приводит к переходу ионного состава в хлоридно-сульфатный магниево-натриевый. Перечисленные выше обстоятельства делают свой вклад в стоимость бутилированной воды «Ключевая вода», которая выше стоимости бутилированной воды «Афины».

Технологическая цепочка производства бутилированной воды «Афины» включает фильтр умягчения, который вызывает увеличение содержания ионов натрия и уменьшение содержания ионов калия, но концентрации указанных элементов не превышают рекомендуемых СанПиН значений. Выводы об изменении ионного состава будут сделаны после проведения полного химического анализа питьевой воды «Афины».

Список литературы:

1. Хващевская А.А., Копылова Ю.Г. Оценка качества бутылированных 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.
2. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. СанПиН 2.1.4.1074-01».
3. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды, расфасованной в емкости. Контроль качества. СанПиН 2.1.4.1116-02».
4. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. СанПиН 2.3.2. 2804-10».

УДК: 53.087.

Значение радиационного мониторинга местности в урбоэкологии (на примере города Юрги)

К.Н. Орлова

Юргинский технологический институт Национального исследовательского Томского политехнического университета, г. Юрга, Россия

e-mail:kemsur@rambler.ru

В работе представлены исследования фонового значения мощности эквивалентной дозы гамма-излучения на территории города Юрги. Показано превышение максимальной нормы фонового значения в трех районах города, в том числе в одном жилом районе.

Все источники радиации на планете можно разделить на естественные (космическое излучение, газы, радиоизотопы) и искусственные (причиной появления которых стал человек). Наибольшее значение облучения принято ассоциировать с облучением в результате аварий на объектах повышенной ядерной опасности и от испытаний ядерного оружия. Но согласно данным Международной комиссии по радиологической защите, в большинстве стран мира, источники ионизирующего излучения природного происхождения создают около 50% средней дозы облучения человека, а вклад техногенных источников, которые попали в окружающую среду в результате радиационных аварий на атомных электростанциях и испытаний ядерного оружия, не превышает 0,03 %. Значительный процент в облучение человека вносит использование ионизирующего излучения в медицине (рис.1).

Исходя из этих данных, вытекает необходимость и актуальность экологических исследований радиационной безопасности в населенных пунктах, в том числе на территории, не прилегающей к объектам повышенной радиационной опасности.

Цель исследования: провести радиационный мониторинг на примере города Юрги.

Рис. 1. Источники радиоактивного облучения человека, проживающего на территории Российской Федерации, за год

Гамма- излучение возникает при ядерных реакциях, α- и β -распадах радиоактивных ядер, элементарных частиц, при аннигиляции пар частица-античастица, а также при прохождении быстрых заряженных частиц через вещество. Гамма-излучение, сопровождающее распад радиоактивных ядер, испускается при переходах ядра из более возбужденного энергетического состояния в менее возбужденное или в основное. Поэтому оно является легче детектируемым и наиболее распространенным.

Проведение измерений дозиметрических характеристик гамма-излучения производилось преимущественно в ясную погоду при атмосферном давлении 750-760 мм.рт.ст. Этот выбор обусловлен выявленной количественной зависимостью космических лучей и формирования облачности и осадков. Космические лучи могут более чем на 10 % изменять показания дозиметров. Поэтому для исключения этого влияния показания снимались при одинаковой ясной погоде и на одинаковом расстоянии 1 м. от грунта, строго в горизонтальном положении при величине относительной погрешности не более 7%. Измерения на высоте 1 м – это своеобразный стандарт, связанный с определенной геометрией и соотношением гамма - и бета-излучений и местоположением наиболее чувствительной части тела стоящего человека.

Произведенные измерения амбиентной эквивалентной дозы и мощности дозы гамма-излучения были сопоставлены с утвержденными нормами по радиационной безопасности. Согласно санитарным правилам СанПин 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)», утвержденным 1 сентября 2009 года вместо НРБ-99 [1], максимальная мощность эффективной дозы гамма-излучения на рабочем месте - 2,5 мкЗв/ч. При проведении обследований и оценке по показаниям дозиметра опасности облучения необходимо помнить, что последствия облучения определяются не мощностью дозы, а суммарной полученной дозой, т.е. мощностью дозы, умноженной на время, в течение которого облучается человек. Например, если мощность дозы составляет 0,11 мкЗв/ч, то облучение в течение года (8760 ч) создаст дозу ~1 мЗв – по СанПин 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)» предел, который не должен превышаться при техногенном облучении населения.

На карте-схеме города Юрги (рис. 2) пронумерованы точки, в которых производились замеры. Преимущественно выбирались разные районы города с жилыми домами и промышленными постройками. В таблице 1 отражены полученные численные значения с рассчитанной годовой дозой гамма-излучения. Значения, превышающие норму 1 мЗв, определены для трех точек. На карте-схеме первые повышенные значения зарегистрированы под номером четыре. Эта местность является близлежащей к машиностроительному заводу, точнее ТЭЦ. Высокие значения можно объяснить находящимися неподалеку шлаковыми насыпями [2]. Также значения превышающие норму определены на территории принадлежащей абразивному заводу, где находятся хранилища для осаждения шлама. Значения, превышающие норму, зарегистрированы также для жилого района (на схеме он обозначен цифрой 3). Столь высокие значения могут быть обусловлены холмистым рельефом местности, оврагами, перепадами высот и находящимися на другой стороне реки горами. Подобный рельеф стимулирует повышенный выход радона, что в свою очередь дает вклад в показания мощности дозы гамма-излучения.

Рис. 2. Карта-схема города Юрги

Таблица 1. Карточка регистрации мощности эквивалентной дозы гамма-излучения

Место измерения (номер точки на карте-схеме)	Дополнительная характеристика места измерения	Мощность дозы,Н мкЗв/ч				
		Показания дозиметра				
		1	2	3	Среднее значение Н	Годовая доза облучения,мЗв
1	Тротуарное покрытие -асфальт	0,10	0,11	0,10	0,10	0,91
2	Покрытие газон, почва-суглинок	0,10	0,09	0,10	0,10	0,85
3	Покрытие газон, почва глина	0,12	0,13	0,13	0,13	1,11
4	Поле, почва супесь	0,17	0,16	0,15	0,16	1,40
5	Тротуарное покрытие -асфальт	0,11	0,10	0,10	0,10	0,91
6	Покрытие газон, почва суглинок	0,08	0,08	0,08	0,08	0,70
7	Покрытие газон, почва глина	0,10	0,11	0,11	0,11	0,93
8	Тротуарное покрытие -асфальт	0,07	0,08	0,08	0,08	0,67
9	Тротуарное покрытие -асфальт	0,09	0,09	0,10	0,09	0,82
10	Поле, почва супесь	0,15	0,16	0,15	0,15	1,34

Выводы:

При проведении экологического радиационного мониторинга является актуальным обследование урботерритории. Согласно оценке дозиметрических характеристик на территории города Юрги, получены значения, в трех точках превышающие соответствующую норму. При проведении обследования местности необходимо учитывать факторы расположения отходов промышленности и холмистый рельеф местности, горы, тектонические разломы, которые могут вносить изменения в дозиметрические характеристики вплоть до превышения максимальной дозы в несколько раз.

Список литературы:

1. СанПиН 2.6.2523-09 «Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009» от 7 июля 2009 года, N 47: Зарегистрировано в МинЮсте РФ 14 августа 2009 года, N 14534. 2009.
2. http://n-t.ru/nj/nz/1986/0901.htm.

УДК 581.824

Экологические методы в системе безопасности энергоснабжения Сибири

А.Н. Панов

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск, Россия
E-mail: panov_1958@hotmail.com

Исследования проводили в период разработки технологии очистки отчужденных территорий от нежелательной древесно кустарниковой растительности. Выявлены механизмы адаптации растительных организмов на уровне листового аппарата, в зависимости от видовых и экологических условий произрастания лесной растительности.

Проблема защиты ЛЭП или линий электрических передач от древесной растительности в Сибири до настоящего времени остается актуальной. Для безопасной эксплуатации ЛЭП необходимо постоянно поддерживать свободными подъезды и подходы к технологическому оборудованию. Трассы часто проходят по лесным участкам, заболоченным и пересеченными оврагами и небольшими реками территориям. Проблема обостряется тем, что в Сибири линии

электрических передач прокладываются на почвах, способствующих интенсивному росту древесной растительности. Побеги способны вызывать замыкание проводов, что ведет к сбою работы всей системы. С другой стороны роль лесных экосистем в сохранении экологического равновесия на региональном и глобальном уровне многократно превышает их утилитарное значение. В последние годы возрастает пресс техногенных нагрузок на природную среду. Мониторинг лесных экологических систем исходит из самой сущности устойчивости и развития лесов. При проведении природоохранных мероприятий и многолетних наблюдений часто используют методики, которые зачастую не отражают реальной картины изменений в природе. Знание закономерностей физиологических процессов растительных организмов является основой для долгосрочных прогнозов развития биоценозов, что позволит предотвращать возникновение и развитие экологических катастроф и техногенных аварий на промышленных предприятиях. [1-3]. На современном этапе, промышленные нагрузки оказывают уже глобальные изменения на природную среду, следовательно, необходим учет особенностей развития древесно-кустарниковой растительности, например, в ответ на воздействие техногенных аэрозолей. Поэтому появляется необходимость осуществлять действенный контроль над экологическим состоянием лесных фитоценозов, произрастающих на отчужденных территориях или граничащих с ЛЭП.

Знание закономерностей физиологических процессов растительных организмов является основой для долгосрочных прогнозов развития биоценозов, что позволит предотвращать возникновение и развитие нежелательных процессов в природной среде. Наиболее удобным объектом для проведения мониторинга внешнего воздействия на древесно-кустарниковую растительность может служить листовой аппарат древесной растительности. Целью настоящего исследования явилось изучение ответных реакций древесно-кустарниковой растительности, произрастающей на отчужденной территории, в ответ на воздействие 0,5 % аэрозоля арборицида раундапа.

Объектом исследования служили листья и почки березы (Betula pubescens Ehrh.), осины (Populis tremula L.) и ивы пепельно - серой (Salix cinerea L). Опытные и контрольные растения находились в одинаковых условиях произрастания. Исследования проводили на листьях и почках среднего яруса кроны растений. С листовым аппаратом работали при оптимальных условиях развития организма в середине вегетационного сезона. Почки собирали по завершению данного периода. Пигментный комплекс фотосинтетического аппарата определяли согласно рекомендациям А.А. Шлыка [4]. Водный режим листового аппарата определяли по общепринятым методикам [5].

Проведенные исследования показали, что опытные и контрольные растения находились в одинаковых условиях произрастания.

Динамика изменения веса листа характеризуют миграцию воды в листовой пластине. Результаты наших исследований показали, что через 24 часа после контакта листового аппарата березы с аэрозолем произошло увеличение сырого веса 1 см ^{2} и достигало веса 8,57 мг, что на 2,67 мг превышало контрольные показатели. Через 72 часа наметилась тенденция снижения сырого веса листовой пластинки. Анализируемый параметр листа березы приближался к контрольным параметрам. Более того, к моменту завершения наблюдений или через 96 часов сырой вес листа контрольных растений на 0,56 мг превосходил аналогичных показатель опытных растений. Сухой вес листа в течение опыта не изменялся. Объективным показателем, позволяющим судить о водном обмене листового аппарата, является соотношение сухого веса 1 см ^{2} листа к его влажности. В контроле данное соотношение составляло 33,8 %. В опытном варианте у березы через 24 часа произошло снижение до 22,4 %. В дальнейшем наметилась тенденция роста сухого вещества относительно влажности листа, и к концу наблюдений составляло более 35 %.

Изменение водного обмена листа березы было направлено на поступление дополнительной воды в листовую пластину именно в первые сутки после контакта растения с раундапом. Наблюдалось преобладание удельного веса воды над сухим весом. Данные факты указывают на способность березы длительное время удерживать избыточное количество воды. Активизация поступления воды в лист создает условия для снижения концентрации изучаемого препарата.

У осины влажность листа изменялась менее интенсивно, чем у березы. Однако общая тенденция сохранилась. Количественные показатели сухого веса листовой пластинки осины оставались без изменения. Изменялось соотношение сухого веса листа осины к влажности листа. В контроле у осины это соотношение было выше аналогичных показателей березы и составляло 41%. Суточное воздействие аэрозоля на осину приводило к уменьшению данного показателя до

36%. На третьи и четвертые сутки наблюдений регистрировали изменение анализируемого соотношения в сторону увеличения сухого веса. Превышение составляло более 50%.

Ива, в отличие от березы и осины, через 24 часа после воздействия техногенного аэрозоля снижала влажность листовой пластины. Параллельно с уменьшением влажности листа наблюдали повышение сухого веса. В природной среде у ивы относительно березы и осины наблюдали уменьшение соотношение сухого веса к влажности листа. Однако к концу опыта у ивы вновь менялось соотношение в сторону повышения доли сухого веса в листовой пластинке.

Измерение скорости транспирации в природной среде показало, что существует видовая зависимость. После контакта березы с аэрозолем скорость испарения воды с поверхности листа постоянно возрастала. Реакция осины проявлялась в том, что через 24 часа после контакта аэрозоля с листом интенсивность транспирации не возрастала. Ива в первые часы опыта резко сократила скорость транспирации. Только через 48 часов процессы испарения воды достигали контрольных показателей. Однако через 72 часа после контакта с аэрозолем транспирация возвращались на исходный уровень.

На первом этапе аэрозоль стимулировал накопление хлорофилла ***a*** в листовом аппарате березы. Через 96 часов после контакта растения с исследуемым фактором наметилась устойчивая тенденция разрушения хлорофилла ***a***. В течение 24 часов с момента контакта березы с аэрозолем произошло двукратное увеличение хлорофилла ***b,*** затем происходило медленное разрушение данного пигмента. У осины количество хлорофилла ***a*** было больше, чем у обработанных растений. На протяжении 168 часов после контакта техногенного аэрозоля с листом количество хлорофилла ***a*** плавно уменьшалась до 10 % от исходного состояния. Однако в отношении хлорофилла ***b,*** какой либо закономерности нами не обнаружено.

Анализ водного обмена листового аппарата березы показывает, что адаптационные механизмы растительного организма были направлены на выведение токсического агента. Именно в листовой пластинке шло разбавление летальной концентрации токсина. Затем происходило его выведение при помощи дополнительного количества воды, которое поступало в лист березы. На избыточное поступление воды указывает и такой показатель, как превышение влажности над сухим весом листа. На добавочный приток воды в лист березы существенное влияние оказывал и верхний концевой двигатель. В результате усиления транспирации снижается водный потенциал, следовательно, возрастала сосущая сила. Как показано исследованиями транспортная сеть в фотосинтезирующем органе формируется закладыванием сети крупных жилок. Процесс пролонгирован во времени и вдоль поверхности листа от его вершины к основанию [6]. Береза в экстремальных условиях в первые сутки после контакта с аэрозолем была способна подавать и удерживать в листовой пластине определенный запас воды, предотвращающий поступление токсина к подземным органам. В корневой системе раундап способен блокировать синтез важных аминокислот [2].

Через 48 часов восходящий ток воды уже не восполнял потери воды листовым аппаратом. Развивались процессы характерные для старения листа. Ход разрушения мезофилла листа березы приобретал необратимый характер. В дальнейшем вода по закону диффузии проникала в разрушенные структуры листа и заполняла межклеточные пространства, увеличивая вес листовой пластинки. Вероятно, возрастала скорость испарения воды из-за разрушения и расхождения клеток кутикулы листа, что также указывает на процессы старение листовой пластинки. Дефицит питательных веществ ухудшал условия подготовки почки к зимнему периоду, что снижало шансы растений на выживание в будущем вегетационном сезоне.

В ответ на неблагоприятные природные факторы хлоропласт способен осуществлять процесс трансформации энергии с достаточно высокой эффективностью и быстро приспосабливаться к изменению окружающей среды [7]. На первоначальном этапе в березовом листе наблюдали усиление синтеза хлорофилла ***a***, что необходимо рассматривать как приспособительную реакцию. Именно хлорофилл ***a*** участвует в создании органических ассимилянтов, которые способны связать инородные тела и значительно снижать неблагоприятное воздействие токсинов на растительный организм. Однако дальнейшее пребывание яда в листовой пластине приводит к тому, что избыточное поступление воды в лист воздействует на пространственную организацию хлорофилла. Это способствует ослаблению взаимодействия пигментов с белками мембраны и нарушению фотосинтеза [8]. Хлорофилл ***b*** участвует в системе, собирающий кванты света, для передачи их на реакционный центр. При неблагоприятных факторах он подвергся разрушению. Параллельно разрушению хлорофиллов наблюдали деградацию каротиноидов, задача которых призвана предохранять молекулы хлорофиллов от необратимого фотоокисления.

Защитная реакция ивы на воздействия изучаемого аэрозоля отличалась от механизмов адаптации березы. Лист закрывал все поверхностные клетки, тем самым предотвращал поступление токсина в листовую пластину. Уменьшалось и поступление воды из почвы. Следовательно, сокращался транспортный ток в растении, и уменьшалась вероятность попадания токсинов к корням. Активизация водного обмена через 72 часа в первую очередь вызвана физиологическими и биохимическими процессами. Во вторую очередь необходимостью выведения токсина из листа через резкое усиление транспирации. Осина занимала промежуточное положение относительно березы и ивы.

Интегральным показателем, характеризующим потенциал растений, является состояние почки. Данные наших исследований показывают, что в опытных группах произошли морфометрические изменения. Вес березовой почки в экспериментальной группе снижался до 20 %. Почти на половину уменьшалась ее длина. На 30 % сократилось количество хлорофилла **а**.

Таким образом, результаты наших исследований показывают, что в системе мониторинга устойчивости лесных фитоценозов оправдано использование методов изучения физиологических процессов у известной и распространенной растительности Сибири. Знание закономерностей ответных реакций растительного организма на уровне листового аппарата является доступным и оперативным. При необходимости, возможно, обучить сотрудников лесных служб использованию данных методик, что поможет получать объективную картину состояния растительных сообществ на обширных пространствах.

Список литературы:

1. Пологова Н.Н., Дюкарев А.Г. Мониторинг лесных экосистем в лесоболотной зоне // Шестое Сибирское совещание по климато - экологическому мониторингу. Материалы совещания / Под ред. М.В. Кабанова. Томск, 2005. с. 242-246.
2. Мартынов А.Н., Красновидов А.Н., Фомин А.В. Применения раундапа в лесу // Спб.: СПбНИИЛХ, 1998, 148 с.
3. Алексеев Н.А., Колпаков В.А., Новиков В.Г., Цехановская Н.А. Определение выбросов загрязняющих веществ от шпалопропиточного производства // Чтение памяти Ю.А. Львова: Материалы II Межрегиональной экологической конференции. Томск.: томский университет, 1998. С. 97.
4. Шлык А. А. Определение хлорофиллов и каротиноидов в экстрактах зеленых листьев // Биохимические методы в физиологии. М.: Наука, 1971. С. 154 - 170.
5. Сказкин Ф.Д., Ловчиновская Е.И, Красносельская Т.А., Миллер М.С., АникеевВ.В. Практикум по физиологии растений. М.: Советская наука. 1953. 310 с.
6. Гамалей Ю.В. Транспорт и распределение ассимилянтов в растении, подходы, методы и направления исследований // Физиология растений 2002. том 49, № 1, с. 22-39.
7. Зотикова А.П. Диагностика состояния кедра сибирского по активности первичных фотосинтетических реакций // Проблемы кедра. Вып. 7. Экология, современное состояние, использование и восстановление кедровых лесов Сибири. Томск, 2003. С. 76- 80.
8. Полевой В.В., Саломатова Т.С. Физиология роста и развития растений. Л.: Издательство, Ленинградского университета, 1991. 240 с.

УДК 621.1

Аналитическая оценка влияния методов снижения выбросов NO_x и SO_2 на надежность и экономичность работы котельных агрегатов ТЭС

В.В. Пинигин, С.А. Иванов

Забайкальский государственный университет, ЗабГУ

E-mail: vaso-88@mail.ru

Рассмотрены особенности механизмов образования оксидов серы и азота. Представлен анализ существующих способов снижения эмиссии вредных веществ и их влияния на надежность и экономичность работы котельных агрегатов ТЭС.

В настоящее время существует значительное количество методов и технологий, позволяющих произвести очистку дымовых газов ТЭС от вредных составляющих. Эффективность этих мероприятий достаточно высока, однако существенным их недостатком является высокая стоимость оборудования и эксплуатации, а также сложность технологических процессов и

необходимость осуществления конструктивных изменений элементов энергетического оборудования и котельных агрегатов в частности.

Российским законодательством для традиционных тепловых электростанций, работающих на твердом топливе, были установлены нормы выброса оксидов азота и серы в соответствии с ГОСТ Р 50831-95. В связи с этим на большей части ТЭС страны необходимо внедрение природоохранных технологий, эффективность которых позволила бы сохранить существующий парк котельных агрегатов, продлив тем самым срок их эксплуатации.

Как известно, механизм образования оксидов азота при сжигании органического топлива имеет двойственную природу: образование за счет окисления азота воздуха, поступающего в топку при горении (т.н. «быстрые» оксиды), и за счет окисления азотсодержащих соединений, входящих в состав топлива (топливные оксиды).

Образование «быстрых» оксидов азота зависит, главным образом, от коэффициента избытка воздуха в ядре факела, температуры уходящих газов и скорости их охлаждения. Так с ростом температуры продуктов сгорания от 1500 до 2100ºС образование «воздушных» оксидов азота возрастает в несколько раз. Однако в диапазоне температур, не превышающих 1000ºС, образования NO_x практически не происходит.

Существенным оказывается влияние избытка воздуха, что начинает проявляться уже при температуре свыше 1000ºС и коэффициенте избытка воздуха в топке, равном 0,6-0,8.

Если проводить сравнение удельных объемов термических и топливных оксидов азота в продуктах сгорания, то здесь основную долю составляют топливные оксиды, поскольку их выброс зависит, главным образом, от содержания азота в исходном топливе. Процесс образования топливных оксидов азота начинает протекать при температуре 630-680ºС.

Можно выделить основные особенности процесса эмиссии топливных оксидов азота:

- образование топливных оксидов азота в меньшей мере зависит от температуры и сильно зависит от концентрации кислорода в зоне горения;
- химический состав и количество, образующейся золы, не оказывают влияния на содержание NO_x в уходящих газах;
- использование извести в процессе сжигания твердого топлива приводит к увеличению выброса оксидов азота, оказывая каталитическое действие.

В основе существующих способов снижения выбросов NO_x лежит обработка продуктов сгорания химическими реагентами, а также мероприятия, направленные на уменьшение количества кислорода и молекулярного азота в зоне горения, на снижение температуры, при которой происходит горение. Такими способами являются сжигание с пониженными избытками воздуха, нестехиометрическое (ступенчатое) сжигание, рециркуляция дымовых газов, применение малотоксичных горелок, концентрическое сжигание, reburning, технологии селективного каталитического и некаталитического восстановления.

Достоинство концентрического способа сжигания топлива состоит в сниженном по сравнению с обычным способом сжигания уровне недожога, что объясняется плавным (не скачкообразным) воспламенением. Кроме того, при переходе на сжигание в высококонцентрированном потоке значительно снижается вероятность шлакования и коррозии поверхностей нагрева котла; технология сжигания высококонцентрированной пыли не вызывает ухудшения экономичности котельного агрегата; стоимость реализации данной технологии оказывается гораздо ниже аналогичных по эффективности типовых решений.

Однако технология сжигания топлива в высококонцентрированном потоке аэросмеси оказывается оправданной только на котлах, сжигающих высокореакционные угли, а на ТЭС, сжигающих антрациты и тощие угли, ее применение приводит к снижению КПД котельных агрегатов и существенному увеличению потерь с механическим недожогом.

В инженерном плане процесс горения должен быть организован таким образом, чтобы превалирующее значение имели реакции, которые обеспечивали бы подпитку зоны горения газами восстановителями (H_2, CO), а также частицами сажи, которые могут химически реагировать с оксидами азота.

Как показывает статистика, в большинстве случаев (водогрейные котлы и котлы производительностью до 670 т/ч) объем выброса оксидов азота в 1,5-2,0 раза превышает нормативные значения. И, как правило, модернизация устаревшего оборудования, связанная с реконструкцией, не всегда оказывается экономически оправданной. Поэтому для таких котлов наиболее выгодными являются малозатратные технологические мероприятия (без внесения каких-либо изменений в конструкцию котла). на практике оказывается, что применение какого-либо

одного метода не позволяет достичь требуемой эффективности в борьбе с выбросом NO_x. В этом случае прибегают к их комбинированию.

Для котлов, работающих на твердом топливе (а это, главным образом, котлы, расположенные на электростанциях Сибири и Дальнего Востока России) наиболее оправданными на сегодняшний день (с точки зрения технико-экономических показателей) являются не режимные технологические мероприятия, связанные с модернизацией: использование малотоксичных горелок, рециркуляция дымовых газов, концентрическое сжигание с восстановлением NO_x (reburning). Проведение мероприятий по модернизации может быть успешно реализовано в ходе текущих и плановых капитальных ремонтов.

В отношении механизма образования диоксида серы решающее значение имеют физико-химические свойства твердого топлива, а именно его зольность и калорийность. Ухудшение качества топлива создает условия, при которых для обеспечения работы котельного оборудования в базовом диапазоне нагрузок требуется использовать больше топлива. Ко всему этому добавляется потребность в больших расходах топлива, используемого для поддержания процесса горения (природный газ или мазут), совместное сжигание которого вместе с углем значительно ухудшает эколого-экономические показатели котлов: повышается механический недожог топлива, снижается КПД-брутто. При этом возрастает скорость высокотемпературной коррозии экранных поверхностей, что также вызывает снижение надежности эксплуатации.

Для котлов, сжигающих мало- и среднесернистое топливо, разработаны технологии с использованием имеющегося на ТЭС оборудования – топочных камер котлов, газоходов, сухих и мокрых золоуловителей. Все эти методы по технологическому принципу подразделяются на: сухие (сухая известняковая технология), мокросухие и мокрые (известняковая, аммиачно-сульфатная, озонно-аммиачная, сульфат-магниевая).

Приведенные выше методы уменьшения выбросов окислов азота и серы, хотя и обеспечивают высокую степень очистки дымовых газов, также имеют определенные недостатки, влияющие на надежность и экономичность работы котельных агрегатов. Так, например, режимные способы подавления оксидов азота, основанные на изменении режима горения, обладают общим недостатком, который заключается в снижении экологической эффективности способа при снижении нагрузки котельного агрегата (происходит дисбаланс соотношения топливо-воздух), повышенном количестве горючих в уносе, и интенсивной коррозии нижней радиационной части поверхностей нагрева. При упрощенном двухступенчатом сжигании серосодержащего топлива на котлах сверхкритического давления возможна также высокотемпературная коррозия экранных поверхностей нагрева. Кроме этого поддержание работы котельного агрегата с применением режимных мероприятий по снижению эмиссии NO_x требует наличия современных средств автоматизации и высокой квалификации персонала, т.к. в этом случае возникает необходимость постоянного контроля процесса горения.

Среди способов сероочистки наибольшее влияние на надежность и экономичность котельного агрегата оказывают сухие способы. Это связано с тем, что преднамеренный ввод в топку котельного агрегата абсорбентов, содержащих известь или соду, вызывает снижение температуры в ядре факела, перерасход топлива на поддержание заданной нагрузки котла, увеличение расхода электроэнергии на собственные нужды, обусловленное ростом объема дымовых газов и количества золы, и как следствие, интенсивный эрозионный износ поверхностей нагрева. К тому же применение сухой технологии (например, известковой) может приводить к изменению температуры плавления золы. Поэтому применение этой технологии возможно при сжигании углей, зола которых имеет температуру размягчения 1300ºС и выше, поскольку способно вызвать повышенное шлакование поверхностей нагрева котла, снижая тем самым его надежность.

Кроме того, надежность работы котельного агрегата во многом зависит от конструкции и работы топочных устройств, что также является немаловажным при разработке технологических мероприятий по повышению экологичности сжигания твердого топлива.

Поскольку в современных конструкциях котельных установок применяются различные схемы расположения горелок, компоновки поверхностей нагрева и схемы экранирования топочных камер, то в каждом из таких вариантов установок в большей мере негативному влиянию от реализации сухой технологии подавления эмиссии вредных выбросов оказываются подверженными соответствующие элементы конструкции. Основным проявлением негативного воздействия сухих сорбентов на элементы котельных агрегатов является снижение надежности и безотказности работы поверхностей нагрева, что связано с повышенной интенсивностью их эрозионного износа

Таким образом, каждый из существующих на сегодняшний день способов снижения выбросов NO_x и SO_2 обладает своими достоинствами и недостатками, оказывает определенное негативное воздействие на экономичность и надежность котельного агрегата и элементов газового тракта. Поэтому выбор конкретной технологии зависит от условий, в которых планируется ее внедрение и должно производиться на основе технико-экономического обоснования целесообразности применения того или иного мероприятия совместно с прогнозированием показателей надежности и безотказности работы оборудования.

УДК 376.5

Экологическое образование для устойчивого развития

О.В. Ротарь, Д.В. Искрижицкая, Ф.С. Абакарова
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия
E-mail: rotarov@tpu.ru

Показана необходимость экологического образования для сохранения гармонии между обществом и природой, а также возможность использования интерактивных методов в изучении основ экологии, способствующих формированию экологической культуры, мировоззрения и этики.

Концепция устойчивого развития предполагает сбалансированное развитие трех компонентов: природа – хозяйство – население, позволяющее достижения высокого уровня благосостояния людей и сохранения природных ресурсов для будущего поколения. В настоящее время концепция экологического образования стала тесно соприкасаться с устойчивым развитием. Возникло новое понятие «образование в целях устойчивого развития», которое обозначает использование не только охрану окружающей среды, но и рациональное использование природных ресурсов и экологически чистых технологий. Сегодня экология и как наука, и как предмет приобретает все большую актуальность: значительно расширяется охватываемый ею круг вопросов, укрепляется сознание того, что для сохранения общества требуется не только «охрана» окружающей среды, но и ее познание и изучение.

Организация и развитие системы непрерывного экологического образования является основным принципом охраны окружающей среды, о котором говорится в Федеральном законе РФ «об охране окружающей среды». Сохранить природу возможно только при эффективном экологическом образовании студентов всех специальностей, которые впоследствии способны принимать грамотные решения по экологическим проблемам на любом производстве.

Общие экологические вопросы становятся социальными проблемами. Экологическое образование в формировании устойчивого развития требует конкретных исследований, основанных на системном подходе. Процесс формирования экологически грамотной личности необходимо начинать с рождения человека. Для людей старшего поколения отношение к природе строилось по типу:

*Я – **человек**…смотри, какой я смелый.*
Как я силен, как я красноречив.
*Гляди, моим хитросплетеньям мысли **ПРИРОДА** – и она подчинена.*
***Я** все могу. **Я** ум тысячелетий в себя вобрал.*
Инстинкт далеких предков я перевел в науку, ремесло перековал в индустрии.
*Порывы **я** превратил в искусство и стихи.*
***Я** влагу дал пустыням.*
Даже реки по новым руслам течь заставил.
Горы пронзил тоннелями и в мертвый космос
***Я** жизнь принес на огненных столбах.*

Отношение человека к природе всегда опосредовано общественными, политическими и производственными структурами. Поэтому наука, изучающая сущность взаимодействия общества и природы, должна оказывать ориентирующее мировоззренческое влияние не только на отдельные личности, но и на принятые в обществе мнения, ценности, духовную культуру. Устойчивое человеческое развитие предполагает гармонию материального и духовного начала жизни. В случае отсутствия таких ценностей, как добро, красота, свобода, справедливость все другие человеческие устремления теряют смысл. Сущность концепции устойчивого развития заключается в удовлетворении потребностей настоящего поколения, не подвергая риску будущее поколение. Серьезная проблема – это наше представление о духовных ценностях, но такие ценности как

чистая вода и воздух, качественные продукты питания воспринимаются большинством людей через призму личного комфорта. Главным условием устойчивого развития общества является желание учиться и наличие творческого потенциала у студентов, так как информирование учащегося без их желания - это трата времени впустую Знания должны быть приобретены, «открыты» личностью, тогда знания станут для человека значительными. А как это сделать - зависит от преподавателя: только заинтересовав, мотивировав, создав условия, чтобы у студентов возникла потребность к приобретению знаний.

Экологическое образование и воспитание, возможное через гуманитаризацию университетского технического образования, приобретает смысл комплексной задачи реформирования обучения, заключающегося в духовном и культурном развитии будущего специалиста посредством новых обучающих методик [1]. Гуманитарные знания способствуют формированию гармонично развитой личности, которая может оценить реально существующий мир в ценностно-смысловом аспекте. Гуманитаризация образования состоит в выработке у студентов гуманистического сознания, мировоззрения, т.к. по словам Д. Лихачева «Будущий век должен стать веком гуманитарного мышления или его не будет совсем». Поэтому в учебно-воспитательный процесс необходимо вводить разнообразные средства (приемы, методики, проекты), формирующие у студентов гуманитарное мышление, применительно к экологии - экологическое мировоззрение, культуру и этику.

Экологическое образование – особая, быстро развивающаяся система специальных знаний, активно использующая достижения педагогики, психологии и социологии, так называемая гуманистическая модель образования (ГМО). Новая образовательная парадигма экологического образования утверждает принцип гуманизма - признание приоритета природных факторов человеческого бытия.

Современного студента надо научить чувствовать, мыслить, входить в контакт и взаимодействие, уметь добывать, усваивать и использовать полученную информацию.

Для активизации познавательной деятельности студентов и эффективности преподавания основ экологии необходимо знать уровень развития познавательных процессов (восприятие, внимание, мотивация, достижения). Элементом ГМО являются «субъект – субъективные» отношения, при которых складывается целостный учебный и воспитательный процесс. Авторы согласны с В.А. Сухомлинским, что воспитание заключается в оттачивании у человека способности «быть воспитанным».

Девизом экологического образования стала известная фраза французского философа Рене Дюбо: «Мыслить глобально - действовать локально». Ведь в этой фразе емко сформулирован основной принцип, определяющий стратегию и тактику экологического образования, согласующийся со смыслом концепции устойчивого развития.. Чтобы действовать, надо знать как и ответственные социально-экологические действия возможны только на основе понимания процессов, происходящих в окружающее среде, творческую реализацию человеком самого себя, понимание двойственности мира, сущности добра и зла и того, что зло конечно. В экологическом образовании принцип оптимизма проявляется через приоритет позитивных идей, фактов и действий в области решения проблем окружающей среды, а также осознание каждой личностью необходимости реальной возможности активного участия в сохранении естественного природного окружения. В экологическом образовании, во-первых, должны быть разумно сбалансированы позитивные и негативные аспекты проблемы состояния и охраны окружающей среды, а во-вторых, необходима ориентация на подготовку специалистов, способных выявлять экологические проблемы и впоследствии решать их.

Гармония в природе, ее первоначальная чистота не должна быть нарушена вмешательством человека. Каждому надо задуматься о том, в каком качестве, мы люди, пришли в этот мир: в качестве хозяев, собственников или все же в качестве гостей, бережно относящихся к хозяйке – природе.

Однако, лишь одно экологическое образование не в состоянии охватить весь комплекс проблем, стоящих на пути к устойчивому развитию. Несмотря на множественность направлений развития экологического образования тенденцией его в настоящее время является переход от знаниевой (технократической) к личностной (гуманитарной) парадигме образования. Именно в рамках этой парадигмы может быть воспитан человек, способный к творческому природоохранному поведению.

Будь милосерден, человек. У всех людей одна планета
И ветрам нет на ней границ, как нет границ потокам света
И перелетам диких птиц.

И нам беречь планету надо
Для тех, кто будет после нас!

Список литературы:

1. Ротарь О.В., Величко А.В., Митин О.В. Экологическое образование как форма гармонизации отношений «человек – окружающая среда» // Сб. научн. трудов «Модернизация российского образования». – СПб.: ГНУ ИОВ РАО, 2005. -Ч.1. - С. 54-57.
2. Абакарова Ф.С. Материалы контрольной точки. ст. гр. 5А82.

Мини гидроэлектростанция

Ю.М. Федорчук, О.Н. Русина
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия
olgarusina@tpu.ru

По существующей классификации ООН к малым относятся ГЭС мощностью до 10-15 МВт, в том числе:

-микро-ГЭС - мощностью до 0,1 МВт;
-мини ГЭС - от 0,1 до 1 МВт;
-малые ГЭС - от 1 до 10 МВт.

В последние годы достигнут значительный технический прогресс в разработке малых гидроагрегатов, в том числе в России, что открывает новые возможности для возрождения малой гидроэнергетики. Разработанное оборудование удовлетворяет повышенным техническим требованиям, в том числе: обеспечивает возможность работы установок, как в автономном режиме, так и на местную электрическую сеть, полностью автоматизировано и не требует постоянного присутствия обслуживающего персонала, обладает повышенным ресурсом работы (до 40 лет, при межремонтных периодах до 5 лет).

Разработан широкий спектр современных гидроагрегатов с различными типами рабочих колес, обладающих повышенным кпд в широком диапазоне рабочих напоров (от 1,5 до 400 м) и расходов воды [1].

Обычно гидроэлектростанции строят на крупных и средних реках, а также малых горных реках. Для установки гидроагрегатов возводят различные гидротехнические сооружения, в частности плотины, водоподводящие туннели, турбинные водоводы.

Источники энергии для малой гидроэнергетики: небольшие реки, ручьи, естественные перепады высот на озерных водосборах и на оросительных каналах ирригационных систем.

Помимо использования малых рек, одним из интересных новых применений микро- и малых ГЭС является их установка в питьевых водопроводах и технологических водотоках предприятий, водосбросах ТЭЦ, а также на промышленных и канализационных стоках. Такая возможность может быть реализована в тех водотоках (продуктопроводах), где требуется применение гасителей давления. Вместо гасителей целесообразно установка микро-ГЭС, вырабатывающих электроэнергию для собственных нужд производства или в сеть за счет избытка давления в водотоке [2].

Мини гидроэлектростанция относится к гидроэлектростанциям, а именно к гидроэлектростанциям со свободоструйными турбинами, и может найти применение для выработки электроэнергии посредством использования энергии потоков промышленных стоков и вод ливневых канализаций.

Гидроэлектростанции малой мощности обладают целым рядом преимуществ, которые делают это оборудование все более популярным. Прежде всего, стоит отметить экологическую безопасность мини ГЭС – критерий, который становится все более важным в свете проблем защиты окружающей среды. Малые гидроэлектростанции не оказывают вредного влияния ни на свойства, ни на качество воды.

Что касается экономической эффективности, то и здесь у микро и мини гидроэлектростанций есть немало преимуществ. Такие станции отличаются простой в управлении, они полностью автоматизированы. Таким образом, оборудование не требуют присутствия человека. Специалисты отмечают, что и качество тока, вырабатываемого малыми ГЭС, соответствует требованиям ГОСТа как по напряжению, так и по частоте. При этом, мини ГЭС могут действовать автономно.

Одним из важнейших экономических факторов является вечная возобновляемость гидротехнических ресурсов. Если подсчитать буквальную выгоду от применения малых ГЭС, то

выяснится, что электроэнергия вырабатываемая ими практически в 4 раза дешевле электроэнергии, которую потребитель получает от теплоэлектростанций. Именно по этой причине сегодня ГЭС все чаще находят применение для электроснабжения электроёмких производств.

Не забудем и о том, что малые ГЭС не требуют приобретения какого-либо топлива. К тому же они отличаются сравнительно простой технологией выработки электроэнергии, в результате чего затраты труда на единицу мощности на ГЭС почти в 10 раз меньше, чем на ТЭЦ [3].

Известны гидроэлектростанции, представляющие собой комплекс сооружений и оборудования, посредством которых энергия водотока преобразуется в электрическую энергию. Они состоят из гидротехнических сооружений и энергетического оборудования. В качестве энергетического оборудования используют гидроагрегаты, включающие гидравлическую турбину и электрический генератор. Гидравлическая турбина, или гидротурбина - это лопаточная машина приводимая в действие потоком жидкости. При этом различают активные турбины (свободоструйные) и реактивные (напороструйные). По конструкции турбины могут быть горизонтальные и вертикальные [4].

В связи с вышеизложенным, поставлена задача: приспособить гидроагрегат для выработки электрической энергии, используя энергию потоков промышленных канализационных стоков и вод ливневой канализации [5].

Полученную таким образом электроэнергию можно использовать для освещения различных подземных коммуникаций и улиц, прилегающих к канализационным системам.

Поставленная задача решена следующим образом: мини гидроэлектростанция включает гидроагрегат, состоящий из кинематически связанных между собой гидравлической горизонтальной лопастной турбины и электрического генератора. Гидравлическая горизонтальная лопастная турбина размещена на подвижной раме, снабженной поплавками и установленной с возможностью перемещения в вертикальном направлении между стойками, закрепленными в подземной канализационном водоводе, и кинематически связанный с ней посредством гибкого вала электрический генератор, установленный в герметичном боксе.

Далее сущность устройства поясняется чертежом, на котором схематично изображена конструкция мини гидроэлектростанции (рис. 1).

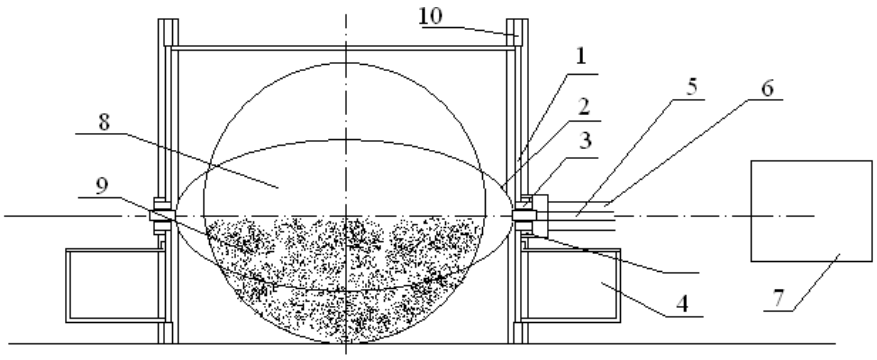


Рис. 1. Устройство мини гидроэлектростанции:
1 – Каркас лопастной турбины; 2 – лопасти турбины; 3 – подшипник скольжения; 4 – поплавок; 5 – гибкий привод вращения турбины; 6 – защитный чехол привода; 7 – электрогенератор; 8 – трубопровод ливневой канализации города; 9 – сточная вода ливневой канализации города; 10 – направляющая поплавков.

Основным узлом мини гидроэлектростанции, монтируемой в подземном канализационном водоводе 1 (туннель, галерея, трубопровод большого диаметра), является гидроагрегат, состоящий из горизонтальной лопастной гидравлической турбины 2 и электрического генератора (электрогенератора) 3, связанных между собой клиноременной, цепной, зубчатой или троссовой передачей 4, с соответствующим редуктором. Турбина 2 и электрогенератор 3 размещены на подвижной раме 5, снабженной поплавками 6. Рама 5 установлена с возможностью перемещения в вертикальном направлении между стойками 7, закрепленными в канализационном водоводе I.

Под напором вод промышленных канализационных стоков или стоков ливневой канализации лопастная турбина 2 приходит во вращение и посредством передачи 4 приводит во

вращательное движение электрогенератор 3. Выработанная электрическая энергия может сразу же расходоваться, либо аккумулироваться и потребляться по мере необходимости. Так как уровень стоков часто меняется, поплавки 6, перемещаясь вместе с рамой 5 по стойкам 7, обеспечивают оптимальное расположение турбины 2 в водоводе I.

В результате применения мини гидроэлектростанций при использовании вод промышленных канализационных стоков и стоков вод ливневой канализации для выработки электрической энергии на примере г. Томска ориентировочная установочная мощность сэкономленной электроэнергии составит более 500 кВт/час.

Список литературы:

1. Александровский А.Ю., Кнеллер М.И., Коробова Д.Н. и др. Гидроэнергетика: Учебник для вузов / Под ред. В.И. Обрезкова. 2-е изд. Пер. и доп. М., 1988
2. Садовский С.И. Развитие гидроэнергетики и вопросы охраны окружающей среды // Гидротехническое строительство. 1988. №11.
3. Кириллин В. А. Энергетика. Главные проблемы: В вопросах и ответах. - М.: Знание, 1990. - 128 с
4. Политехнический словарь, изд. "СЭ", М., 1977г., с. 110, 112, 115.
5. Патент на полезную модель РФ № 99078.

Анализ отходов I-IV классов опасности, образующихся в вузах, на примере ФГБОУ ВПО НИ ТПУ

Ю.М. Федорчук, В.Н. Извеков, О.Н. Русина
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия
E-mail: olgarusina@tpu.ru

Проведен анализ хозяйственной и научно-образовательной деятельности ТПУ, в результате которой образуются отходы I-IV классов опасности. Рассмотрены наиболее известные проблемы и решения по утилизации отходов, образующихся в университете.

Еще недавно был незыблем постулат о том, что рыночная экономика базируется только на материальных интересах ее участников. Однако в современных условиях обострения экологических проблем рынок побуждает к рациональному хозяйствованию и совмещению бизнеса с решением экологических проблем. Различные организации стали заинтересованными в том, чтобы добиваться экологической эффективности и демонстрировать ее, контролируя воздействие своей деятельности, продукции или услуг на окружающую среду с учетом экологической политики и целевых экологических показателей.

В настоящее время особое и преимущественное внимание уделяется крупным промышленным предприятиям: их возможному негативному влиянию на окружающую среду. Безусловно, деятельность крупных загрязнителей необходимо постоянно контролировать. Но не нужно забывать и о других предприятиях, организациях, функционирование которых также вносит свою лепту в общий фон загрязнений окружающей среды.

В связи с вышесказанным, интересует исследование всех аспектов учебной, научно-исследовательской и хозяйственной деятельности вузов

К таким вузам относится и крупнейший в России вуз – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

В университете 31 источник выбросов (из них 6 неорганизованных). В результате деятельности образуется более 50 наименований отходов согласно Федеральному классификационному каталогу отходов*, среди которых 11 отходов I-III классов опасности, в том числе, отходы, содержащие ртуть: ртутные люминесцентные лампы; ртутные термометры; приборы, содержащие ртуть.

В университете нет организованного сброса промышленных сточных вод, выбросы вредных веществ в атмосферу невелики.

Особый интерес представляют отходы I-IV классов опасности, возможные пути их дальнейшего рационального использования, способы обезвреживания с минимальным негативным влиянием на окружающую среду.

Большую долю в образовавшихся твердых бытовых отходах составляет макулатура, в основном это картонная, упаковочная бумага, отходы печатной продукции типографии, отходы

бумаги от работы офисных помещений университета и списанные печатные издания библиотеки ТПУ. Нужно отметить, что макулатура — один из самых выгодных для переработки видов вторсырья. Старой бумаге в мире находят удивительно много способов применения. С точки зрения переработчиков, макулатура — основной конкурент древесного сырья, но гораздо более дешевый. Кроме этого макулатура может быть использована как вторсырье малыми предприятиями для производства теплоизоляционных материалов, бугорчатых прокладок, туалетной бумаги, материалов строительного назначения [1].

Для освещения помещений в университете в большинстве случаев используются ртутные люминесцентные лампы. В год требуется утилизировать около 5000 штук ламп. Отработанные ртутные лампы отнесены к I-му классу опасности для окружающей среды и подлежат обязательному обезвреживанию. Однако сейчас в России обезвреживается их не более 40%, что обусловлено отсутствием во многих регионах селективной системы сбора этих отходов и перерабатывающих предприятий.

Представляется, что важнейшими задачами в сфере обращения с отработанными ртутными лампами является вовлечение во вторичный оборот так называемого стеклобоя и цветных металлов, получаемых при переработке ртутных ламп [2].

В вузе каждый год списывается большое количество оргтехники.

Среди проблем использования техногенных отходов важное место занимает утилизация кинескопов телевизоров и мониторов персональных компьютеров. Так в настоящее время в

*Федеральный классификационный каталог отходов утвержденный приказом МПР России от 02.12.2002 года (с дополнениями, утв. Приказом МПР России от 30.07.2003 года №663) - это перечень образующихся в Российской Федерации отходов, систематизированных по совокупности приоритетных признаков: происхождению, агрегатному и физическому состоянию, опасным свойствам, степени вредного воздействия на окружающую природную среду.

странах Европы, Японии и США скопилось более сотни миллионов подлежащих утилизации кинескопов и мониторов, из которых непосредственно утилизируется не более 8-10%. В ближайшие годы в России проблема утилизации кинескопного стекла также станет актуальной[3].

В результате деятельности транспортного отдела, являющегося одним из хозяйственных подразделений ТПУ, образуются отходы, обращение с которыми также необходимо контролировать.

Так использованные автомобильные покрышки подходят в качестве альтернативного вида топлива [4]. Преимущества использования таких автопокрышек перед применением традиционных видов топлива очевидны: топливо из покрышек имеет высокую теплотворную способность, сравнимую с углем или мазутом. В то же время дополнительным преимуществом для предприятий цементной промышленности является использование отходов металлических каркасов покрышек в качестве минеральных добавок в конечный продукт, что избавляет от необходимости введения металлосодержащих компонентов. Другие исследования, в том числе проведенные Федеральным агентством по окружающей среде, показывают, что применение альтернативных видов топлива является положительным фактором с точки зрения охраны окружающей среды.

В настоящее время проверено использование суспензии, растворенной (деструктированной) резины (СРР), являющейся основным товаром при переработке резиносодержащих отходов.

СРР, не имеющий аналогов, используется в следующих областях:

1. В качестве модификатора вяжущего для приготовления асфальтобетонных смесей. Применение такого вяжущего улучшает качество асфальтобетонного дорожного покрытия и увеличивает срок его службы.
2. В качестве компонента гидроизоляционных и антикоррозионных мастик. Мастики, получаемые с использованием СРР, не уступают или превосходят по качеству выпускаемые в настоящее время мастики и имеют более низкую себестоимость.
3. В качестве высокотемпературной смазки, заменяя дорогие и менее качественные материалы.

Предварительные результаты проведенных исследований говорят о возможности значительно более широкого использования этого продукта вплоть до возврата в резину [5].

Серьезную проблему в университете составляют химические отходы, образуемые в результате научной и исследовательской деятельности, проводимой в химических лабораториях. Перечень химических соединений, присутствующих в этих отходах разнообразен. В химических

сливах присутствуют вещества органической и неорганической химии. Особую сложность для утилизации представляют жидкие химические сливы, особенно галогенсодержащие.

В целом по России сложилась такая ситуация, что экологические требования, предъявляемые государством и обществом к существующим или вновь строящимся опасным химическим производствам, существенным образом регламентировали и сократили выбросы в окружающую среду вредных и потенциально опасных химических веществ – ПОХВ. Однако, при широком использовании таких веществ в промышленности, научных исследованиях, здравоохранении, учебном процессе, сельском хозяйстве, быту и т.д. вопрос их комплексной утилизации (переработки, хранения, транспортировки, уничтожения) до настоящего времени не рассматривался практически ни одним законодательным актом.

Водорастворимые химические вещества, особенно реактивы, как правило, сбрасываются в канализацию. Горючие – скрытно накапливаются на предприятиях, сливаются в почву, сжигаются по различным экологически не безопасным технологиям на сторонних производствах, утилизирующих свои специализированные отходы. Полимерные материалы, в том числе содержащие хлор, повсеместно сжигаются вместе с другими промышленными, а также бытовыми отходами, что крайне не рентабельно и экологически опасно.

Статистические данные достаточно точно и полно определяющие объёмы и характер производства, потребления, закупки, утилизации, уничтожения или выбросов всех ПОХВ в окружающую среду, - отсутствуют. Известно только («Стратегия развития химической и нефтехимической промышленности России до 2015 года»), что по валовым выбросам вредных веществ в атмосферу химический комплекс занимает 10 место среди всех отраслей промышленности (около 428 тыс. тонн), по сбросам сточных вод в природные поверхностные водоёмы – второе место (после электроэнергетики) – более 1 млрд. куб.м. Известно также, что ежегодно на предприятиях образуется около 15 млн. тонн токсических химических соединений (без учёта V класса), из которых обезвреживается только порядка 20% веществ.

Высокая стоимость утилизации, превышающая среднюю стоимость аналогичной единицы химического вещества, вынуждает руководителей потребляющих предприятий скрывать свои отходы, делает процесс утилизации крайне нерентабельным. Последнее усугубляется неоправданно жёсткими и крайне несовершенными требованиями контрольных органов.

В настоящее время действует система классификации отходов, основанных на их систематизации по принадлежности к классам химических соединений, в то время, как большинство отходов имеют смешанный (как правило, неизвестный) состав, что непредсказуемо увеличивает степень опасности переработки, а также увеличивает стоимость их утилизации.

Если бытовые отходы, а также отчасти – медицинские, химико-фармацевтические, специализированные химические (шины, аккумуляторы, ртутные лампы, масла и нефтепродукты, воды и шламы гальванических производств), в определённой степени подвержены урегулированной утилизации, то огромная номенклатура ПОХВ, насчитывающая сотни и тысячи наименований, принадлежащих к различным классам химических соединений и химической опасности, практически не утилизируется, не имеет нормативно-законодательной базы и достаточно безопасной практики работ по их хранению, переработке, транспортировке и ликвидации, а также выделенных территорий, необходимых технических средств и технологий. Крайне большой ассортимент ПОХВ не позволяет одному или даже нескольким предприятиям определить единую эффективную технологию по утилизации и ликвидации. Кроме пожаро,- взрыво,- и химической опасности, ПОХВ при их нерегламентированном учёте и хранении, могут быть использованы для нелегального производства зажигательных средств, отравляющих, взрывчатых и наркотических веществ.

На сегодняшний день важной задачей является оценка токсичности веществ. Изучению подлежат не только токсичность и воздействие вещества на кожу, слизистые оболочки, но и мутагенность, влияние на потомство, эндокринные железы, ферментные системы и метаболические процессы. Но для определения их реальной опасности нужны огромные средства и современное лабораторное оборудование, так как изучение биологической активности, и в частности токсичности химических веществ для человека и животных, - длительный и дорогостоящий процесс. Однако однозначных методик для определения оценки токсичности и степени воздействия вредных веществ на окружающую среду практически нет [6].

Существует много способов утилизации отходов, но все они требуют доработки применительно к конкретному предприятию. Часто, основной недостаток всех способов утилизации – образование других отходов, которые еще сложнее утилизировать.

К примеру, основные способы утилизации одного из самых распространенных побочных продуктов химических производств: хлорорганические отходы, образующегося и в лабораториях ТПУ, на сегодняшний день следующие:

-термическое сжигание галогенорганических отходов, основные недостатки – образование таких высокотоксичных продуктов, как хлор, оксиды азота, фосген и диоксины, большой расход топлива, а следовательно потеря углеводородного сырья, выделение в окружающую среду диоксида углерода и быстрый износ оборудования;

-обезвреживание в разбавленных газах, имеет те же недостатки, что и термическое сжигание;

-каталитическое сжигание, основные недостатки – необратимая потеря сырья;

-каталитическое окисление – один из перспективных способов переработки отходов хлоруглеводородов, но он дорогостоящий, так как требует дорогостоящего оборудования и сырья, строгой выдержки соотношения водорода и хлора.

Перспективным являются гидрирование и гидрогенолиз (гидродегалогенирование), но практике они не опробованы.

В связи с вышеизложенным, можно утверждать, что задача обеспечения химической безопасности, требующая внедрения новых, интенсивных подходов в организации охраны среды, регулирования техногенного воздействия, усовершенствованием технологий с целью уменьшения образования отходов и снижения токсичности, стоит сегодня остро. Поэтому новый подход к утилизации образующихся отходов должен базироваться на стремлении к уменьшению числа полигонов по захоронению токсичных веществ на территории России [6, 7].

Список литературы:

1. Дулькин, Л.А. Южанинова, В.Г. Миронова, В.А. Спиридонов // Лесн. журн. – 2005. –№ 1-2. – С. 104–122. – (Изв. высш. учеб. заведений).
2. Е.П. Янин, Ртутные лампы : опасность для окружающей среды // Экология производства. 2010. № 2. С. 53–55.
3. Лавданский П.А., Енговатов И.А., Румянцев Б.М., Стеклобетоны специального назначения на основе боя кинескопного стекла// Строительство 2005 №6
4. Аннализа Сабалелли, Альтернативное топливо – старые шины // Рециклинг отходов. 2007. № 3.
5. Утилизация шин методом термодеструкции// Аналитический портал химической промышленности http://www.newchemistry.ru
6. Курляндский Б.А., Проблемы экотоксикологии // Российский химический журнал, 2004 №2
7. Т.Я. Демина, Л.Р. Шаяхметова, Проблем утилизации отходов химических производств // Экология и промышленность России, 2008, №3

УДК: 504.054.001.5

Оценка загрязнения атмосферного воздуха химическими элементами в зоне действия ТЭЦ

Н.К. Рыжакова, Н.С. Рогова, Е.П. Родионова, А.Л. Борисенко*, В.Г. Меркулов

Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

**Томский государственный университет, г. Томск, Россия*

E-mail: rogova@tpu.ru

В данной работе в качестве локальных источников загрязнения рассмотрены ТЭЦ-5 г. Новосибирск и ТЭЦ-3 г. Барнаул, работающие на угле. Содержание химических элементов определяли с помощью нейтронно-активационного анализа на реакторе ИРТ-Т ТПУ г. Томск. Наиболее высокие концентрации тяжелых металлов и других химических элементов обнаружены в выбросах ТЭЦ-3 г. Барнаула. Показано, что на количество выбросов ТЭЦ оказывает большое влияние тип используемых угле.

Основу жизни человека составляет окружающая природная среда, а основу современной цивилизации - ископаемые природные ресурсы и вырабатываемая из них энергия. Очевидно, что без энергетики у человечества нет будущего. Но с другой стороны, энергетика оказывает мощное отрицательное воздействие на окружающую среду, ухудшая условия жизни людей.

ТЭЦ работают на органическом топливе, в качестве которого чаще всего используют сравнительно дешевые уголь и мазут. Сжигание топлива на ТЭЦ связано с образованием продуктов сгорания, содержащих летучую золу, частицы недогоревшего пылевидного топлива, сернистый и серный ангидрид, оксиды азота и газообразные продукты неполного сгорания, а при сжигании мазута, кроме того, соединения ванадия, соли натрия, кокс и частицы сажи. В золе

некоторых топлив имеется мышьяк, свободный диоксид кремния, свободный оксид кальция и др. В связи с этим необходим постоянный контроль за состоянием атмосферного воздуха в зоне влияния ТЭЦ. Особый интерес представляет загрязнение атмосферы тяжелыми металлами и другими токсичными элементами, наличие которых в воздухе даже в малых концентрациях может нанести существенный вред здоровью человека.

Традиционные методы контроля за содержанием химических элементов в воздухе, основанные на анализе осадков, требуют установки большого количества коллекторов для сбора осадков и длительных программ по отбору и анализу образцов.

В настоящее время активно развивается метод мхов-биомониторов, который регулярно используется в течение последних 30 лет в скандинавских странах для мониторинга атмосферных выпадений металлов на очень больших территориях, а в последнее время он нашел широкое применение в странах Западной Европы [1]. В России применение этого метода для определения атмосферных выпадений элементов ранее имело место в северно-западных регионах: Ленинградская область, Кольский полуостров, Карелия. В настоящее время метод мхов-биомониторов успешно используется в изучении атмосферных выпадений тяжелых металлов и других элементов в промышленных районах Урала (Челябинская, Свердловская области). Следует отметить, что для этих целей используются лесные наземные мхи, произрастающие в больших лесных массивах.

На кафедре совместно с кафедрой Ботаники ТГУ разрабатывается метод контроля загрязнения атмосферного воздуха тяжелыми металлами и другими токсичными элементами с помощью эпифитных мхов, произрастающих на коре деревьев, например осин и тополей, широко распространенных не только на лесных, но и на урбанизированных территориях [2]. Поэтому эпифитные мхи можно использовать для изучения как региональных, так и локальных загрязнений атмосферы, обусловленных действием определенных источников. Кроме того, эпифитные мхи имеют продолжительный жизненный цикл (10 – 15 лет), обладают высокой аккумуляционной способностью и не соприкасаются с почвой, следовательно, на них практически не сказывается ее гетерогенный химический состав, что особенно важно именно для урбанизированных территорий.

В данном исследовании эпифитный мох отбирали в зоне влияния ТЭЦ-5 г. Новосибирска (рис.1) и ТЭЦ-3 г. Барнаула (рис.2) преимущественно в северо-восточном направлении на расстоянии в несколько километров. Направление отбора выбрано в соответствии с преимущественной розой ветров на данных территориях.

Пробы мха отбирали с коры тополей на высоте примерно 1,5-2 метра от земли, что соответствует слою воздуха, которым дышит взрослый человек. Пробы, необходимые для получения фоновых значений, отобраны на значительно удалённом от основных населённых пунктов и предприятий расстоянии, что практически исключает воздействие на них техногенного загрязнения (Ханты-Мансийский автономный округ, поселок Вах).

Рис. 1. Карта проботбора мха вблизи ТЭЦ-5 г. Новосибирска.

Содержание химических элементов определяли с помощью нейтронно-активационного анализа на реакторе ИРТ-Т ТПУ г. Томск [3]. В вертикальном экспериментальном канале реактора пробы облучались в потоке тепловых нейтронов плотностью $5{,}5*10^{13}$ нейтрон/см^2 *с в течение пяти часов - для долгоживущих элементов. Всего облучено и проанализировано 60 проб мха. В каждой пробе определено содержание 30 химических элементов: Sm, Mo, Ce, Ca, Lu, U, Se, Tb, Th, Cr, Yb, Hf, Ba, Sr, Nd, Br, As, Cs, Rb, Fe, Zn, Sc, Ta, Co, Na, Eu, K, La, Sb.

Для определения содержания определяемых элементов в пробах мха использовали относительный метод, в котором исследуемый образец и образец сравнения (эталон), в котором точно известно количество определяемого элемента, облучаются одновременно. В качестве образцов сравнения были использованы стандарты МАГАТЭ– ЛБ-1 и ТАБАК -5.

После отбора пробы мха предварительно очищали от земли и различных примесей, затем производили промывку дистиллированной водой. Далее пробы высушивали до постоянного веса при температуре 80°-100°. Затем пробы подвергали процессу гомогенизации и прессовали в таблетки массой 0,1÷0,4 г и диаметром 1 см.

Рис. 2.Карта проботбора мха вблизи ТЭЦ-3 г. Барнаула.

Проведенный корреляционный анализ выявил группы элементов, которые имеют высокие коэффициенты корреляции между собой: Th, Cr, Co, Cs, Sc, Lu, Ba, As, Nd для барнаульской ТЭЦ и Th, Cr, Co, Sc, Yb, Fe, Ce, U, As, Sb, Nd, Lu, Cs для новосибирской ТЭЦ. Видно, что для обоих ТЭЦ характерны корреляции элементов Th, Cr, Co, Cs, Sc, Lu, As, Nd. Также можно отметить, что в группе коррелируемых элементов ТЭЦ-3 присутствует Ba, а для ТЭЦ-5 -Yb, Fe, Ce, U, Sb, Lu, что показывает на разный состав углей при сжигании.

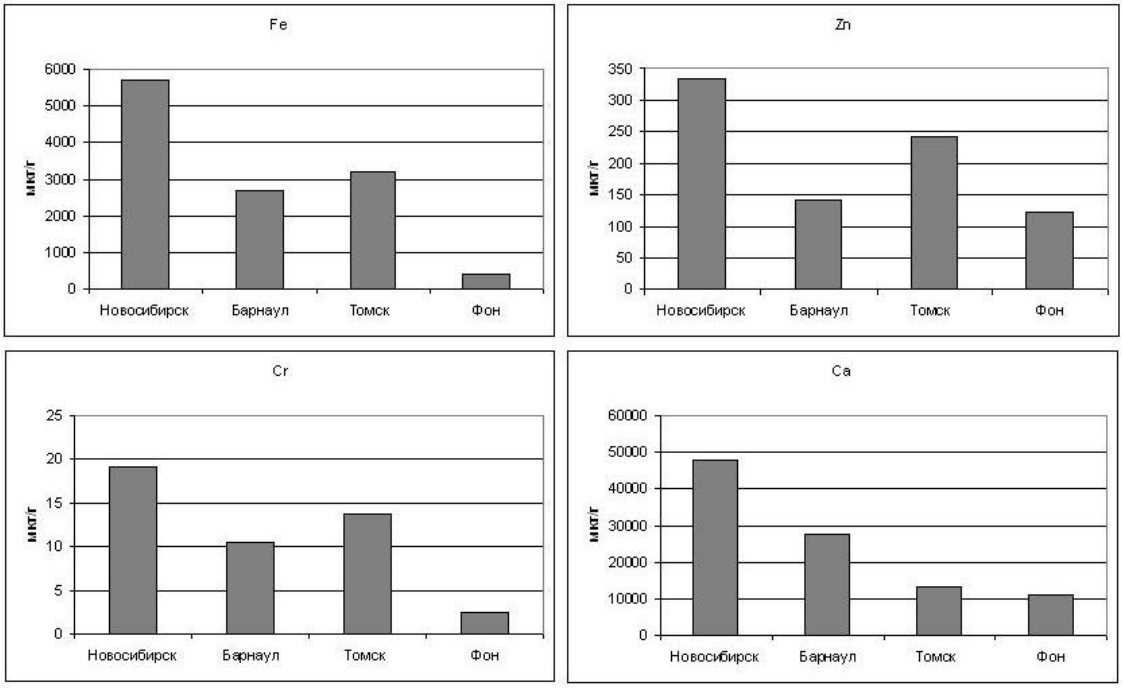


Рис. 3. Концентрации Zn, Fe, Cr, Ca во мхах, отбранных на разных территориях.

Сравнение с ранее полученными результатами для северной части города Томска показывает, что средние концентрации химических элементов во мхах города Томска и

Новосибирска примерно одинаковы и соответственно в несколько раз меньше, чем во мхах города Барнаула. Следует отметить, что северная часть города Томска находится под влиянием ГРЭС-2, работающей на смешанном топливе – кузнецкий уголь и газ. Анализ полученных результатов показал, что наиболее высокие концентрации тяжелых металлов и других химических элементов обнаружены во мхах, произрастающих вблизи ТЭЦ-3 г. Барнаула (рис. 3). Это связано с тем, что на данной ТЭЦ в качестве топлива используется бурый уголь, у которого выход летучих веществ намного выше, чем у других видов каменного угля. Кроме того, на исследуемую территорию могут оказывать дополнительную техногенную нагрузку расположенные недалеко городские кварталы. Отношение значений концентраций металлов к фоновым значениям составляет: для Ca – 4, Cr –6, Fe – 12 , Zn –2. Средние концентрации для мхов, отобранных близи ТЭЦ г. Новосибирска, в несколько раз меньше, чем в г. Барнауле. Это может быть обусловлено тем, что в ТЭЦ города Новосибирска используют в качестве топлива в основном кузнецкий уголь, который намного «чище», чем бурый уголь.

В результате проделанной работы можно сделать следующие выводы:

1) Концентрации химических элементов во мхах, отобранных в зоне влияния ТЭЦ, на порядок и более превышают фоновые концентрации.

2) Концентрации некоторых металлов (Ca, Cr, Fe, Zn, Ni) во мхах, отобранных в г. Барнауле, в несколько раз больше, чем во мхах, отобранных в г. Новосибирске.

3) На количество выбросов ТЭЦ оказывает большое влияние тип используемого топлива.

Список литературы:

1. Frontasyeva M. V., Steinnes E., Lyapunov S. M., Cherchintsev V. D., Smirnov L. I. Biomonitoring of heavy metal deposition in South Ural region: some preminary results obtained by nuclear and related techniques. J. Radional. Nucl. Chem., v. 245, № 2 (2000), 415 – 420.
2. Борисенко А. Л., Рыжакова Н. К., Меркулов В. Г., Рогова Н. С. «Метод определения загрязнения атмосферы тяжелыми металлами и другими химическими элементами с помощью эпифитных мхов-биомониторов», 2007 г.
3. Кузнецов Р. А. Активационный анализ. – М.: Атомиздат, 1967.

УДК 699.86

Об особенностях и применении базальтостеклопластиковых труб (БСПТ).

А.С. Ситников, Г.П. Комаров*

Томский педагогический университет, г. Томск, Россия

**ООО НПК «РОСБАЗАЛЬТ», г. Новосибирск, Россия*

e-mail: rosbasalt@mail.ru

Основные характеристики БСПТ

Базальтостеклопластики представляют собой композитные конструкционные материалы на основе полимерной матрицы, упрочненной базальтовыми наполнителями, главным образом базальтовыми волокнами, сочетающие высокую прочность с относительно небольшой плотностью. В этих материалах высокопрочные базальтовые волокна воспринимают основную долю приходящейся на материал нагрузки, обеспечивая его прочность и жесткость.

Полимерная матрица обеспечивает монолитность материала, передачу напряжений между волокнами и включение их в работу, защищает наполнитель от воздействия внешней среды.

Отличительной особенностью базальтопластиков является уникальное сочетание технически необходимых свойств – высокой прочности, низкой плотности, коррозионной стойкости, демпфирующей способности, низкой теплопроводности, электроизоляционных свойств, радиопрозрачности и т.д. Базальтопластики имеют ряд важных преимуществ по сравнению с традиционно применяемыми металлическими материалами. Их применение взамен сталей и цветных металлов позволяет снизить массу конструкции в несколько раз, трудоемкость изготовления – в 1,3-3 раза, заменить дефицитные цветные сплавы и нержавеющие сплавы, а также повысить надежность и долговечность конструкций.

В разных отраслях промышленности они успешно конкурируют с такими традиционными материалами, как металлы и их сплавы, бетон, стекло, керамика, дерево. В ряде случаев конструкции, отвечающие специальным техническим требованиям, могут быть созданы только из базальтостеклопластика. Изделия из этого материала получили особенно широкое распространение в аппаратах, предназначенных для работы в экстремальных условиях – в судостроении, авиации и космической технике, оборудовании и материалы нефтехимической и

нефтегазодобывающей отраслях.

Базальтотеклопластиковые трубы, благодаря своей гладкой внутренней поверхности, высокой твёрдости лайнерного слоя, устойчивости к коррозии и отсутствию отложений, имеют превосходные гидравлические характеристики и являются энергетически весьма эффективными. Абсолютная шероховатость внутренней поверхности трубы составляет менее 25 мкм.

Таблица 1.

Материал	Прочность при растяжении (МПа)	Прочность при поперечном срезе (МПа)	Коэффициент теплопроводности Вт/(м К)
Базальтопластик АБП	не менее 1 500	не менее 240	0,48
Сталь 20	σ0,2=245; σв=410	≈150	49
Нерж. Сталь (тип 0Х18Н10)	σ0,2=210; σв=570	≈130	≈20

Особенности базальтостеклопластиковых труб:

- идеальная гладкость внутреннего канала, обеспечивающая высокие гидравлические характеристики, снижающие энергозатраты на перекачку транспортируемой среды, и препятствующая образованию отложений;
- высокая устойчивость к химической и электрохимической коррозии, не требующая специальных средств антикоррозионной защиты, обеспечивающая постоянство гидравлических характеристик и длительный (60 и более лет) срок эксплуатации;
- низкий вес по сравнению с металлическими, железобетонными и некоторыми другими трубами, что упрощает транспортировку, погрузочно-разгрузочные работы и монтаж трубопровода, и в итоге существенно снижает трудозатраты при его строительстве;
- устойчивость к внутренним и внешним силовым воздействиям, обеспечивающая стойкость к гидравлическому удару, возможности подводной и подземной прокладки с заглублением до 12–16 м, надежность при перемещениях от усадки грунта;
- высокая абразивостойкость, препятствующая снижению прочностных характеристик трубы при транспортировке жидкостей, содержащих механические примеси;
- устойчивость внешней поверхности к воздействию ультрафиолетового излучения и к факторам биологического воздействия;
- возможность изготовления труб различной длины (от 6м и более), высокое качество соединений без какой-либо предварительной обработки стыков, простота и легкость обработки материала труб, исключение сварки на месте монтажа.
- высокая удельная прочность на уровне стальных труб, КТ легче их примерно в 4 раза;
- высокая теплостойкость (температура транспортируемых сред до 135°С);
- пригодность для наружной прокладки трубопроводов (стойки к солнечной радиации, допускают приемлемые межпролетные расстояния при прокладке на опорах);
- надежная эксплуатация в условиях ударных и вибрационных нагрузок;
- минимальные затраты на монтаж и обслуживание, высокая ремонтопригодность;
- пригодность для хозяйственно-питьевого водоснабжения и транспортировки жидких пищевых продуктов;
- обеспечение энергосбережения в тепловых сетях.

По сравнению с полимерными неармированными трубами трубы из БСПТ обладают пониженной горючестью, повышенными физико-механическими характеристиками, длительной прочностью, устойчивостью к перегрузкам до 1,5 МПа рабочего давления и температуры до 300 °С. Прочностные характеристики при рабочей температуре составляют не менее 0,6 от показателей при нормальной температуре.

Энергосберегающий эффект и преимущества СБПТ

Опыт эксплуатации СБПТ с 1990 года показал их высокую надежность в сетях ГВС и отопления на температуры до 115 С и продемонстрировал их энергосберегающий эффект в сравнении со стальными трубами (снижение теплопотерь до 50%, сокращение расхода топлива на 15-20% - отзывы прилагаем).

Такой эффект вызван следующими объективными факторами:

Теплопроводность материала СБПТ в 150 раз ниже, чем у стали, что позволяет либо использовать их с более тонким слоем теплоизоляции при обеспечении требований СНиП, либо в ряде случаев вообще без теплоизоляции (небольшие по протяженности участки с постоянным течением теплоносителя или так называемые «лежанки» в закрытых подвальных помещениях);

СБПТ имеют пропускную способность до 30% выше новых труб из углеродистой стали, т.к. характеризуется меньшим гидравлическим сопротивлением, что обусловлено меньшей шероховатостью внутренней поверхности, отсутствием зарастания "живого" сечения трубы и благоприятным электрохимическим взаимодействием полимерного материала с транспортируемой средой. Со временем преимущество СБПТ в пропускной способности над теряющей сечение стальной трубой только возрастает.

В результате действия этих двух факторов теплоноситель проходит с большей скоростью, чем в стальной трубе и доходит до потребителя, отдав меньше тепла. Например, по проекту подачи геотермальных вод (Камчатка) с температурой 85 С по трубе СБПТ ДУ 500 мм в теплоизоляции ППУ на расстоянии 44 км теплопотери составят 3,5 С. Для стали в таких же условиях нормативные теплопотери в несколько раз выше.

Помимо объективных факторов энергосберегающий эффект обеспечивают и технологические особенности СБПТ. Так, для компенсации линейного расширения при нагревании СБПТ используются телескопические компенсаторы (схожие по принципу с сальниковыми и сильфонными компенсаторами, но в разы дешевле сильфонных). Такие компенсаторы снижают турбулентность потока, характерную для П-образных компенсаторов, уменьшают протяженность трассы, а, значит, снижают теплопотери.

Отказ от применения П-образных компенсаторов позволяет еще и существенно экономить ресурсы потребителя (каждый П-образный компенсатор прямой-обратной сети это 8 отводов и несколько десятков метров труб, а сильфонные компенсаторы, стоят десятки тысяч рублей).

СБПТ имеют преимущество также по сравнению и со стальными предизолированными трубами в теплоизоляции ППУ. Такие стальные трубы на определенное время (более длительное, чем при мягкой теплоизоляции) защищены от коррозии внешней поверхности, но проблема внутренней коррозии, в т.ч. от блуждающих токов, или коррозии сварных швов не решена.

Кроме того со временем ППУ дает внешние протечки особенно в местах стыков кожуха, и тогда процесс коррозии внешней поверхности трубы под слоем теплоизоляции развивается даже быстрее, чем на открытой поверхности. Так ППУ при попадании влаги создает кислую среду, которая агрессивно воздействует на стальную трубу, не имеющую под ППУ никакой антикоррозионной защиты. Все это приводит к необходимости пусть и более поздней чем с «голой» стальной трубой, но замены значительно более дорогостоящей (в 2-3 раза дороже «голой») предизолированной стальной трубы, тем самым увеличивая затраты потребителя. СБПТ в предизоляции таких проблем не имеет, т.к. не подвержена ни внутренней, ни внешней коррозии.

Преимущества по сравнению стальными предизолированными трубами.

БСПТ имеют преимущество также по сравнению и со стальными предизолированными трубами в теплоизоляции ППУ. Такие стальные трубы на определенное время (более длительное, чем при мягкой теплоизоляции) защищены от коррозии внешней поверхности, но проблема внутренней коррозии, в т.ч. от блуждающих токов, или коррозии сварных швов не решена.

Кроме того, со временем ППУ дает внешние протечки особенно в местах стыков кожуха, и тогда процесс коррозии внешней поверхности трубы под слоем теплоизоляции развивается даже быстрее, чем на открытой поверхности. Так ППУ при попадании влаги создает кислую среду, которая агрессивно воздействует на стальную трубу, не имеющую под ППУ никакой антикоррозионной защиты. Все это приводит к необходимости пусть и более поздней, чем с «голой» стальной трубой, но замены значительно более дорогостоящей (в 2-3 раза дороже «голой») предизолированной стальной трубы, тем самым увеличивая затраты потребителя. БСПТ в предизоляции таких проблем не имеет, т.к. не подвержена ни внутренней, ни внешней коррозии.

Таблица 2. Сравнение веса стальных и стекло-базальтопластиковых труб (СБПТ)

Диаметры труб (внутренние)	Вес стальных труб	Вес СБПТ
100	10,2 кг	2,0 кг
150	15,3 кг	3,4 кг
200	26,4 кг	5,3 кг

Указанные в сравнительной таблице трубы рассчитаны на подачу холодной воды под давлением 16 атмосфер.

В рамках реализации Стратегии социально-экономического развития Сибири и обеспечения устойчивого повышения уровня и качества жизни населения Томской области на основе динамичного развития экономики Губернатору В.М. Кressу предложено сформировать Областную целевую программу «Томский базальт» на период до 2020 года (исх. № 110 от «01» 10. 2010 г

Суть предложения заключается в следующем:

На территории области и в соседних областях расположены богатейшие запасы диабазных месторождений в объемах более 500 млн. куб. метров. По своим качественным характеристикам они наиболее полно подходят в качестве источника сырья для формирования базальтовой отрасли в регионе в основу, которой положена добыча и переработка не рудного минерального сырья - расплава магматических горных пород с последующим созданием высокотехнологичных производств базальтового направления, включая производство БСПТ.

При появлении заинтересованности НПК «РОСБАЗАЛЬТ» готова рассмотреть встречные варианты и предложения по инвестиционному сотрудничеству.

УДК 544.778.4

Получение сорбентов на основе диоксида титана

В.В. Смирнова, О.Б. Назаренко
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия
E-mail: vv_smirnova@sibmail.com

Работа посвящена решению проблемы очистки питьевой воды от растворимых примесей тяжелых металлов. Показано, что сорбционные свойства диоксида титана и его гидратированных форм зависят в большей степени от способа получения сорбента и в меньшей степени от его дисперсности. Сорбент в зависимости от условий получения может найти применение для очистки питьевой воды от примесей железа (II, III) и других катионов.

Актуальность очистки воды от примесей тяжелых металлов и токсичных органических соединений крайне высока: более 95 % потребляемой воды в России не соответствует по чистоте международным стандартам [1], а эффективных методов очистки пока не разработано. В России для очистки питьевой воды в качестве сорбентов используется кварцевый песок, ряд минералов (в частности, альбитофир) и «горелая порода». Эти сорбенты чаще всего являются механическими фильтрами. Более эффективны в работе адсорбенты, которые способны улавливать не только коллоидные частицы, но и примеси в виде растворимых ионов.

Современная тенденция использования подземных вод для питьевого водоснабжения приводит к потреблению воды с высоким содержанием железа (Fe^{+2}, Fe^{+3}), солей жесткости (Ca^{+2}, Mg^{+2}) и природного Sr^{+2} (Томская область), поэтому актуальна проблема очистки воды от этих примесей. Перспективным адсорбентом для очистки растворимых примесей является диоксид титана TiO_2, но его сорбционные свойства изучены не достаточно и сильно зависят от условий его получения.

Цель настоящей работы – экспериментальное обоснование условий получения сорбента на основе TiO_2 и установление связи состава – структуры с его адсорбционными свойствами. Для достижения цели необходимо было выбрать метод синтеза гидратированной формы TiO_2, изучить изменения химического и фазового состава при нагревании в воздухе, определить сорбционную емкость по ионам Fe^{+2} /Fe^{+3}, предложить технологическую цепочку операций по приготовлению сорбента.

Материалы и методики экспериментов. В качестве методов получения TiO_2 в работе использовали процесс электрохимического окисления металлического титана в щелочной среде и химический метод необратимого гидролиза реактива $TiCl_4$. К полученным осадкам гидратированных форм титана добавляли раствор NaOH, после чего осадки промывали дистиллированной водой (метод декантации) и высушивали при комнатной температуре.

Фазовый анализ состава полученных образцов проводили с помощью рентгеновского дифрактометра ДРОН-3,0 с использованием CuK_α-излучения трубки. Концентрацию соединений железа (II) в водных растворах определяли методом фотоколориметрии с помощью спектрофотометра КФК-2. Для анализа химической активности порошков использовали термоанализатор SDT Q600. Анализ проводили в режиме линейного нагрева в интервале 20…1000 ºС со скоростью нагрева 10 град/мин в атмосфере воздуха. Часть экспериментальных исследований выполнена с использованием оборудования Научно-аналитического центра

Национального исследовательского Томского политехнического университета.

Результаты и их обсуждение. Осаждение гидратированных форм титана, полученных как химически, так и с помощью электрохимического окисления металлического титана дает белые, гелеобразные, рентгенаморфные структуры, которые устойчивы до 200 °С. При нагревании до 300–400 °С образуется диоксид титана со структурой анатаза. Окончательное отщепление воды происходит при температуре 650 °С. При 900 °С диоксид титана переходит в TiO_2 – рутил. Эти данные согласуются с результатами, полученными ранее [2] (табл. 1). Затем образцы прокаливали несколько раз при температуре 900 °С. При первом прокаливании образцов образовывался Ti^{+3} (фиолетовая окраска), который после последующего прокаливания трансформировался в Ti^{+4} (белая окраска).

Полученные образцы диоксида титана апробировали на модельных водных растворах соединений железа (II), результаты определения сорбционной емкости представлены в таблице 2.

Таблица 1. Фазовый состав образцов гидратированного диоксида титана, прокаленного при различных температурах

Температура термообработки, °С					
110	200	400	600	800	900
аморфная	аморфная	анатаз	анатаз+рутил	рутил+анатаз	рутил

Таблица 2. Сорбционная емкость образцов TiO_2, полученных различными методами

Метод получения TiO_2			
химический		электрохимический	
в раствор введено соединений железа (II) , мг/л	в растворе найдено соединений железа (II), мг/л	в раствор введено соединений железа (II), мг/л	в растворе найдено соединений железа (II), мг/л
1,5	0,05	1,5	0,11
3,0	0,08	3,0	0,13

Согласно полученным данным, сорбционная емкость образцов диоксида титана, полученных химическим способом несколько выше, чем у образцов, полученных электрохимическим окислением металлического титана [3].

Проводимые в настоящее время исследования, тем не менее, показывают, что, варьируя условия получения гидратированного диоксида титана с помощью использования переменного тока, увеличения плотности тока и концентрации электролита, температуры синтеза и высушивания, можно значительно улучшить сорбционные характеристики сорбента, получающегося электрохимическим окислением металлического титана. Кроме того, выход сорбента, получаемого с помощью этого метода выше, чем при необратимом гидролизе реактива $TiCl_4$. Также дополнительно удается избежать выделения паров соляной кислоты (и других соединений хлора), что неизбежно происходит при химическом синтезе сорбента.

Список литературы

1. Руководство по контролю качества питьевой воды. Рекомендации. – Женева ВОЗ. – 1986. – Т. 1. – 126 с.
2. Коробочкин В.В. Процессы получения нанодисперсных оксидов с использованием электрохимического окисления металлов при действии переменного тока: Автореф. дис. … д-ра техн. наук – Томск, 2008. – 49 с.
3. Смирнова В.В., Назаренко О.Б. Применение оксидов и гидроксидов титана для очистки питьевой воды // Труды VIII международной конференции студентов и молодых ученых «Перспективы развития фундаментальных наук» 26–29 апреля 2011 г. – Томск: ТПУ, 2011. – С. 383–385.

УДК 628.16

Перспективы городского водоснабжения с позиции экологически рационального использование природных ресурсов

Р.С. Федюк., З.А. Муталибов

Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток, Россия

E-mail: roman44@yandex.ru

Рассмотрено современное состояние водоснабжения г. Владивостока. Приведе6ны перспективы использования водснабжения в дальнейшем с позиции экологической рациональности .

Проблема дефицита пресной воды достаточно актуальна для Владивостока, как в количественном, так и в качественном отношениях. Данная проблема возникла ввиду неравномерного распределения поверхностного стока по территории и сезонам года, периодической цикличности маловодных лет, неиспользования месторождений подземных вод, антропогенного загрязнения воды в водохранилищах питьевого назначения, а также износа сетей и водопроводных сооружений, вследствие чего на всем протяжении от водохранилищ до потребителей существуют достаточно большие потери (утечки) воды.

В настоящее время основным источником водоснабжения города являются поверхностные воды, забор которых производится из трех водохранилищ и двух подрусловых водозаборов: Пионерский гидроузел, Богатинский гидроузел, Артемовский гидроузел, Шкотовский водозабор, Ковш Артем ТЭЦ. Потребность города в воде составляет 400-500 тыс. $м^3$/сутки. Источники водоснабжения покрывают потребности города лишь частично. Проблема может усугубиться, когда реализуется проект застройки Русского острова. Таким образом, вопрос строительства дополнительного, резервного источника водоснабжения возникал регулярно. Этим источником может стать крупнейшее на Дальнем Востоке месторождение – Пушкинское месторождение подземных вод (Пушкинская депрессия), которая позволит дополнительно поставлять для нужд южного Приморья 200-250 тыс. $м^3$/сутки – половину того, что Владивосток получает сегодня. Источниками финансирования проектирования и строительства объекта являются краевой и федеральный бюджет.

Введение в эксплуатацию Пушкинской депрессии позволит сократить количественный дефицит воды во Владивостоке, но сохранит качественный, который возникает в магистральных трубопроводах и распределительной сети ввиду ее износа (более 60 %), вследствие чего процесс транспортировки воды связан с ее потерями. По данным, полученным в ОАО «Водоканале», потери воды на пути ее транспортировки от места забора из источника водоснабжения до потребителей составляют 50 %. Все потери включаются в тарифы на жилищно-коммунальные услуги, то есть население помимо реального расхода воды оплачивает и значительные утечки в системе водоснабжения.

При этом система контроля и учета индивидуального водопотребления работает недостаточно эффективно (на 1 января 2011 года в Приморском крае приборами учета холодной воды оборудованы 28,9 % квартир; горячей воды – 29,1 %). То есть оплата услуг водоснабжения для большинства жителей производится по нормативам, , которые включают в себя значительное количество утечек из системы на всех этапах прохождения воды, обусловленными причинами технического и социального свойства [1].

В качестве путей по сокращению потерь воды в системе водоснабжения можно выделить следующие:

- *Проведение обновления основных фондов систем коммунального водоснабжения и канализации за счет привлечения частных инвестиций.* Значительный износ сетей и водопроводных сооружений требует модернизации, что будет сопровождаться большими расходами. Покрыть эти расходы можно несколькими путями: значительно повысить тарифы, что представляется малоэффективным, так как повлечет за собой увеличение числа абонентов-должников, и эффективность данных мер окажется под вопросом или за счет бюджетных средств, размер которых представляется недостаточным. Таким образом, наиболее эффективным мероприятием является привлечение частных инвестиций.
- *Организация учета потребляемой воды путем повсеместной установки приборов учета.* Если принять во внимание краткосрочный прогноз, основанный на проекте Правил предоставления, приостановки и ограничения предоставления коммунальных услуг, согласно которого граждане, не установившие счетчики на воду, с 2012 года будут платить за жилищно-коммунальные услуги на 20 % больше остальных, а с 2013 года – на 40 % больше, то эффективность установки приборов учета воды для населения становится очевидной. Тем более, что помимо повышения тарифов, данным документом предусматривается возможность для населения рассрочки оплаты за счетчики воды и их установку, что будет являться стимулирующим фактором для населения.

Установка индивидуальных водоучетных приборов позволит уменьшить плату населением за обеспечение пресной водой, так как жители уже не будут оплачивать потери воды в сетях: оплата будет производиться только за реальный расход воды семьей. Также снизится нерациональный расход воды в квартирах, а, следовательно, и объем сбрасываемых сточных вод, что будет способствовать уменьшению загрязнения водоемов и возможному снижению расходов

по очистке канализационных стоков. Помимо данных мероприятий можно предложить и другие варианты по управлению снижением водопотребления в жилищно-коммунальной сфере за счет снижения расхода питьевой воды, а значит и снижения платы за нее. Предлагается осуществить систему повторного использования воды для коммунальных потребителей (по принципу систем судового водоснабжения).

Все бытовое водоснабжение судов делится на питьевую (20 %), мытьевую (55 %) и санитарную воду (25 %).

Суть системы повторного использования воды на судах заключается в следующем: использованная мытьевая вода после очистки применяется повторно в качестве санитарной (для смыва унитаза). Таким образом, проблема дефицита воды на борту судна не стоит перед экипажем, так как система водоснабжения судов практически не зависит от снабжения водой с берега (за исключением питьевой воды).

Подобный опыт применения для коммунальных потребителей уже существует: в Берлине (Германия) в одном из жилых зданий осуществляют очистку «серых стоков» и их повторное использование. В здании смонтированы две раздельные системы канализации – одна для туалетов («черные стоки»), а другая для умывальников, раковин кухонь, ванн, душей и бытовой техники, то есть для «серых стоков». Вода с помощью кварцевых ламп очищается ультрафиолетовым облучением в специальной установке, размещенной в подвале здания, после чего вода подается насосом через отдельную систему трубопроводов на водоснабжение смывных бачков туалетов [2].

Предлагаемая система позволит снизить количество «свежей» воды. В настоящее время вся используемая вода использует такие качественные характеристики, которые относят ее к разделу питьевой, то есть вода, используемая на все нужды (питьевые, мытьевые, санитарные нужды, в системе отопления, для производственных целей на предприятиях промышленности, а также для работы фонтанов, на заливку катков, на полив газонов, на пожаротушение и т.п.), фактически является пригодной для питья. А ведь требования, предъявляемые к воде должны соответствовать каждому конкретному назначению. В настоящее же время оплата фактически производится за питьевую воду, стоимость которой по факту затрат гораздо выше. В связи с этим предлагается вторично использовать мытьевые воды (из ванны) для санитарных целей, также они могут являться резервом при пожаре.

Предлагаемые мероприятия не снижают уровень комфортности жителей.

Рассмотрим принцип подготовки санитарной воды.

Вход в систему заключается в процессе наполнения емкости водой, использованной в мытьевых целях. Таким образом, вход в систему характеризуется наличием следующих частиц:

- различные моющие средства (мыло, шампунь, стиральный порошок, зубная паста);
- частицы, которые человек смывает в процессе стирки (грязь, нитки и т.п.).

Все загрязняющие вещества занимают довольно малый объем.

Сопоставление качества использованной мытьевой воды и требований, предъявляемых к ней потребителями (в качестве санитарной), определяет необходимость по степени ее очистки.

Выход системы представляет собой процесс перекачивания воды, пригодной для санитарных нужд, из емкости для сбора воды в смывной бачок.

Реализация системы повторного использования воды предполагает два варианта сбора мытьевой воды – локальную и общую систему.

При *локальной системе* сбор мытьевой воды производит каждая семья самостоятельно в своей квартире. В данном случае сбор воды производится в специально сконструированной емкости. Располагаться она будет непосредственно под ванной или в туалете за унитазом.

Произведя слив воды в емкость, вода будет подвергаться отстаиванию. В данном случае мытьевую воду нет необходимости очищать до норм питьевой воды, а, учитывая, что в такой воде нет каких-либо ядовитых веществ, то процесс отстаивания является наиболее оптимальным. Пройдя такую обработку, вода по специально подведенным трубам поступает в смывной бачок, где и используется в качестве санитарной. Затем повторно использованная вода поступает в канализацию.

При проектировании емкости необходимо учитывать коэффициент резерва воды, так как могут возникнуть непредвиденные ситуации типа внезапного отключения водоснабжения, прихода гостей, а также болезненного состояния человека. Полученный резерв воды можно также использовать для промывания емкости от засоряющих частиц. Если резерв оказался лишним, то излишек можно направить в канализацию. Если же наоборот, семье не хватило запланированной воды, недостаток ее можно восполнить простым открыванием крана в ванной. В данном случае вода просто перетекает в емкость для сбора воды, а уже затем в смывной бачок. Но при этом вода

будет проходить не все этапы жизненного цикла, а жители будут платить за каждый перерасходованный литр воды.

При *общей системе* сбор мытьевой воды производит многоквартирный дом или группа домов. Сбор воды, использованной на мытьевые нужды, производится жильцами в специально сконструированной для этого емкости. Затем, пройдя очистку, часть «свежей» воды направляется в дом для использования ее в качестве санитарной, а другая часть направляется в систему отопления.

В настоящее время в системе отопления используется вода питьевого качества, хотя требования, предъявляемые к такой воде, гораздо ниже и вполне достаточно использовать в системе отопления «очищенную» мытьевую воду. Очистка должна производиться с учетом требований, предъявляемых к воде, пригодной для использования в системе отопления.

Сбор воды осуществляется в специально сконструированной емкости, в которой вода отстаивается. Затем вода направляется в другую емкость, где будет проводиться обеззараживание с целью уничтожения различных болезнетворных бактерий: ведь в многоквартирном доме живет большое количество жителей, и не известно, является ли кто-либо из них носителем заболеваний. В данном случае предлагается решение использовать гипохлорит натрия (NaClO), так как к санитарной воде и воде, направляемой в систему отопления, предъявляют невысокие требования.

При проектировании емкости для сбора воды многоквартирным домом (в отличие от емкости, установленной в квартире для каждой семьи) не учитывается коэффициент резерва воды на экстренные нужды человека, так как при большом количестве жителей в этом нет особой необходимости. Излишки очищенной воды могут являться резервом при пожаре, а при отсутствии такой необходимости сбрасываться в канализацию.

Данные емкости можно расположить в любом наиболее приемлемом месте: под землей (во дворе, на пустыре, в овраге, в лесном массиве) или на крыше дома при условии надежности конструкции здания. При этом степень комфортности и благоустройства местности для жителей не будет снижаться. В случае, когда емкость будет располагаться под землей, важным моментом является то, что это не повлечет за собой дополнительных наземных построек. В случае, когда емкость будет устанавливаться на крыше здания, необходимо учитывать коэффициент нагрузки на конструкцию здания. В обоих случаях изменение системы водоснабжения повлечет только незначительные неудобства, связанные с процессом строительства.

Внедрение систем повторного использования мытьевой воды для коммунальных потребителей является одним из вариантов снижения водопотребления в жилищно-коммунальной сфере.

Список литературы:

1. Федюк Р.С. Экологические аспекты проектирования энергоэффективных зданий в Приморском крае (Доклад) // Материалы XVI Всероссийской научно-технической конференции «Энергетика: экология, надежность, безопасность»-Томск: ТПУ, 2010. – с. 141-143.
2. Куличков С.В., Федюк Р.С., Муталибов З.А. Современные принципы проектирования энергоэффективных сооружений объектов военной инфраструктуры // Материалы 53 Всероссийской научной конференции. Том I, Военно-специальные вопросы – Владивосток: ТОВМИ им. С.О. Макарова ВУНЦ ВМФ «ВМА», 2010. – с. 53-55.

УДК 330.15, 332.36

Издержки современного энергопотребления: деградация окружающей среды

Т.Ш. Фузелла
Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск, Россия
E-mail: fts10@yandex.ru

Рассмотрены темпы деградации биосферы в XX веке в аспекте современного энергопотребления. Установлено, что на современном энергетическом рынке предпочтение отдается загрязняющим источникам энергии, например, серосодержащим - углю и нефти, а не экологически чистым возобновляемым источникам. Проблема экономии энергии в современных условиях должна решаться с учетом максимального использования возможностей по частичному самообеспечению энергией, с использованием компонентов, воспроизводимых в собственном биологическом цикле.

Проблема использования технической энергии и экономии энергетических ресурсов на Земле тесно связана с вопросами защиты окружающей среды от загрязнения, поскольку энергетические установки являются основными антропогенными источниками загрязняющих

веществ на планете [1]. В результате хозяйственного использования произошли колоссальные утраты земельных ресурсов сельского хозяйства, площадь деградированных земель приблизилась к 2 млрд. га: 580 млн.га из-за сведения лесов; 680 млн.га из-за перевыпаса скота; 550 млн.га из-за всех форм эрозии, засоления и химического загрязнения [2]. Скорость «техногенного опустынивания» в мире составляет 7-10 млн. га в год. Ежегодно ещё 20 млн. га теряют продуктивность из-за эрозии и наступления песков. От деградации почвы уже пострадали 70% засушливых земель планеты (3,6 млрд. га). По данным фундаментальных сводок о росте техносферы и утратах биосферы [2,3,4] можно проследить рост потребления материально-технических потоков в XX веке (табл.1) и связанную с этим деградацию природных ресурсов за последние сто лет (см. табл.2).

Таблица 1. Темпы развития материально-технических потоков в XX веке [по 5]

Показатель	Начало XX века	Конец XX века
Валовой мировой продукт, млрд. долл/год	60	30000
Энергетическая мощность техносферы, 10^{12}Вт	1	14
Численность населения, млрд. человек	1,6	6,1
Добыча всех видов ископаемых, 10^9т/год	0,6	125
Потребление первичной продукции биоты, %	1	12
Площадь суши, занятая техносферой, млн. км^2	13	38

Таблица 2. Динамика деградации биосферы в XX веке [по 5]

Показатель	Начало XX века	Конец XX века
Потребление пресной воды, км^3/год	360	5000
Площадь лесов, млн. км^2	46,5	38,7
Площадь вторичных пустынь, млн. км^2	28	36
Площадь деградированных земель, млн.га	140	1900
Сокращение числа видов, %	-	20
Риск техногенных поражений людей	0,5	2,5

За последние сто лет валовой мировой продукт возрос в 500 раз – с 60 до 30000 млрд. долл/год, также увеличились в 14 раз: энергетическая мощность техносферы (с 10^{12}Вт до $14\cdot10^{12}$) и объём потребления пресной воды (с 360 до 5000 км^3/год). Численность населения возросла в 4 раза - с 1,6 до 7 млрд. человек, добыча всех видов ископаемых увеличилась в более чем 200 раз - с $0{,}6\cdot10^9$ до $125\cdot10^9$ т/год. Потребление первичной продукции биоты возросло в 12 раз. Площадь суши, занятая техносферой, возросла в 3 раза - с 13 до 38 млн. км^2. В результате деятельности человека площадь лесов сократилась на 7,8 млн. км^2 - с 46,5 до 38,7 млн. км^2, а площадь вторичных пустынь возросла в 1,3 раза - с 28 до 36 млн. км^2. Площадь деградированных земель увеличился почти в 14 раз - с 140 до 1900 млн.га, это привело к сокращению в 20 раз числа видов и увеличению риска техногенных поражений людей в 5 раз. На основании анализа аэрофотоснимков, проведённого авторами [5], была оценена площадь земель, не затронутых хозяйственной деятельностью, которая составляет 38,6 млн. км^2 (28 % обитаемой суши). Глубокому антропогенному преобразованию сейчас подвергнуто более 28% поверхности суши, 17 % из них - земледельческая площадь, 8% - урбанизированные территории и 3% - «bedland» – площади пустырей, свалок отходов, скоплений перемещённых грунтов.

Как видно из табл. 3, основной экологический ущерб окружающей среде принадлежит добыче, переработке и сжиганию ископаемых топлив, особенно угля и нефти (до 75% доли антропогенного экологического ущерба). Другим крупным загрязнителем атмосферы является транспорт (около 14% выделения углекислого газа). Автомобильный транспорт (составляющий более 500 млн. единиц) с ростом в 5,1% потребляет около половины добываемой в мире нефти. Таким образом, складывающаяся на планете энергетическая ситуация, требует изменения интенсивного потребления ископаемых источников энергии всеми странами мира.

В России находится третья часть черноземов мира, предоставляя более 80% сельскохозяйственной продукции. Черноземы отличаются высоким плодородием, мощностью гумусового горизонта и сбалансированностью минеральных элементов питания растений. Они являются как бы эталоном оптимального содержания химических элементов в почве и запасают огромное количество энергии. Однако почти полная распашка степей на юге, перевыпас скота участили пыльные бури, выметающие почву на сотнях тысяч гектаров пашни.

Таблица 3. Экологический ущерб, связанный с использованием ископаемого топлива [6]

Изменяемый параметр среды	Доля антропогенного экологического ущерба, вызванная данным фактором			
	Промышленные источники энергии [уголь, нефть, газ]	Биомасса	Сельское хозяйство	Промышленное производство и др.факторы
Содержание углекислого газа	75% сжигание ископаемых топлив	3% вырубка леса на топливо	15% вырубка лесов под пашню	7% вырубка на древесину, производство цемента
Поток пылевых частиц	35% сжигание ископаемых топлив	10% сжигание древесины	40% сжигание сельскохозяйственных отходов, переработка пшеницы	15% плавка металлов, расчистка земли для сельхозцелей
Поток оксидов азота	12% сжигание ископаемых топлив	8% сжигание древесины	80% удобрения, расчистка угодий, разрушение водоносных пластов	–
Содержание метана	18% добыча, переработка ископаемых топлив	5% сжигание древесины	65% гниение растительных и животных остатков, расчистка угодий	12% свалки отходов
Поток диоксида серы	85% сжигание ископаемых топлив	0,5% сжигание древесины	1% сжигание сельскохозяйственных отходов	13% плавка металлов, сжигание отходов
Поток нефти в океаны	60% добыча, переработка и транспортировка нефти	–	–	40% выброс отходов
Поток ртути	20% сжигание ископаемых топлив	1% сжигание древесины	2% сжигание сельскохозяйственных отходов	77% обработка металлов, промышленное производство, сжигание отходов
Поток свинца	83% сжигание ископаемых топлив	–	–	37% обработка металлов, промышленное производство, сжигание отходов

Большой ущерб нанесен также неправильным орошением. За 50 лет Россия потеряла более 1/3 своего чернозема. На юге России - в Волгоградской, Ростовской областях, Краснодарском крае, Ставрополье из-за эрозии, подтопления и засоления продолжается потеря чернозема - одного из главных богатств страны.

Быстро растет изъятие земель под неаграрные объекты. При этом неизбежно изымаются и плодородные земли, так как именно на таких территориях формируется наибольшая хозяйственная активность. Значительные потери плодородных пойменных земель связаны с гидростроительством. Площадь затопленных земель в результате создания водохранилищ на равнинных реках Европейской части России достигла 3,5 млн. га. Некоторые гидроузлы в бассейнах Волги, Дона и Кубани (при правильном подсчете баланса между выгодой и ущербом с учетом ценности затопленных земель и других факторов) нанесли стране огромные убытки.

Вопрос о будущем развитии энергетики можно по праву считать одним из самых главных в настоящее время по двум основным причинам. Во-первых, наше время можно считать переломным из-за близкого истощения сырья, накопленного в былых биосферах. Скоро мы уже не сможем паразитировать на несовершенствах круговоротов прошлых биосфер и будем должны побеспокоиться о более надежных возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Во-вторых, следует подумать о гармоническом «вписывании» человечества в глобальный круговорот, пока он не нарушен в его основе. Скрытые социальные и экологические затраты, риск, связанный с использованием ископаемых видов топлива - основные барьеры к коммерциализации возобновляемых технологий. Общепризнано, что современные рынки игнорируют эти затраты. На самом деле, на мировом энергорынке предпочтение отдается загрязняющим источникам энергии, например, серосодержащим - углю и нефти, а не экологически чистым возобновляемым источникам. До тех пор, пока традиционные технологии способны перекладывать на общество существенную часть своих затрат, связанных с загрязнением окружающей среды и расходами на

здравоохранение, ВИЭ будут находиться в неравных условиях. И это несмотря на то, что ВИЭ практически не ухудшают состояние экологии и даже дают такие положительные эффекты, как создание рабочих мест, особенно в сельской местности.

Очень трудно оценить затраты, связанные с экологическим загрязнением, а некоторые из них даже трудно определить. Согласно исследованиям, проведённых немецкими учеными [7], затраты на производство электроэнергии ископаемых видов топлива, не включая затраты, связанные с решением проблемы глобального потепления, составляют 2,4-5,5 цент/кВт·ч. В то же время стоимость электроэнергии, выработанной атомными электростанциями, - 6,1-3,1 цент/кВт·ч. Согласно другому исследованию [7], выбросы SO_2 при сжигании угля на американских электростанциях ежегодно обходятся гражданам США в 82 миллиарда американских долларов - дополнительно для возмещения ущерба, нанесенного здоровью людей. Сокращение сельскохозяйственных урожаев, вызванное загрязнением воздуха, обходится американским фермерам в 7,5 млрд. американских долларов в год. Важным является тот факт, что граждане США фактически ежегодно оплачивают скрытые затраты, связанные с использованием энергии, в размере примерно 109-260 млрд. долларов. Подобные примеры могут быть приведены для других стран. Таким образом, можно сделать вывод о том, что чем мощнее энергетика страны и чем выше потребление первичной продукции биоты в ней, тем больший «вклад» она вносит в глобальную деформацию окружающей среды. Если бы все перечисленные издержки включались в рыночные процессы, технологии по применению ВИЭ оказались бы в более выгодном положении, конкурируя с ископаемыми видами топлива. Следовательно, проблема экономии энергии в условиях недостаточности и заметного удорожания основных видов энергоресурсов должна решаться с учетом максимального использования возможностей сельского хозяйства по частичному самообеспечению энергией, а также некоторыми другими компонентами, воспроизводимыми в собственном биологическом цикле. В этой связи заметим, что ограниченность энергетических ресурсов становится одним из факторов, определяющих темпы экономического роста.

Опыт истории показывает, что увеличение энергопотребления усиливает конфликт между человечеством и биосферой. Стало совершенно очевидно, что дальнейшее сохранение закономерности «чем выше энергетическая мощь человечества, тем больше людей может прокормить Земля, и чем больше энергии, тем выше благосостояние землян» ведет человечество к катастрофе.

Работа выполнена в рамках проекта VII. 63.1.3. фундаментальных исследований ИМСЭС СО РАН.

Список литературы:

1. Булаткин Г.А. Эколого-энергетические основы оптимизации продуктивности агроэкосистем. – М. : ИФПБ РАН . – 2008. – 366 с.
2. Глобальная экологическая перспектива-3 (ГЕО -3). – М.: ЮНЕП, 2002. – 504 с.
3. Ковда В.А. Почвоведение. Типы почв, их география и использование. – М. : Высшая школа. – 1988. – 400 с.
4. Горшков В.Г. Физические и биологические основы устойчивости жизни. – М.: ВИНИТИ, 1995. – 470 с.
5. Акимова Т.А. Экономика природы и человека. – М. : Экономика, 2006. – 334 с.
6. Возобновляемая энергия. М. : Изд-во Интерсоларцентр. – 1998. – № 4
7. http://esco-ecosys.narod.ru/journal/journal68.htm

Рекультивация земель просек ВЛ--500 кВ

В.В. Хахалкин

Томский государственный архитектурно-строительный университет, г. Томск, Россия

Относительно ситуации прокладки ВЛ, захватывающей южную тайгу предгорий Кузнецкого Алатау и Мариинско-Ачинский лесостепной округ, куда попадает Арчекасский кряж, можно рекомендовать достаточно эффективный перечень мероприятий:

- противоэрозионные;
- складирование плодородного слоя, взятого из-под опор ВЛ перед их установкой;
- подсыпка плодородного слоя почв на средне- и сильно нарушенных участках просеки ЛЭП;
- внесение комплексных удобрений на средненарушенных участках дерново-подзолистых почв;

- при недостатке плодородного слоя или трудностей доставки грунта проведение рыхления дисковой бороной средне и сильно нарушенных участков;
- подсев бобово-злаковой травосмеси ;
- рекомендуют подсев мятлика на рекультивируемых землях. На просеке ВЛ мятлик является доминантом растительного покрова и одним из основных дернинообразователей.

Противоэрозионные мероприятия требуются при углах наклона поверхности более 2 градусов. В результате снятия дернового горизонта почв и обнажения элювиального горизонта, подстилающих пород легкого гранулометрического состава наблюдается развитие плосткостной и линейной эрозии. Плоскостная водная эрозия наблюдается на выположенных поверхностях макросклона кряжа. Для предотвращения этого процесса необходимо проведение дернования экспонированной поверхности почв. Линейная эрозия развивается на трансэлювиальных поверхностях, когда вскрываются средне- и легкосуглинистые слои. В этом случае, для закрепления рельефа поверхности требуется террасирование тальвегов стока, обваловка и другие мероприятия. Противоэрозионные мероприятия необходимо осуществлять непосредственно после установки опор и натяжения проводов. При наличии глубоких рытвин и ям (глубиной более 50 см) следует провести предварительную планировку рельефа поверхности и подсыпку грунтов.

После закрепления рельефа поверхности и усадки грунтов, требуются мероприятия по рекультивации плодородного слоя техногенно-нарушенных участков просеки ВЛ-500 кВ. В случае почв с небольшой мощностью гумусового горизонта, таких как дерново-подзолистые, эти мероприятия особенно важны, так как их естественные восстановительные ресурсы ограничены.

Для проведения этих видов работ следует заготовить плодородный слой. Источником плодородного слоя могут быть участки установки опор на почвах с мощным гумусовым горизонтом, в данном случае лугово-черноземных, темно-серых почв и черноземов, располагающихся на водораздельных поверхностях кряжа в 2-3 км от нарушенных лесных почв просеки ВЛ. Перед установкой опор на луговых биогеоценозах снимаются дерновый и гумусовый горизонты и складируются отдельно. Плодородный слой засыпается на средне- и сильнонарушенных участках почвенного покрова просеки и под опорами ВЛ слоем 15- 20 см. Такая мощность гумусового горизонта характерна для окружающих просеку почв. Насыпные грунты под опорами, противоэрозионная обваловка и террасы на склоне покрываются дерном.

В случае отсутствия источников плодородного слоя можно использовать торф, навозно-соломенные компосты и т.д. В условиях невозможности или экономической нецелесообразности доставки этих материалов, достаточно внесение комплексных удобрений из расчета 100 - 170 г комплексных удобрений на 1 $м^2$, с последующим рыхлением нарушенных почв просек дисковой бороной.

На подготовленных участках необходим подсев бобово-злаковой травосмеси (костреца безостового и клевера). Следует провести прикатку поверхности посевов. Подсев злаков эффективно создает дерновый горизонт почв, предотвращая эрозионные процессы. Кроме того, развитая дернина снижает вероятность прорастания древесной растительности (березы, сосны, ивы), легко заселяющейся на нарушенных участках просеки. Присутствие древесных пород под действующей ВЛ-500 кВ приводит к возрастанию токов утечки и требует дополнительных расходов по выкорчевке древесного подроста.

Проведение рекультивационных мероприятий в 3-5 раз ускоряет процесс регенерации и восстановления естественного плодородия почв вскрышных карьеров. На просеках ВЛ, для которых характерно частичное сохранение естественных участков ненарушенного сложения, процесс восстановления естественного плодородия, видимо, будет протекать значительно быстрее.

Площадь сильнонарушенных почв сократилась в 3 раза, среденарушенных – в 4 раза, соответственно кратно возросла площадь слабо нарушенных. Такое сокращение площадей техногенно-нарушенных земель приведет к сокращению ущерба от строительства ВЛ-500 кВ в примерно в 4 раза.

Ландшафтная основа проблем районирования трасс ВЛ СВН И УВН

В.В. Хахалкин

Томский государственный архитектурно-строительный университет, г. Томск, Россия

Использование тех или иных принципов и методов при ландшафтном познании регионов предопределяется следующим:

- теоретическими позициями автора;

- наличием фактического материала для ландшафтного анализа;
- задачами по конечному использованию полученных результатов.

Для ландшафтного анализа любой территории необходимо решить следующие теоретико-методические аспекты:

- определить содержательную сторону понятия «структура ландшафта»;
- определить ранг тех геосистем, на исследовании структур которых планируется сосредоточить основное внимание;
- обосновать критерии и процедуру выделения минимальных ландшафтных единиц;
- обосновать критерии для выявления ландшафтных границ и для обоснования пространственных рамок ландшафтных систем надэлементарного (надфациального) уровня;
- принять одну из существующих классификаций ландшафтных систем, модифицировать её при необходимости или разработать авторский вариант классификации.

При выделении региональных и типологических ландшафтных систем обычно придерживаются следующих принципов: 1) комплексности; 2) относительной однородности (однообразия); 3) генетического единства и территориальной общности; 4) однотипности и аналогии.

Для выделения физико-географических районов широко используют следующие методы: наложения частных видов районирования, выявления ведущего фактора, анализа карт для определения встречаемости характерных ландшафтов и анализа карт типологических ландшафтных единиц. Районы и ландшафты состоят из более мелких ландшафтных систем, важное значение из которых принадлежит минимальной ландшафтной единице или «молекуле ландшафта» по выражению В.Б. Сочавы. Именно наличие информации о фациальной структуре конкретного ландшафта позволяет познать его как целостный объект.

Так, нами при картографировании ландшафтных систем речных и горных районов применялся масштаб 1:2000, при картографировании геосистем надпойменных террас и междуречных пространств равнинных частей Западной Сибири, относящихся к подзонам подтайги и южной тайги, использовался в основном масштаб 1:5000, при картографировании степных ландшафтов Алтая и Казахстана реализовывался масштаб 1:10000.

Объём понятия «фация» в настоящее время трактуется не однозначно, исходя из того, что в изучении ландшафтных систем сложилось два основных направления - морфологическое и структурно-динамическое. Широко известно определение фации как природно-территориального комплекса, на протяжении которого сохраняется одинаковый характер рельефа, литологический состав поверхностных отложений, режим увлажнения, одна почвенная разность и один биоценоз.

Разные подходы в изучении фациальной структуры ландшафтов определяют и применение разных диагностических признаков выявления фаций. Например, В.С.Михеевым в основу выделения фаций «было положено изучение и сопоставление их вертикальных профилей в разных местоположениях», т.е. вертикальная или радиальная структура биогеоценоза. По его мнению, «строение вертикального профиля как комплексное сопряжение различных компонентов служит главным показателем, который должен учитываться при диагностике фаций».

Эти предложения были реализованы нами при изучении фациальной структуры ландшафтных систем черневой тайги в Кузнецком Алатау. В пределах полигонов-трансектов, где выполнялась крупномасштабная ландшафтная съёмка, была заложена серия площадок для выявления вертикальной и горизонтальной структуры выделов фаций. Для выявления вертикальной и горизонтальной структуры принимались участки площадью 100 кв.м (5х20 м), а для горизонтальной – площадью 1500-3000 кв.м.

Основным методическим приёмом, используемым для сбора информации о вертикальной структуре выделов фаций, являлась зарисовка трёх основных элементов – яруса, полога и фитоценотического горизонта. При изучении горизонтальной структуры центральным звеном натурных работ служила фиксация на планах в масштабе 1:100 расположения древесных и кустарниковых растений (стволов и крон) с помощью мензульной съёмки. Использование такого приёма позволяло одновременно определять высотные отметки и выявлять микроформы рельефа. Используя планы, отражающие древостой и кустарниковые растения, нами выявлялись микроценозы, микрогруппировки, конгрегации и другие элементы горизонтальной структуры фитоценозов – одного из важных компонентов в лесных ландшафтах. При анализе материалов, характеризующих внутрифациальную, прежде всего фитоценотическую, структуру нами широко использовались методические разработки.

Профили на местности располагались, как правило, перпендикулярно простиранию геоморфологических элементов и в зависимости от ландшафтной сложности участка и других

причин длина их варьировала от 0,5 до 18 км. На каждом профиле выполнялись следующие работы: инструментальная нивелировка, геоморфологическое описание прилегающей к профилю местности (ширина 25-40 м), картографировались почвы и растительный покров. Для характеристики литологического состава поверхностных отложений выполнялись буровые работы на глубину 2-2,5 м с применением почвенного бура. В пределах отдельных профилей и на характерных выделах фаций отраслевыми специалистами изучались водно-физические свойства почв, динамика их влажности и температурного режима, определялась урожайность и кормовые достоинства луговых травостоев.

Многокомпонентное, и иерархическое строение ландшафтных систем, динамизм их свойств и иные факторы определяют проблему границ между ними как весьма сложную. Некоторые зарубежные учёные отрицают объективное существование ландшафтных границ, читая их продуктом мысли исследователя. Большинство же отечественных ландшафтоведов признают объективное существование ландшафтных границ.

Границы могут классифицироваться по функциональным признакам, по форме, по характеру выраженности. По мнению многих исследователей в пограничных зонах сопряженных ландшафтных систем имеются, как правило, переходные полосы, размеры которых не укладываются в ранг самых мелких ландшафтных единиц. К причинам, определяющих эту ситуацию относятся и разная скорость и интенсивность, происходящих в компонентах природных процессов, и разный возраст и время формирования этих компонентов.

Природные компоненты взаимосвязаны, во многом взаимообусловлены, но они же имеют между собой и качественные, вещественные различия. При совмещении планов, на которых показана локализация компонентов ландшафта, следует обратить внимание на следующий аспект. В рассматриваемых выделах почвенного и растительного покровов. Поверхностных отложений, форм рельефа отражаются компонентные классификации. Последние «построены» относительно друг друга на разных методологических подходах, по-разному учитывают генезисную и временную природу компонентов. Речь идёт о том, что при пространственном сравнении выделов элементарных почвенных выделов и фитоценозов совпадения границ мало реально из-за разных классификационных представлений этих пространств. На этот аспект, к сожалению, в научной литературе обращалось мало внимания.

Эти взгляды применимы и к диагностике ландшафтных границ. Но при картографировании и при использовании материалов ландшафтного анализа регионов в практических целях границы между ландшафтными системами целесообразно принимать как линейные, хотя они могут иметь и различный характер: быть отчётливыми или слабо выраженными; консервативными и мобильными; дивергентными, конвергентными, градиентными и процессными.

В пределах равнинных районов Западной Сибири, относящихся к степи, лесостепи, подтайге и южной тайге, ландшафтные системы надфациального уровня выявляются достаточно чётко по аэрофотоснимкам. К ним относятся урочища пойм, надпойменных террас, озёрных котловин, ложбин древнего стока, крупных болотных массивов.

Процедура выделения фаций на основании материалов крупномасштабной комплексной съёмки, по нашему мнению, выглядит следующим образом.

На каждом профиле и ключевом участке нами была отражена пространственная локализация мезоформ рельефа, почв, растительных фитоценозов и поверхностных отложений. Информация по этим основным составляющим ландшафтных систем получалась, как уже отмечалось, при сплошной съёмке масштабного диапазона 1:1000-1:5000. Мощность поверхностных отложений фиксировалась на уровне 2-2,5 м и она включает большую часть корневой биомассы растений. Почвы в легендах для профилей и ключевых участках отмечались на уровне подтипов.

Выше перечисленные компоненты были положены в основу дифференциации ландшафтного покрова. Информацию о микроклимате, животном мире, водном компоненте весьма сложно получить и весьма затруднительно использовать при выделении фаций ввиду их «подвижности». Хотя для выделения фаций и надфациальных единиц, особенно, в пределах долинных комплексов уровень грунтовых вод может служить дифференцирующим фактором и нами это учитывалось. При выделении выделов фаций важны две методические предпосылки:

1. Пространство фаций однородно относительно свойств, слагаемых их компонентов.
2. Компоненты, слагаемые фации, равнозначны, равноценны и в них нет ведущих и ведомых.

Исходя из этого, производится сопряжённый пространственный анализ компонентов ландшафта. Граница между выделами фации проводится в случае качественного изменения хотя бы одного из четырёх анализируемых компонентов. Следует заметить, что поверхностные

отложения практически не выступают как дифференцирующий компонент, т.к. их свойства реализуются в почвах.

Элементарная ландшафтная единица имеет малые площадные размеры. Например, в пределах Новониколаевского степного стационара Института географии Сибири РАН, имеющего площадь 72 га, выделено 47 ЭГА. Средняя величина выделов фаций в пределах Приангарского таёжного стационара Института географии РАН равна 0,06 кв.км, а их границы проводились через 200-300 м.

В обследованных нами южных районах Томской области, в северных районах Кемеровской области выделы фаций по профилям в среднем имели ширину 70-100 м, а площадь 3-7 га.

По мнению большинства отечественных географов отграничение в натурных условиях таких надфациальных единиц как подурочища, урочища и местности выполняется на основании учёта, прежде всего, геоморфологических показателей.

В основе ландшафтных исследований должна лежать классификация ландшафтных систем, служащая важным инструментом их познания. Имеется значительный опыт по разработке классификационных схем как для всей территории страны, так и для её отдельных регионов.

Нами при изучении ландшафтов разных регионов использовался двухрядный принцип классификации геосистем В.Б.Сочавы, достоинством которого является:

- соблюдение генетического подхода при изучении динамики и эволюции геосистем;
- учёт двойственной природы геосистем;
- применение системного подхода к природному районированию и выбору для этого критических и других значимых компонентов ландшафта;
- принятие в качестве основы классификации наиболее мелкого ландшафтного образования – гомогенного ареала геосистемы.

Выявление элементарной ландшафтной системы, с которой начинается классификация, имеет важнейшее методическое значение, т.к. понимая устройство малой ячейки можно судить о структурных особенностях более крупных ландшафтных образований.

Выше уровня ЭГА рассматриваемая классификация строится по двум самостоятельным рядам – геомерам и геохорам, что, прежде всего, позволяет учитывать двойственный характер структуры геосистем – гомогенность и гетерогенность.

Ряд геомеров. В этом ряду происходит обобщение геосистем на основе их типологического сходства, т.е. осуществляется типизация выделов фаций. Первым уровнем такого обобщения является фация, понимаемая нами как тип ЭГА, т.е. как самая мелкая типологическая ландшафтная единица. Обобщение ЭГА в типы фаций (для краткости - в фации) основано на однородности свойств тех компонентов, которые фиксируются нами при крупномасштабном картографировании. Между собой фации различаются по характеру природных режимов, внутрифациальной структуре и свойствам, формирующих их компонентов.

Следующим уровнем типологического объединения фаций является группа фаций. В качестве критериев объединения фаций в группы называют преобладающий природный процесс, обуславливающий сходство природных режимов, а также отличия (отклонения) локально-географических свойств фаций от фоновых условий.

Ряд геохор. Реализация иного методического подхода в классификации геосистем, основанная на их пространственной интеграции, позволяет объединять ЭГА в следующие таксономические единицы: элементарные разнокачественные ареалы (ЭРА), микрогеохороры (урочища), мезогеохоры (местности), топогеохоры (природные районы) и макрогеохоры (природные округа). Эти хорологические единицы наиболее широко используются ландшафтоведами в их практической деятельности.

Объединение выделов фаций в ЭРА основано на их пространственной сопряжённости и функциональной целостности. При объединении выделов фаций в ЭРА главное внимание было уделено анализу их положения в рельефе, что определяет геохимическую сопряженность фаций. Приуроченность последних к одной мезоформе рельефа во многом определяет направленность протекающих в ЭРА природных процессов: стока поверхностных вод, переноса минеральных частиц и т.п.

Смежные фации и подурочища пространственно объединяются в урочища и микрогеохоры. Урочища являются наиболее широко применяемыми геосистемами при среднемасштабном картографировании. Границы урочищ устанавливаются, как правило, по геоморфологическим рубежам. По степени сложности урочища подразделяются на простые и сложные. Нередко под понятием «урочища» подразумевается ландшафтная система ранга сложного урочища.

Пока же выявление урочищ и местностей, как отмечалось, осуществляется по геоморфологическим рубежам, а различия устанавливаются на основании учёта компонентного состава этих пространств. Выделение урочищ и местностей без осуществления фациального анализа этих геохор является неправильным и значительно обедняет их ландшафтное содержание. Ведь определение хорологических единиц начинается с того, что «это комплекс определённой морфологической структуры...».

Новый способ переработки диоксида серы, содержащегося в отходящих обжиговых газах металлургических производств

Т.С. Цыганкова, А.А. Сечин, Е.В. Заболотская, В.Н. Михеев
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Введение

В настоящее время, когда во всем мире существуют экологические проблемы, связанные с наличием промышленных отходов, ученые ищут пути решения производственных проблем в наиболее безопасном варианте для окружающей среды.

С этой точки зрения использование техногенных материалов в строительной промышленности является наиболее целесообразным направлением, поскольку в этом случае соблюдается основной закон природы – круговорот веществ. Сейчас, в производстве строительных материалов в основном используются природное сырье, однако в целях развития ресурсоэффективных технологий значительное их количество с успехом можно заменить техногенными материалами, в частности, техногенным ангидритом, тем самым сократить нагрузку на окружающую среду техногенными отходами.

Целью данных исследований является возможность использования выбрасываемого в атмосферу кислого газа – диоксида серы для превращения его в востребованный в строительной промышленности материал – ангидритовое вяжущее.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- определить условия и режимы, при которых будет происходить полная нейтрализация серной кислоты известняком, с получением безводного сульфата кальция;
- определить состав строительных смесей с использованием полученного техногенного безводного сульфата кальция, для получения закладочных растворов.
- определение условий и режимов, при которых будет происходить полная нейтрализация серной кислоты известняком, с получением безводного сульфата кальция;
- определение составов строительных смесей с использованием полученного техногенного безводного сульфата кальция, названного нами кальцитоангидритом, в отличие от известных ранее фторангидрита и фосфоангидрита, на примере получения закладочных растворов для заполнения шахтных пустот ОАО «Горно-металлургический комбинат «Норильский никель».

Историческая справка

Уже в древности (Ассирия, Китай, Греция) диоксид серы использовался при окуривании «для изгнания злых духов» (Гомер. Одиссея. XXII, 481-2, 493-5). Плиний упоминает, что «дух серы» является улучшителем вина *Plinius.Naturalis historiae.* XIV. 129). По мнению других авторов, в какой именно форме использовали серу не совсем ясно. Сернистый газ стал широко использоваться, вероятно, лишь во времена позднего средневековья. Применение его часто порождало проблемы. В Кёльне в XV веке обработка вина серой была полностью запрещена, так как из-за неё «природе человека наносится вред и пьющие становятся больными» . В 1487 году в Ротенбурге существовало предписание, по которому обработка бочек серой допускалась, но «...следует брать на большую бочку не более лота серы». Обрабатывать вино серой можно было только один раз. Рейхстагом Линдау чрезмерное окуривание вина серой было запрещено в 1497 году, а годом позже запрет был введен и рейхстагом Фрейбурга в Брейсгау. В последующие столетия сернистый газ использовался как консервант для Целого ряда пищевых продуктов. И сегодня, несмотря на ограничения, связанные с токсичностью, он незаменим в производстве многих продуктов питания.

Методы

Для исследований были использованы следующие существующие методы: ситовой анализ сыпучих материалов для определения гранулометрического состава компонентов; потенциометрический анализ водной вытяжки продуктов нейтрализации; метод определения

прочности образцов на сжатие с помощью лабораторного пресса, рентгено-фазовый анализ образующегося в результате нейтрализации серной кислоты известняком сульфата кальция.

Результаты

В опытах использовали серную кислоту марки х.ч. с концентрацией 93 % масс. и известняк месторождения в г. Норильске следующего химического состава, % массовые (% масс.): $CaCO_3$ – 86,5; Al_2O_3 – 2,01; SiO_2 – 6,18; Fe_2O_3 – 1,28; MgCO3 – 2,78; S – 0,31.

Предварительными опытами было установлено, что для нейтрализации серной кислоты указанным известняком требуется измельчение последнего с содержанием максимального размера его гранул ниже 200 мкм. Увеличение размера гранул известняка вызывало увеличение времени реагирования реагентов выше технологически приемлемых значений. Показателем степени нейтрализации серной кислоты служило значение pH водной вытяжки продукта взаимодействия измельченного и просеянного через сито известняка с серной кислотой. Стехиометрическое количество известняка не обеспечивало полную нейтрализацию серной кислоты даже при температурах выше 150ºС. Поэтому были проведены опыты по определению оптимального избытка известняка относительно стехиометрически необходимого для полной нейтрализации серной кислоты.

С целью получения безводного сульфата кальция и исключению возможности образования полуводного сульфата кальция были проведены исследования по определению оптимальной температуры процесса нейтрализации вышеуказанных реагентов.

Влияние влияния времени перемешивания известняка с серной кислотой на значение pH продукта нейтрализации

В таблице 1 представлены результаты влияния времени перемешивания известняка с серной кислотой на pH водной вытяжки массы при температуре взаимодействия 120 ºС в лопастном лабораторном смесителе и избытке известняка над стехиометрическим количеством 50 % масс. Кислотность определяли с помощью аналитического устройства pH-150 МИ (ООО «Измерительная техника», г. Москва, 2010 г.). Водная вытяжка техногенного ангидрита представляет собой водный раствор водорастворимого сульфата кальция после перемешивания навески продукта в количестве 10 г в 50 мл дистиллированной воды, тщательного перемешивания и выдержки в спокойном состоянии на протяжении 5 минут.

Таблица 1. Влияние времени перемешивания известняка с кислотой на pH водной вытяжки массы

№ п/п	Время перемешивания, мин.	Значения pH
1	4	2,4
2	5	3,9
3	6	5,3
4	7	5,3
5	8	5,3

Рекомендуемое время перемешивания серной кислоты с Норильским известняком в лопастном смесителе составляет 6 минут.

Влияние температуры реакции на значение pH продукта нейтрализации

Также была проверена зависимость степени нейтрализации серной кислоты известняком (фракция – 60 мкм) при времени перемешивания массы 6 минут от температуры реакции. Результаты опытов представлены в таблице 2.

Таблица 2. Влияние температуры реакции на pH водной вытяжки получаемого кальцитоангидрита.

№ п/п	Температура, ºС	Значения pH
1	105	5,2
2	120	5,3
3	130	5,3
4	140	5,3
5	150	5,4

Рекомендуемая температура реакции составляет 120 ºС.

Влияние избытка известняка на значение pH продукта нейтрализации

Следующим этапом исследований явилось определение зависимости значения pH от избытка известняка. Результаты данных опытов представлены в таблице 3.

Таблица 3. Влияние избытка известняка на pH водной вытяжки получаемого продукта нейтрализации.

№ п/п	Избыток известняка, % масс.	Значения pH
1	30	4,3
2	40	4,8
3	50	5,3
4	70	5,3

Рекомендуемый избыток известняка составляет 50% масс.

Рентгенометрическое определение структуры продукта нейтрализации

Образцы известняка Норильского месторождения и продукта нейтрализации серной кислоты Норильским известняком были подвергнуты рентгенофазовому анализу с помощью дифрактометра ***Shimadzu XRD-7000***, результаты которых представлены на рисунке 1 и 2 соответственно.

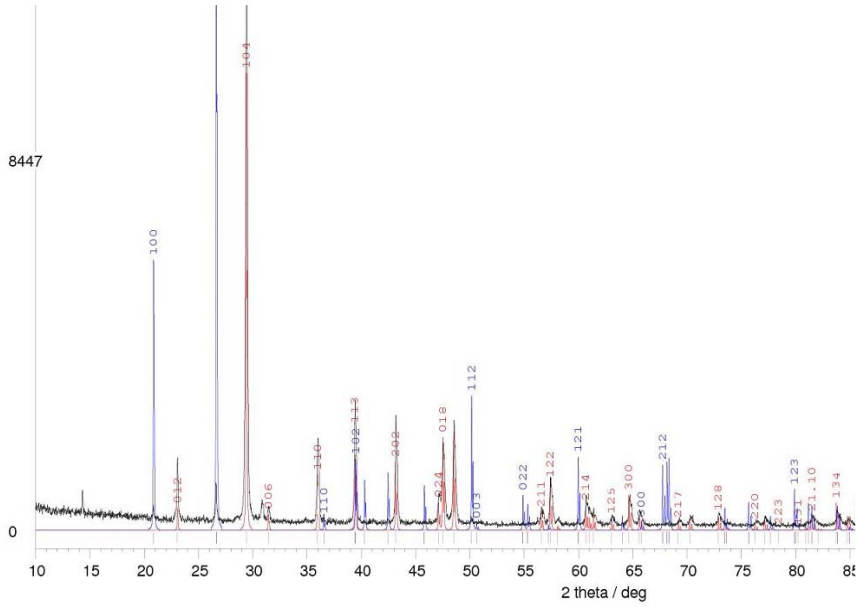


Рис. 1. Рентгенограмма известняка Норильского месторождения

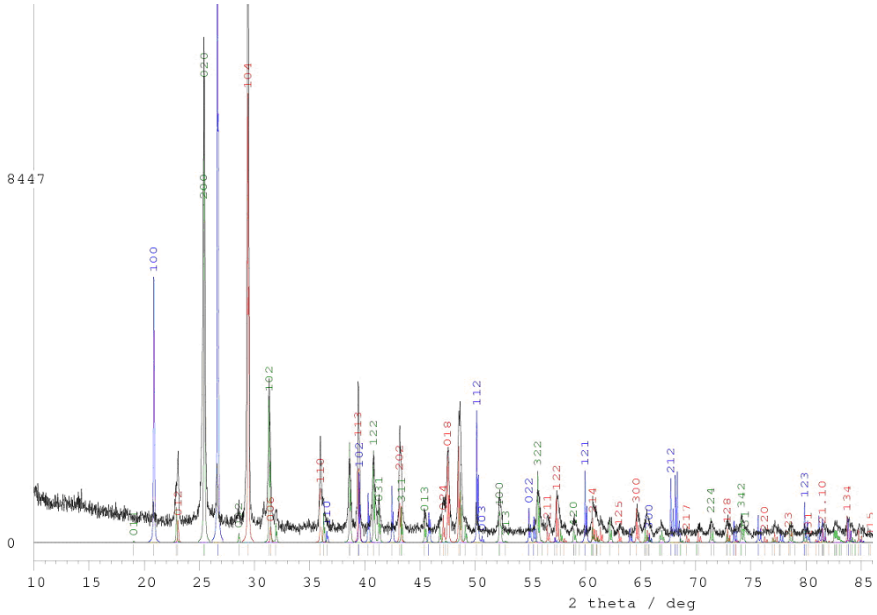


Рис. 2. Рентгенограмма продукта нейтрализации серной кислоты известняком Норильского месторождения.

Выводы

Как показали результаты РФА, в продукте нейтрализации серной кислоты известняком, который мы назвали кальцитоангидритом, присутствует безводный сульфат кальция – $CaSO_4$, а также карбонат кальция $CaCO_3$ и инертный материал (SiO_2). Полуводного и двуводного сульфата кальция не обнаружено.

Список литературы

1. http://www.textra-vita.com/technology/konserv12.php

УДК 621.928.9

Исследование эффективности пылеочистки в производстве стеклоизделий

Н.А. Чулков, Е.Д. Корф

Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

E-mail: korf-kat@mail.ru

Проведены исследования эффективности работы очистных аппаратов, сделаны выводы по работе пылеочистных аппаратов

Северский стекольный завод функционирует с 2004 года в поселке Самусь, принадлежащего ЗАТО Северск Томской области.

ЗАО «Северский стекольный завод» находится на территории ЗАТО Северск и является одним из его производственных объектов.

Основной сферой деятельности предприятия является производство различных стекольных изделий (стеклотары): банки, бутылки.

Источники загрязнения окружающей среды ЗАО «Северский стекольный завод» расположены на одной площадке в поселке Самусь.

К основным объектам ЗАО «Северский стекольный завод» относztся:

- составной цех
- цех выработки.
- складской участок.

В настоящее время на человека в процессе трудовой деятельности воздействуют различные вредные и опасные факторы. При производстве стекла основными вредными параметры микроклимата, шумовое воздействие, и воздействие вредных и опасных веществ на организм [1].

Пыль является главным вредным веществом, воздействующим на работников при производстве стекла, поэтому необходимо очищать от нее как воздух рабочей зоны так и газы, выбрасываемые в атмосферу.

Для очистки газов от пыли используется всевозможная аппаратура. Как правило, для отвода газов и для пылеудаления на предприятиях используют высокие трубы.

Современные аппараты обеспыливания газов можно разбить на четыре группы:

1. Механические обеспыливающие устройства, в которых пыль отделяется под действием силы тяжести, инерции или центробежной силы.
2. Мокрые, или гидравлические, аппараты, в которых твердые частицы улавливаются жидкостью;
3. Пористые фильтры, на которых оседают мельчайшие частицы пыли;
4. Электрофильтры, в которых частицы осаждаются за счет ионизации газа и содержащихся в нем пылинок [2].

На ЗАО «Северский стекольный завод» используется первый и третий тип аппаратов обеспыливания газов, на предприятие установлено 3 циклона типа СЦН-40, два циклона осадителя, тринадцать фильтров различных типов (рукавные, кассетные и другие), а также на участке обработки форм установлено три вытяжки [3].

Всего на ЗАО «Северский стекольный завод» установлено двадцать пылеулавливающих устройств. Вся осажденная в них пыль возвращается обратно в производственный процесс и используется в качестве сырья.

Эффективность работы пылеуловителей можно характеризовать:

- абсолютной величиной запыленности очищенного газа, выражаемой массовой концентрацией пыли;
- степенью улавливания пыли (к.п.д.) в пылеуловителе.

В связи с ужесточением требований по охране воздушного бассейна знание абсолютной величины запыленности очищенного газа даже более важно, чем определение к.п.д.

Для определения запыленности газов используют весовой метод, состоящий из следующих основных операций:

- отбора проб из запыленного газового потока его части, в которой концентрация и дисперсный состав пыли не отличаются от основного потока;
- отбора проб из очищенного газового потока его части;
- измерения объема отобранного газа и пересчета его на нормальные условия [4].

Отбор проб осуществляется путем аспирации определенного объема воздуха через аллонж с аналитическим фильтром АФА-10, задерживающий содержащиеся в воздухе частицы. Определяемая примесь из большого объема воздуха концентрируется на фильтре.

Для отбора проб воздуха используется электроаспиратор, состоящий из побудителя расхода, четырех ротаметров, батареи аккумуляторов и штатива [5].

Расчет эффективности газоочистки каждого пылеуловителя производится следующим образом:

1) Рассчитывается запыленность газового потока, до пылеуловителя по формуле 1

$$C_{до} = \frac{P_к - P_н}{\omega\tau} \text{ , мг/ м}^3 \text{ ,} \quad (1)$$

Где: $C_{до}$ - запыленность газового потока до пылеулавливающего устройства, мг/ м ^{3} ;

$P_к$ - вес аналитического фильтра после отбора проб, мг;

$P_н$ - вес аналитического фильтра до отбора проб, мг;

ω - скорость отбора воздуха за минуту, м ^{3} /мин;

τ - время отбора пробы, мин.

2) Аналогично рассчитывается запыленность газового потока, прошедшего через пылеуловитель.

3) Эффективность газоочистки определяется по формуле 2.

$$\eta = \frac{C_{до} - C_{после}}{C_{до}}, \%, \quad (2)$$

Где: $C_{до}$ - запыленность газового потока до пылеуловителя, мг/ м ^{3} ;

$C_{после}$ -запыленность газового потока, прошедшего через пылеуловитель, мг/ м ^{3} . Точность измерений с учетом ошибок взвешивания и отбора проб ± 20%.

Для исследования эффективности газоочистки был определен перечень ПГУ, в который вошли двадцать пылеулавливающих агрегатов.

Результаты исследования эффективности газоочистки пылеулавливающих установок приведены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты исследования эффективности газоочистки

Система	Линия	Наименование оборудования	Запыленность до аппарата, мг/м^3	Запыленность после аппарата, мг/м^3	Эффективность, %
1	2	3	4	5	6
АС 3	Стеклобой	Циклон СЦН-40	0,098	0,078	20
АС 4	Шихта и стеклобой	Циклон СЦН-40	0,11	0,038	65
АС 5	Шихта и стеклобой	Циклон СЦН-40	0,118	0,038	65
В 4	Вытяжка	Пума 1200	0,029	0,012	59
В 7	Вытяжка	Пума 2000	0,21	0,093	56
В 9	Вытяжка	Пума 4000	0,067	0,029	57
В 10	Вытяжка	Пума 2000	Не работал		

Продолжение таблицы 1.

1	2	3	4	5	6
ВС 1	Сода	Фильтр	0,087	0,04	54
ВС 2	Сода	Циклон осадитель 2шт, фильтр	0,056	0,02	64
ВС 5	Доломит	ЦН-15*1У-1200 КФЕ96	0,087	0,0089	90
ВС 6	Доломит	Фильтр	Не работал		
ВС 11	Песок	Фильтр	0,084	0,044	48
ВС 12	Песок	Фильтр	0,129	0,013	90
ВС 14	Песок	Фильтр	0,12	0,018	85
ВС 15	Полевой шпат	Фильтр	0,078	0,04	49
ВС 16	Полевой шпат	Фильтр	0,098	0,051	48
ВС 17	Сульфат	Фильтр	0,173	0,067	61
ВС 18	Стеклобой	Фильтр	0,156	0,004	97
ВС 19	Шихта	Фильтр	Не работал		
ВС 20	Песок	Фильтр	0,089	0,001	99

Из результатов исследований видно, что все пылеулавливающие установки находятся в рабочем состоянии, эффективность их работы достаточно высока. Невысокая эффективность работы некоторых пылеуловителей может быть обусловлена природой улавливаемой пыли, то есть некоторыми ее свойствами, а также гранулометрическим составом пыли.

Эффективность очистки в циклонах СЦН-40 на линии стеклобоя низкая по сравнению с линией шихты, что нельзя объяснить гранулометрическим составом улавливаемой пыли: шихта — много мельче стеклобоя. Такая работа циклона на линии стеклобоя может быть обусловлена технической неисправностью самого аппарата.

Сравнивая работу фильтров, установленных на предприятии можно проследить зависимость эффективности пылеочистки аппарата от вида очищаемой пыли, от фракционного состава пыли. Так средняя эффективность очистки на линии доломита составляет 90 %, на линии соды — 60 %, на линии песка — 81 %, на линии полевого шпата — 48 %.

Необходимо продолжение исследований для выявления зависимость эффективности очистки от фракционного состава пыли, от скорости движения воздуха в системе очистки, технических характеристик аппаратов и других факторов.

Список литературы:

1. Условия труда на рабочих местах ЗАО «Северский стекольный завод»/ Е.Д.Корф/Сборник трудов XVI научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Современные техника и технологии», Т3, 2010, С.104-105.
2. Торочешиков Н.С., Родионов А.И., Кельцев Н.В., Клушин В.Н. Техника защиты окружающей среды.- М.:Химия, 1981.-370 с.
3. Технология обеспечения качества окружающей среды на ЗАО «Северский стекольный завод»/ Е.Д.Корф/Сборник трудов XVI научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Современные техника и технологии», Т3, 2010, С.101-103.
4. Злобинский Б.М. Безопасность труда на производстве. Исследования и испытания. Справочное пособие.-М.:Металлургия, 1976. – 400 с.
5. Руководящий документ. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. РД 52.04.186-89. – М. : Госкомгидромет, 1991. – 694 с.

УДК 621.928.93:62-11

Влияние компоновки пылеуловителей на эффективность каскадных систем

М.И. Шиляев, В.В. Пенявский

Томский государственный архитектурно-строительный университет, г. Томск, Россия

e-mail: Maloy.pvv@yandex.ru

Проведен расчет и анализ полной эффективности улавливания пыли циклонами НИИОГАЗ, скомпонованными в каскадные системы последовательно установленных аппаратов в различных вариантах. При расчете учтено снижение фракционной эффективности пылеулавливания в последующих циклонах по отношению к первому за счет эмпирической поправки.

В [1] предложен универсальный метод расчета инерционных пылеуловителей, в основу разработки которого положено представление фракционного коэффициента проскока K_δ в виде обобщенной экспоненциальной зависимости от числа Стокса Stk вида:

$$K_\delta = \exp(-a\,\mathrm{Stk}^n),$$

где a и n – постоянные, определяющие пылеулавливающие качества аппарата; $\mathrm{Stk}=\rho_m\delta^2 V_0/(18\mu d_0)$; ρ_m и δ – плотность и диаметр частиц пыли; μ – динамическая вязкость очищаемого газа; V_0, d_0 – характерные скорость и линейный размер инерционного улавливания пыли аппаратом. Параметры a, n, V_0, d_0, а также коэффициент гидравлического сопротивления ξ для конкретных пылеуловителей занесены в банк данных универсального метода [1]. При этом принято, что подлежащие улавливанию пыли подчиняются логарифмически нормальному закону распределения частиц по размерам (ЛНР).

Полный коэффициент проскока K_Σ одиночного аппарата, параметры которого обозначены индексом 0, определяется как:

$$K_{\Sigma 0} = 1 - \eta_{\Sigma 0} = \int_0^\infty K_{\delta 0} g_0(\delta) d\delta,$$

каскада k аппаратов (рис.1):

$$K_{\Sigma k} = 1 - \eta_{\Sigma k} = \int_0^\infty K_{\delta 0} \cdot K_{\delta 1} \cdot \ldots \cdot K_{\delta k-1} g_0(\delta) d\delta, \qquad (1)$$

где $g_0(\delta)$ – нормированная весовая дифференциальная функция распределения частиц пыли по размерам, подлежащей улавливанию аппаратом, $\eta_{\Sigma 0}$ и $\eta_{\Sigma k}$ – полные эффективности улавливания пыли отдельным аппаратом и каскадом соответственно, $K_{\delta i}$ – фракционные коэффициенты проскока i-х аппаратов в каскаде, i=1,2,…,k-1.

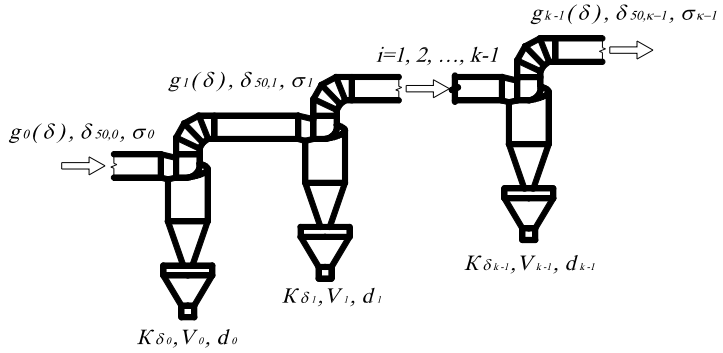


Рис.1 Схема каскада k циклонов

В [2] для многополочных пенных аппаратов (ПА) экспериментально показано, что от полки к полке, т.е. от одной ступени каскада к другой, фракционная эффективность снижается в зависимости от размеров частиц и тем сильнее, чем размер частиц меньше. Это снижение представлено зависимостью:

$$\eta_{\delta i} = \eta_{\delta 0} C_i(\delta), \qquad K_{\delta i} = 1 - \eta_{\delta i} \quad i=0,1,2,\ldots,k\text{-}1, \qquad (2)$$

где $\eta_{\delta i}$ – фракционная эффективность улавливания пыли размером δ *i*-ой полкой ПА (ступенью каскада), $\eta_{\delta 0}$ – фракционная эффективность улавливания пыли размером δ 1-ой полкой (ступенью каскада) по ходу движения газа в ПА, $C_i(\delta) \le 1$ – снижающий эффективность пылеулавливания коэффициент для i-ой полки (ступени каскада) по сравнению с 1-ой, при этом $C_0(\delta) = 1$. Коэффициенты $C_i(\delta)$ для 4-х полок (ступеней каскада) ПА представлены таблично в [2].

Приведем формулу (2) к виду, удобному для расчетов:

$$K_{\delta i} = 1 - \eta_{\delta i} = 1 - C_i(\delta) + C_i(\delta) K_{\delta 0}, \qquad i = 0,1,2,\ldots,k\text{-}1,$$

где $K_{\delta 0}$ – фракционный проскок первой ступени каскада, при котором $C_0(\delta)=1$.

Эмпирические коэффициенты $C_i(\delta)$ [2] аппроксимированы следующими функциями:

$$\left.\begin{array}{l} C_0(\delta) = 1 \\ C_1(\delta) = 0{,}2535\ln\delta + 0{,}06767 \\ C_2(\delta) = C_3(\delta) = 0{,}3633\ln\delta - 0{,}307 \end{array}\right\}. \qquad (3)$$

Графическое представление аппроксимаций приведено на рис.2.

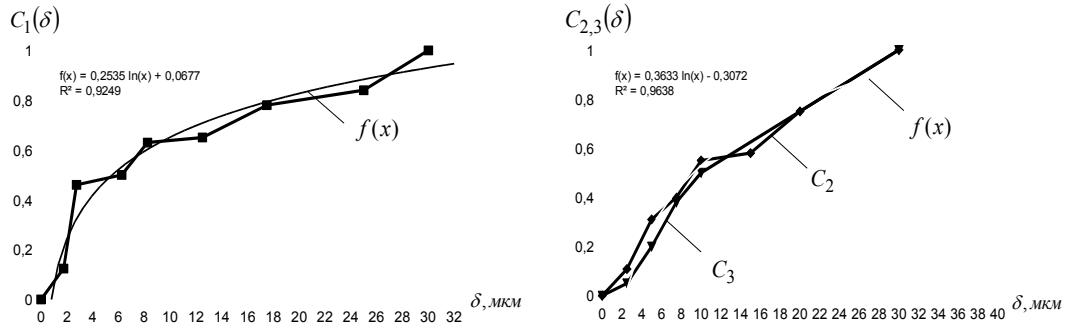


Рис.2 Аппроксимации опытных данных [2] для коэффициентов $C_i(\delta)$

Полный проскок каскада в соответствии с формулами (3) определяется зависимостью:

$$K_{\Sigma k} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} \prod_{i=0}^{k-1} \left[1 - C_i(t) + C_i(t) \cdot \exp\left(- a_i \, \mathrm{Stk}_{50,i}^{n_i} \cdot \sigma^{2 n_i t} + \frac{t^2}{2} \right) \right] dt, \qquad i = 0,1,2,\ldots,k\text{-}1, \qquad (4)$$

где $t = \lg\frac{\delta}{\delta_{50,0}} \Big/ \lg\sigma_0$, $\mathrm{Stk}_{50,i} = \frac{\rho_m \delta_{50,0}^2 V_i}{18 \mu d_i}$, V_i и d_i – характерные скорость и линейный размер инерционного улавливания пыли *i*-го по ходу установки аппарата в каскаде.

Авторами настоящей работы для одиночных циклонов и каскадов из двух одиночных и разнотипных циклонов НИИОГАЗ найдены экспериментальные результаты [3], которые могут быть сопоставлены с результатами расчетов по формулам (1) и (4) и быть проверкой работоспособности данного метода. Введение в расчеты понижающих эффективность коэффициентов $C_i(\delta)$ для каскадов циклонов согласно (3) позволит установить их пригодность для сухих пылеуловителей вообще и скорректировать универсальный метод расчета для комплекса аппаратов в каскадной компоновке.

При использовании для расчетов формулы (1) (C_i=1) для каскадных систем порядок установки пылеуловителей не имеет значения.

Как видно из таблицы, расчет по формулам (1) и (4) для одиночных аппаратов (k=0, C_0=1) хорошо согласуется с опытными данными (см. табл., поз.10,11,12). При k=1 (в каскаде два аппарата) расчетное значение полного проскока каскада $K_{\Sigma k}$ по формуле (1) выше опытного

значения, а расчетные значения $K_{\Sigma k}$ при учете C_i<1 по формуле (4) имеет незначительное отличие от опытных данных. Причиной снижения фракционной эффективности от ступени к ступени в каскаде, по-видимому, является влияние турбулентной диффузии мелких частиц в потоке на их осаждение в аппарате, доля которых на последующих ступенях становится все значительнее.

С учетом данного явления порядок установки циклонов НИИОГАЗ в каскадных системах также будет влиять на полную эффективность улавливания пыли в целом. При проведении расчетов было замечено, что при установке в качестве начальных ступеней менее эффективных аппаратов полная эффективность улавливания пыли будет выше, чем при установке на первое место более эффективных аппаратов (см. табл., поз.4,8). Также, если каскадная система состоит только из высокоэффективных аппаратов, то полная эффективность менее подвержена перестановке циклонов местами (см. табл., поз.6,7).

Таблица 1. Результаты расчетов эффективностей различных компоновок каскадных систем циклонов НИИОГАЗ

№	Компоновка циклонов	Расчет η_Σ,%		Опытные данные [3], $\eta_{\Sigma оп}$,%	Отличие расчета и опыта $\Delta = \frac{\eta_\Sigma - \eta_{\Sigma оп}}{\eta_{\Sigma оп}}$,%	
		C_i<1	C_i=1		C_i<1	C_i=1
1	ЦН-15У+ЦН-15У	88,79	93,2	87,4	1,59	6,64
2	ЦН-15У- 3 шт.	90,90	96,5	-		
3	ЦН-15У- 4 шт.	91,80	97,95	-		
4	ЦН-15У+ЦН-24	87,81	91,14	-		
5	ЦН-24+ЦН-15У	84,98	91,14	86,3	-1,53	5,61
6	СДК-ЦН-33+СК-ЦН-34	96,82	98,32	-		
7	СК-ЦН-34+СДК-ЦН-33	97,10	98,32	-		
8	ЦН-15+СК-ЦН-34	90,87	97,72	-		
9	СК-ЦН-34+ЦН-15	96,71	97,72	-		
10	ЦН-24		76,2	73,5		3,67
11	ЦН-15У		83,1	81,7		1,71
12	СК-ЦН-34		94,1	96		-1,98

В таблице приведены результаты расчетов со следующими исходными данными: V_i=4,5 м/с, d_i=0,6 м, ρ_m=2650 кг/м^3, σ=3,2, μ=18,1·10^{-6}Па·с, ρ=1,2 кг/м^3, δ_{50}=18 мкм.

Список литературы:

1. Шиляев, М.И. Методы расчета пылеуловителей / М.И. Шиляев, А.М. Шиляев, Е.П. Грищенко. – Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2006. – 385 с.
2. Русанов, А.А. Очистка дымовых газов в промышленной энергетике / А.А. Русанов, И.И. Урбах, А.П. Анастасиади. – М.: Энергия, 1969. – 456 с.
3. Карпухович, Д.Т. Последовательная установка циклонов/ Д.Т. Карпухович, Б.К. Смирнов, А.М. Белевицкий // Водоснабжение и санитарная техника. – 1975. – №6. – С.23-24.

УДК 628.3

Проблема утилизации осадков сточных вод на ОАО «Селенгинский ЦКК»

О.М. Юдина, О.Б. Назаренко
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия
E-mail: obnaz@mail.ru

Рассмотрен состав осадков сточных вод предприятия ОАО «Селенгинский ЦКК», проанализированы методы переработки осадков сточных вод и предложены пути утилизации осадков, наиболее приемлемые для реализации на данном предприятии: компостирование твердых отходов на сельскохозяйственные нужды, сжигание осадка, сжигание активного ила в котлах СРК, использование активного ила в композиции картона и мешочной бумаги.

Основным видом деятельности ОАО «Селенгинский ЦКК» является производство тарного картона из низкокачественной древесины. Загрязнителями сточных вод целлюлозно-бумажной промышленности являются взвешенные вещества в виде целлюлозного волокна, также лигнин, смоляные и жирные кислоты, минеральные и органические растворенные вещества в виде сероводорода H_2S, метилмеркаптана CH_3SH, диметилдисульфида $(CH_3)_2S_2$, диметилсульфида $(CH_3)_2S$, скипидара, метанола [1]. Сброс сточной воды в водоемы пагубно влияет на качество воды и на экосистему водоема в целом. На комбинате ОАО «Селенгинский ЦКК» был осуществлен проект замкнутого водооборота и с 3 августа 1990 года прекращен сброс производственных сточных вод в р. Селенгу. Внедрение замкнутых систем водооборота исключает попадание загрязнений со сточными водами в окружающую среду и практически полному прекращению потребления свежей воды на технические нужды.

Для очистки промышленных стоков комбината предусмотрена трехступенчатая очистка: 1 ступень – биологическая очистка; 2 ступень – химическая очистка; 3 ступень – безреагентная нейтрализация и доочистка в прудах. Для этого пришлось провести разделение стоков на химически загрязненные и термически, что позволило резко снизить забор воды и количество стоков на комплексе очистных сооружений (КОС).

Работа очистных сооружений на ОАО «Селенгинский ЦКК» при замкнутом водообороте предусмотрена в двух режимах:

I режим – биологическая очистка, химическая очистка, безреагентная нейтрализация и доочистка в прудах;

II режим – биологическая очистка, механическая очистка в радиальных отстойниках, безреагентная нейтрализация и доочистка в прудах.

После трехступенчатой системы очистки сточных вод предприятия образуются три вида отходов: избыточный активный ил, шлам-лигнин, осадок нейтрализации. Выполненный расчет нормативов образования отходов КОС показал, что негативного воздействия на окружающую среду не происходит. Образующиеся на очистных сооружениях осадки удаляются и складируются в накопителях. Избыточный активный ил и шлам-лигнин накапливаются в шламонакопителях, осадок нейтрализации – в осадконакопителях. Данные о количестве образующегося осадка за период 2005–2010 гг. представлены в таблице.

Таблица 1. Количество образующегося осадка на КОС

Комплекс очистных сооружений	2005 г.	2006 г.	2007 г.	2008 г	2009 г.	2010 г.
Шлам–лигнин (тонн в год)	419,1	308,5	278,9	351	329,2	462,2
Избыточный активный ил (тонн в год)	59,7	84,8	60,4	81,5	97,7	111,5
Осадок отстойников нейтрализации (тонн в год)	55,0	53,9	33,7	26,56	32,6	38,7

Несмотря на то, что площади и объемы, занимаемые накопителями, велики, со временем можно ожидать их переполнения, что приведет к проблеме размещения образующегося осадка сточных вод и к загрязнению окружающей среды. Проведенный анализ работы очистных сооружений предприятия ОАО «Селенгинский ЦКК» показал, что осадконакопитель заполнен осадком на 68 %, шламонакопитель – на 27 %. Единственным правильным выходом из создавшегося положения является повсеместное исключение подобных накопителей в качестве постоянно действующих сооружений. Отходы, наносящие урон экономике и экологии, должны рассматриваться как вторичные сырьевые ресурсы, необходимые для дальнейшего экономического развития.

В данной работе рассмотрены возможные пути эффективного решения проблемы утилизации осадков на ОАО «Селенгинский ЦКК».

На основе анализа литературных данных [2, 3] и результатов исследований, проводимых на предприятии [4], в работе предлагаются следующие направления утилизации осадков сточных вод: компостирование твердых отходов на сельскохозяйственные нужды, сжигание осадка,

сжигание активного ила в котлах СРК, использование активного ила в композиции картона и мешочной бумаги. Блок-схема рекомендуемых процессов представлена на рисунке. Осадки сточных вод могут быть использованы как в качестве возможных вторичных ресурсов в собственном производстве, так и в качестве товарных продуктов.

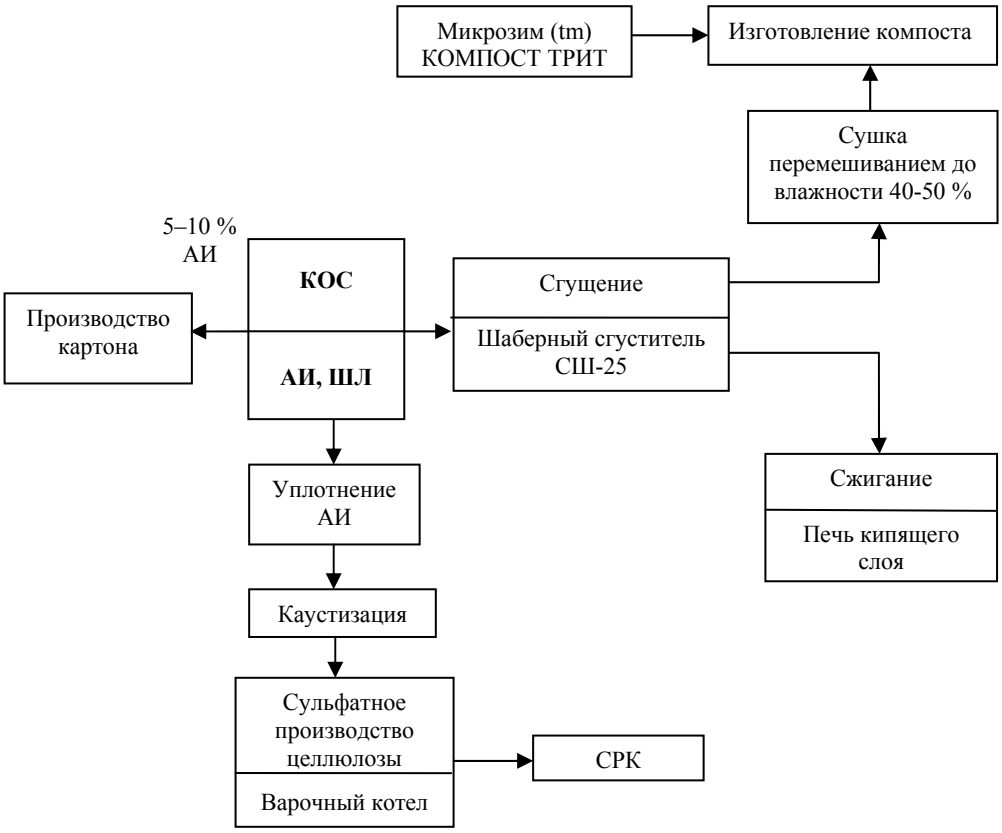


Рис. 1. Блок-схема рекомендуемых процессов при утилизации осадков

1. Использование осадка (шлам-лигнин и активный ил) в качестве составляющих компостов под сельскохозяйственные культуры, внесение в подготовленную органическую массу биопрепарата Микрозим (tm) КОМПОСТ ТРИТ обеспечит при компостировании указанных отходов значительные динамические и гигиенические преимущества.
2. Сжигание осадка (шлам-лигнин и активный ил). Для обезвоживания осадка карт осадконакопителя также предлагается использовать технологию вымораживания. За счет замерзания и кристаллизации воды идет процесс разрыва оболочки и потери связанной влаги, а влажность обезвоженного продукта составляет всего 15…20 %. Сжигание высушенного осадка рекомендуется производить в котле – утилизаторе.
3. Сжигание активного ила в содорегенерационных котлах (СРК). Процесс утилизации избыточного активного биоила основан на использовании его в производстве. Введение в систему варки белого щелока, содержащего продукты гидролиза активного ила, приводит к повышению выхода целлюлозы на 1,5–2,0 %, при этом улучшаются её механические показатели. Полученные черные щелока характеризуются повышенными теплофизическими характеристиками и более высоким съемом с них сульфатного мыла, что положительно влияет на процесс их дальнейшей переработки. Кроме того, недостатком сжигания отходов в корьевом котле является образование диоксинов и фуранов. При использовании предложенной технологии процесс утилизации становится прибыльным (эквивалент прибыли составляет 4,5 Гкал на 1 тонну а.с.в. биоила) и экологически чистым (выбросы диоксинов из СРК соответствуют норме).
4. Использование активного ила в композиции картона и мешочной бумаги: добавка активного ила может составлять до 5…10 % от бумажной массы. Остальную часть активного ила можно утилизировать другими предложенными способами. Такое решение не только позволит сэкономить древесину и волокно, но и улучшит физико-механические показатели картона, повышая его прочность и снижая гигроскопичность.

Экономическая эффективность рассчитана для следующих способов: сжигание шлам-лигнина и использование активного ила в композиции картона. Экономический эффект от использования активного ила в количестве 5 % в композиции картона составляет более 900 руб. на 1 т утилизированного активного ила. Экономический эффект при сжигании осадка сточных вод составляет 11100 руб. в месяц, при этом экономится 12 т угля. Метод компостирования в настоящее время экономически нецелесообразен, так как требует дополнительных затрат на приобретение биопрепарата, размещение твердых отходов и их обработку. Метод сжигания активного ила в СРК пока находится в стадии разработки, необходимо проведение дополнительных исследований по технологии процесса возврата активного ила в производственный процесс.

В результате внедрения указанных мероприятий и решения проблемы утилизации осадков сточных вод очистные сооружения превратятся в безотходные самоокупаемые, и даже рентабельные объекты, обеспечивающие получение ценных сырьевых ресурсов и продуктов для народного хозяйства.

Список литературы

1. Алферова А.А., Алексеев А.А. Химическая очистка сточных вод в производстве сульфатной целлюлозы. – М: Лесная промышленность, 1968. – 105 с.
2. Евилович А.З. Утилизация осадков сточных вод. – М: Стройиздат, 1989. – 158 с.
3. Охрана производственных, сточных вод и утилизация осадков / Под редакцией В.Н. Соколова. – М.: Стройиздат, 1992. – 365 с.
4. Дубенко Н.А. Проект утилизации осадков сточных вод: Отчет по НИР. – Селенгинский ЦКК: 2008. – 19 с.

908:621.3

История электроэнергетики г. Читы

Л.В. Печенюк, П.Ю. Фарафонов
МОУ СОШ № 1, г. Чита, Россия
E-mail: pechenyuk-lv@rumbler.ru

Кратко рассмотрена история и основные этапы становления и развития электроэнергетики г. Читы начиная с конца XIX века по настоящее время.

Прошедший 2010 год ознаменовался для читинских энергетиков двумя знаменательными датами: 90 лет плану ГОЭЛРО, положившему начало всей отечественной энергетике и 50 лет создания «Читаэнерго».

Нам, сегодняшним жителям г. Читы, привыкшим, к льющемуся из окон наших домов свету, к освещению улиц, парков, зданий, трудно представить, что во второй половине XIX века, наш город был погружен во тьму. Освещение читинских улиц было давней проблемой города. И только к началу XX века городские власти начали понимать необходимость ее решения. При этом прогресс городского уличного освещения шел в направлении развития и внедрения электрического освещения.

Новый вид энергии – электричество, на рубеже XIX – XX веков веско заявило о себе в Европе, шагнуло через границу Российского государства и постепенно стало вытеснять керосиновое освещение крупных административных и торгово-промышленных центров. Не остался в стороне и наш город.

Можно сказать, что энергетическая летопись Забайкальского края началась с 1897 года, когда в Читинском ремесленном училище имени императора Николая II (по улице Амурской) была пущена в ход установка электрического освещения, обеспечивающая светом помещение училища, прилегающую к нему территорию и здание Общественного собрания. После этого небольшие отдельные электростанции построили у себя купец первой гильдии Дмитрий Феоктистович Игнатьев, Черновские угольные копи, железнодорожная станция Чита и Главные железнодорожные мастерские. Естественно, что мощность этих электростанций была незначительной и не могла обеспечить растущие потребности города в электроэнергии.

После долгих споров было принято решение о необходимости строительства в Чите электростанции, способной вырабатывать и поставлять электроэнергию для нужд города и его жителей.

Такая электростанция мощностью 155 кВт была построена в 1906 году иркутским купцом первой гильдии Николаем Петровичем Поляковым. К 1909 году мощность станции достигла 485 кВт. В это же время были предприняты попытки использования электроэнергии в промышленности. Так, на Черновских копях (рудник Торм) имелась установка мощностью 90 кВт. Она снабжала электроэнергией подъемники, электродвигатели мастерских, освещала шахту.

Общая мощность забайкальских электростанций в дореволюционное время немногим превышала 1000 кВт. В основном это были небольшие предприятия на иностранном оборудовании. Так в Чите из семи генераторов пять были немецкими, один – английский и только один генератор был отечественным.

Станция Н.П. Полякова, подарившая городу первый электрический свет, прекратила свое существование в 1930 году. Символично, что ныне в здании первой электростанции находится предприятие «Читинские городские электрические сети»

С приходом Советской власти началась новая страница в развитии энергетики. В 1925 году было принято решение о строительстве в Чите новой электростанции, и 7 ноября 1930 года заработала Черновская электростанция (ЧЭС). После ввода в эксплуатацию всех агрегатов установленная мощность электростанции составила 5150 кВт. ЧЭС была первой турбинной и самой крупной электростанцией в крае на тот момент. Предприятие являлось первой электростанцией в стране, построенной на вечной мерзлоте. Прослужив три с половиной десятилетия, станция, в связи с пуском в сентябре 1965 года Читинской ГРЭС (ныне ТЭЦ-1), была демонтирована Здание и подсобные помещения были использованы для организации производственно-ремонтного предприятия (ПРП) в 1966 году.

В 30-е годы, перед Великой Отечественной войной в нашем городе появлялись новые предприятия, и потребность в электроэнергии увеличивалась, поэтому было принято решение о строительстве новой теплоэлектроцентрали (ТЭЦ). Место для строительства новой электростанции было выбрано в месте слияния рек Читы и Ингоды, в районах Сеннуха и Хитрушка. 29 октября 1936 года Правительственная комиссия приняла новую ТЭЦ (ныне ТЭЦ-2) в эксплуатацию. По тем временам ТЭЦ была современным предприятием, где все оборудование – котлы, турбины, генераторы, измерительные приборы – было произведено на отечественных заводах.

В 1943 году был создан Читинский энергокомбинат, объединивший Черновскую электростанцию, ТЭЦ-2 и электросети. Главная понизительная подстанция находилась на Чите-I, имела четыре трансформатора общей мощностью 14800 кВА. Общая длина воздушных линий 6 кВ составляла свыше 130 км.

Однако к концу 50-х годов существовавшая энергетическая база Читинской области все же находилась на низком уровне и не могла обеспечить всех потребностей промышленности Забайкалья в годы нового мощного индустриального подъема. Требовался ввод новых мощностей.

В 1958 году вблизи г. Читы, на берегу озера Кенон началось строительство Читинской ГРЭС (ныне ТЭЦ-1) мощностью 300 000 кВт. 30 сентября 1965 года станция дала первый ток. Были созданы условия для устойчивого роста всей промышленности и транспорта нашего города.

В рамках начавшегося в середине XX века создания единой энергосистемы страны в 1960 году было создано управление «Читаэнерго», основной задачей которого производство, распределение, сбыт энергии и наращивание энергетических мощностей. В ходе экономических реформ в стране в 1993 производственное объединение «Читаэнерго» было преобразовано открытое акционерное общество (ОАО) «Читаэнерго». В настоящее время в результате реформирования отечественной электроэнергетики на базе ОАО «Читаэнерго» были созданы и успешно функционируют ряд самостоятельных организаций, крупнейшими из которых являются: ОАО «ТГК-14» и филиал ОАО «МРСК Сибири».

Сегодня наш город расстраивается, возводятся новые красивые здания, жилые комплексы, микрорайоны. Потребность людей в электроэнергии возрастает и энергетики трудятся, обеспечивая жителей нашего города надежным и качественным электроснабжением.

Список литературы:

1. Энергия поиска. – Чита: «Стиль». 2003. – 152 с. – ил.
2. Энергия Забайкалья и Бурятии. – Изд. ОАО «ТГК-14». – №11 (11) – 2010.
3. www.tgk-14.com [электронный ресурс].
4. www.chiten.ru [электронный ресурс].

УДК 572.026+504.75

Экология человека в контексте высоких технологий

Е.А. Жукова
Томский государственный педагогический университет, г. Томск, Россия
E-mail: km2_12@rambler.ru

Обосновывается, что в современном обществе мощь высоких технологий (Hi-Tech) и высоких социогуманитарных технологий (Hi-Hume) требует специальной оценки их экологических воздействий на человека. Человек начинает рассматриваться как природно-техническая (в Hi-Tech) или социотехническая система (в Hi-Hume), а тело и сознание человека как управляемые технологические объекты. Оценка экологической безопасности, исходя из «принципа предосторожности», должна осуществляться как в отношении Hi-Tech, так и Hi-Hume. Раскрыты трудности их экологической экспертизы: недостаток научных данных, научная и технологическая отсталость специалистов, производящих оценку экологической надежности Hi-Tech и завуалированность действий Hi-Hume.

В настоящее время множество различных исследований посвящено тем или иных аспектам высоких технологий, однако при этом недостаточно внимания обращается на экологические аспекты высоких технологий, и в первую очередь, когда речь идет об экологии человека. Анализ нелинейной динамики взаимодействий высоких технологий, науки и общества [1], проведенный мною на основе разработанного И.В. Мелик-Гайказян для изучения нелинейной динамики сложных социокультурных систем информационно-синергетического подхода [2], позволил установить, что сегодня можно говорить о формировании социокультурного феномена Hi-Tech (от англ. high technology – высокие технологии). Базовыми для данного феномена стали нано-, био- и информационные технологии (IT), причем системообразующими являются IT. Под высокими технологиями (Hi-Tech) я понимаю условное обозначение наукоемких, многофункциональных, многоцелевых технологий, способных вызвать цепную реакцию нововведений и инициирующих процессы самоорганизации социокультурных систем. *Способность вызывать эффекты самоорганизации социокультурных систем принципиально отличает Hi-Tech* от других новых технологий.

Однако сами по себе высокие технологии не смогли бы оказывать такого быстрого и значительного воздействия на социокультурные системы и человека и не могли бы функционировать как самоподдерживающаяся сеть [3], если бы не действие еще одного фактора – высоких социогуманитарных технологий – Hi-Hume [4, 5]. К числу последних я отношу ряд современных маркетинговых и менеджерских технологий, сопровождающих Hi-Tech-производство (реклама, PR, управление персоналом и знаниями и др.). Предназначенные для целенаправленного изменения как индивидуального, так и массового сознания данные технологии занимают особое место в ряду манипулятивных технологий в виду их тесной интеграции и конвергенции с IT, что значительно усиливает возможности скрытой манипуляции. Именно Hi-Hume организуют сложную сеть взаимоотношений между производителями и потребителями хайтека.

Начиная с Нового времени в культуре европейской техногенной цивилизации складывались и постепенно стали преобладающими идеалы силы и могущества человека, господства его над объектами, обстоятельствами, социальной и природной средой. Человек стал пониматься как творец своей судьбы. Верилось, что знания, добытые наукой и преобразованные в технологии, дадут возможность справиться с большинством появляющихся проблем. Высокие технологии, с одной стороны, укрепляют эти идеалы, позволяя управлять микро- и макрообъектами, подкрепляя веру человека в собственное могущество, в способности преобразования не только природы, но и *самого себя*. А с другой стороны, данные технологии эти же идеалы и разрушают, так как демонстрируют хрупкость и незащищенность человека перед лицом им же порожденной мощи.

Завышенные оценки возможностей техники, технологий, науки и научно-технического прогресса в целом в решении различных проблем наряду с преувеличенными представлениями о могуществе человека продемонстрировали глобальные кризисы XX в., и в первую очередь – экологический. Время показало, что ни механизация, ни автоматизация, ни роботизация, ни компьютеризация, ни Hi-Tech не только не решали имеющиеся социальные, экологические и моральные проблемы, а часто создавали новые или усугубляли имеющиеся.

Во второй половине XX в. стало крепнуть желание сохранить природу и спасти ее от самих людей, которое оформилось в экологическое движение. Причем, как подчеркивает П.Д. Тищенко, диагноз этой новой экзистенциальной угрозы был осуществлен самой наукой, и

наукой же создаются способы спасения от этой новой угрозы в виде средств контроля окружающей среды и ее защиты, производства «натуральных» продуктов. Наука стала «саморефлексивной», «самоподозрительной» и «самоограничивающей», а общество – «обществом риска» (У. Бек) [6, с. 63].

В отличие от предыдущих этапов развития общества эпоху Hi-Tech можно охарактеризовать как время *ускоряющегося роста* масштабов потенциального воздействия технологий на окружающую среду, социокультурную сферу и человека. Известно, что высокие технологии меняют нашу среду обитания, образ и ритм жизни, и даже наши биологические характеристики. Высокие технологии, как никакие другие технологии ранее, способны нарушать механизмы саморегуляции объектов биосферы и естественный баланс природообразующих геосфер. Они также оказывают непосредственное воздействие на человека, делая его самого объектом своих манипуляций, все больше «приближаясь» к нему [7], непосредственно воздействуя на его биосоциальную сущность и духовные основания, существенно меняя их. Сам человек начинает рассматриваться как природно-техническая (например, в генной инженерии) или социотехническая система (в Hi-Hume), а тело и сознание человека как технологические объекты, которыми можно управлять, задавая определенную программу действий. Мощь Hi-Hume насколько велика, что они способны не только «перепрограммировать» сознание человека, но и разрушить его механизмы саморегуляции [8].

Сегодня не вызывает сомнений, что оценка экологической безопасности высокотехнологичных продуктов и производств, исходя из «принципа предосторожности», обязательно должна осуществляться еще на стадии проектирования технологического процесса. Необходимо оценивать экологическую безопасность и на стадии утилизации высокотехнологичных продуктов. Думается, что одной из основных в XXI в. будет проблема безопасной утилизации данных продуктов из-за их быстрого морального старения.

Оценка экологической безопасности хайтека связана с рядом трудностей. Во многом они вызваны тем, что в создании Hi-Tech-продуктов используются новейшие фундаментальные и прикладные междисциплинарные научные знания, которые еще во многом не являются общепризнанными и проверенными. Это не позволяет точно спрогнозировать нештатные ситуации, оценить уровень опасности технологии и создает значительные трудности по осуществлению стратегического планирования, текущего контроля и управления. В качестве примера можно привести оценку влияния трансгенных организмов на здоровье человека при их употреблении в пищу. Данное влияние до сих пор плохо изучено, поэтому неясны его отдаленные последствия. Также до сих пор нет ясности в том, насколько опасны или безопасны новые наноматериалы или технологии сотовой связи. Не только в обществе, но и в среде ученых бытует, а часто и специально культивируется, множество мифов в отношении этих проблем, что вызвано отсутствием достоверных данных, позволяющих оценить эффекты от данных воздействий. В результате в общественном сознании и СМИ складываются весьма противоречивые оценки экологической безопасности Hi-Tech, основанные по большей части не на накопленном опыте и совокупности научных данных, а на эмоциях обывателей.

Сложности проявляются и в том, что налицо научная и технологическая отсталость специалистов, производящих оценку экологической надежности Hi-Tech и продуктов, созданных на их основе. Это связано с тем, что чем выше уровень научной технологии, примененной в таком продукте, тем сложнее анализ и тем труднее его осуществить. Анализ и оценка требуют разработки специальных методов, что само по себе является новой научной проблемой. При этом все это требует огромных финансовых средств, солидных затрат времени и развитой законодательной базы, что под силу в основном только богатым постиндустриальным странам, имеющим соответствующих высококвалифицированных специалистов.

Тем не менее, экологическая и социально-гуманитарная экспертиза научно-технических проектов, в том числе в сфере хайтека, осуществляется как самими учеными, так и представителями общественности, а экологичность и безопасность новых технологий закрепляются в качестве новых социальных норм. Но если экологический поворот в оценке научных достижений и технологий в сфере Hi-Tech с большей или меньшей степенью успешности происходит повсеместно, то проблематичной остается экологическая оценка Hi-Hume ввиду того, что они воздействуют на сознание людей, и это воздействие не очевидно и трудно вычленяемо. К сожалению, пока еще в обществе почти нет понимания того, что необходимо вводить экологический контроль и за использованием высоких социогуманитарных технологий – Hi-Hume.

Специфика профессий, использущих Hi-Hume (реклама, PR, управление персоналом и знаниями и др.), в том, что они позволяют эффективно управлять людьми, применяя

манипулятивные технологии. Чем выше профессионализм специалиста в сфере Hi-Hume, тем труднее распознать манипулятивные воздействия. Технологии манипуляции существуют давно, но они никогда не принимали массовый характер, никогда ранее у профессионалов, владеющих подобными технологиями, не было столь мощных вспомогательных средств как IT. Эти люди имеют огромные возможности, мощное «интеллектуальное оружие», по сути, являясь «волками в овечьей шкуре» в «овечьем стаде». Между тем не ясно, какие нормы и ценности должны выступать регуляторами этой деятельности? И кто сможет ее проконтролировать? Как проводить гуманитарную и экологическую экспертизу подобных технологий? Я пока не могу дать однозначных ответов на эти вопросы, но я уверена, что необходимо ставить эти вопросы и вскрывать проблему. Вопрос, заданный по поводу биотехнологий, становится особо актуальным в отношении Hi-Hume: «…Люди могут контролировать природу, но кто (если Бог действительно "мертв") может контролировать самих "контролеров"?» [6, с. 61–62].

Справедливости ради замечу, что выявление воздействий конкретных Hi-Hume и их оценка чаще всего крайне затруднены. Они могут быть осуществлены только высококомпетентными специалистами в сфере Hi-Hume. Это связано с тем, что Hi-Hume остаются высокоэффективными только до тех пор, пока их воздействия не распознаны, поэтому специально применяются меры для их маскировки. При этом Hi-Hume обладают высокой скоростью изменения и ротации. Особенность Hi-Hume также в том, что они часто ориентированы на иррациональные, эмоциональные и подсознательные уровни человеческой психики, что также затрудняет их выявление и оценку.

Эксперты, осуществляющие экологическую и гуманитарную экспертизу Hi-Tech и Hi-Hume нуждаются не только в узкоспециализированных знаниях. Они должны понимать природу и смысл техники и технологий, в том числе социогуманитарных технологий, а, главное, понимать механизмы их воздействия на общество, культуру и человека и уметь критически их осмысливать, не руководствуясь эмоциями. Мной выявлено, что механизмы воздействия Hi-Tech и Hi-Hume на социокультурную действительность и человека определяются их информационной природой. Но эти воздействия далеко не так очевидны, как кажется на первый взгляд [1, 5, 8]. Мы имеем дело со сложными самоорганизующимися системами, к числу которых относятся и культура, и общество, и их подсистемы, и сам человек. Эти системы требуют для своего изучения адекватной методологии, которая в настоящее время еще недостаточно разработана.

В заключение, отмечу еще один важный аспект. И знание о механизмах взаимодействий высоких технологий, науки и общества, и сами по себе Hi-Tech и Hi-Hume ценностно нейтральны. Но они могут использоваться с разными целями. В виду стремительно нарастающей мощи высоких технологий их экологическая оценка оказывается тесно связанной с их гуманитарной экспертизой. Безудержную технологическую гонку и проективно-конструктивную установку современной цивилизации могут уравновесить традиционные ценности культуры [9, с. 15], но, я полагаю, что только отчасти и этого уже недостаточно. Сегодня формируются новые ценности и нормы, в которых отражается сложная интеграция культурных новаций и традиций, учитывающая стремление сохранить нашу среду обитания, и роль современной научной и философской элиты должна заключаться в том, чтобы эти ценности эксплицировать и сделать их активными.

Список литературы:

1. Жукова Е.А. Hi-Tech: феномен, функции, формы / Под ред. И.В. Мелик-Гайказян. – Томск: Изд-во ТГПУ, 2007. (Серия: Системы и модели: границы интерпретаций).
2. Миф, мечта, реальность: постнеклассические измерения пространства культуры / И.В. Мелик-Гайказян и др.; Под ред. И.В. Мелик-Гайказян. – М.: Научный мир, 2005.
3. Жукова Е.А. Проблема классификации высоких технологий // Вестник Томского государственного педагогического университета. – 2008. – Вып. 1 (75).
4. Жукова Е. Профессионализм в сфере Hi-Hume // Высшее образование в России. – 2007. – № 8.
5. Жукова Е.А. Человек в плену Hi-Hume // Вестник Томского государственного педагогического университета. – 2007. – Вып. 11 (74). – Серия: Гуманитарные науки.
6. Тищенко П. Геномика: новый тип науки в новой культурной ситуации // Biomediale: Современное общество и геномная культура / Сост. и общ. ред. Д. Булатова. – Калининград: КФ ГЦСИ, ФГУИПП «Янтарный сказ», 2004. – С. 60–72.
7. Юдин Б. Этическое измерение современной науки // Отечественные записки. – 2002. – № 7(8). – http://www.strana-oz.ru/css/oz.css
8. Жукова Е. Вызов высоких технологий содержанию образования // Высшее образование в России. – 2008. – № 9.
9. Лекторский В. Умер ли человек? // Человек. – 2004. – № 4.

Секция 5 Медико-биологические аспекты техногенного влияния энергетики

Методы восстановления голоса и речи у больных с острыми и хроническими ларингитами

В.И. Мухина, И.Н. Сафронова
Городской фониатрический кабинет МЛПМУ поликлиника № 10, г. Томск
e-mail: valentinamukhina@sibmail.ru

К настоящему времени сложилось определенное понимание проблемы лечения больных с острыми и хроническими ларингитами, позволяющее находить новые методологические подходы к восстановлению звучной речи и голоса и решать вопросы социальной реабилитации больных.

Лечение пациентов острыми и хроническими ларингитами является комплексным и включает медикаментозное лечение (противовоспалительная, десенсибилизирующая, антибактериальная терапия, витаминотерапия, посиндромная терапия и др.), соблюдение голосового режима, фонопедические занятия, физиотерапию, рациональную психотерапию [2,3,10] фонопедическое лечение [6,9] и физиотерапевтическое [8,11] хирургическое [4]. При отсутствии признаков дыхательной недостаточности и аспирационного синдрома максимально используются возможности консервативной терапии.

Среди физических методов лечения традиционно используют диадинамотерапию или амплипульстерапию, лекарственный электрофорез прозерина, низкочастотную магнитотерапию, местную дарсонвализацию [11], а так же эндоларингеальную электростимуляцию и эндоларингеальную флюктуоризацию по С. Г. Романенко. Физические методы лечения, такие как ДДТ и амплипульстерапия, просты в исполнении и не доставляют пациенту неприятных ощущений, однако они не обладают в полной мере необходимыми лечебными эффектами

В 60-е годы 20-го века разработан и до настоящего времени используется метод импульсной электротерапии, сочетающийся с фонопедическими упражнениями - нейромышечная электрофонопедическая стимуляция (НМЭФС). Она позволяет избирательно воздействовать на пораженные структуры нервно-мышечного аппарата гортани. Нейрофизиологической основой сочетания низкочастотной импульсной электротерапии с фонопедией служит феномен одномоментной центральной (за счет фонопедических упражнений) и периферической (за счет импульсных токов) стимуляции.

Махоткина Н.Н. предлагает метод нейромышечной электрофонопедической стимуляции [8]. В основе этого метода лежит сочетанное воздействие на нервно-мышечный аппарат гортани фонопедических упражнений и треугольных импульсов с медленно нарастающим передним фронтом, которые избирательно стимулируют внутренние мышцы гортани. Данный метод реализует возможность одновременной периферической (за счет импульса током) и центральной (с помощью фонационного упражнения) стимуляции нервно-мышечного аппарата гортани.

В последние годы широкое распространение получили ирригационно-ингаляционные способы терапии в реабилитации больных с заболеваниями органов дыхания, лор-органов: ингаляции, ополаскивания, орошения зева.

Ингаляционная терапия - метод лечения, основанный на проникновение лекарственных веществ в виде аэрозоля в дыхательные пути человека с помощью прибора, называемых ингаляторами. В клинической оториноларингологии аэрозоли могут использоваться как в качестве монотерапии, так и в комбинации с другими терапевтическими методами. В настоящее время используются три основные типа ингаляторов: паровые, ультразвуковые и компрессорные. Однако недостатком внутригортанных методик является невозможность использования некоторых видов лекарственных средств и плохую переносимость процедур пациентом.

Для лечения пациентов с воспалительными заболеваниями гортани успешно применяется иглорефлексотерапия [5]. Основным звеном этого метода является его приложение к кожным зонам повышенной физиологической активности, называемым точками иглоукалывания, БАТ и т.д. Основы применения рефлексотерапии заложены в глубокой древности, около 5 тысячелетий назад люди использовали этот метод в лечении различных болезней.

В настоящее время существует большое количество теорий для объяснения механизма действия акупунктуры. Каждая из них (гистаминная, ионная, тканевая, капиллярная, флокуляционная, электротермическая и др.) объясняют лишь отдельные процессы, имеющие

место при рефлексотерапии. В основе действия рефлексотерапии лежит нейрогуморальная регуляция функций организма. Некоторые авторы объясняют механизм действия рефлексотерапии принципом доминанты, когда под воздействием импульса из БАТ в патологическом очаге происходит разрыв порочного круга импульсации с пораженного органа. Другие авторы не согласны с нейрогуморальной теорией и настаивают, что перенос знергии между точками акупунктуры (ТА) происходит через солитонное возбуждение С=О пептидных групп на молекулярном уровне. При воздействии на ТА возникают реакции организма: местные, сегментарные, общие. Местная характеризуется изменением тонуса кровеносных сосудов, температурной чувствительности, величины электрического сопротивления, т.е. включается механизм аксон-рефлекса. Морфологический субстрат ТА не выяснен. Рядом авторов установлено, что биоэлектрические показатели ТА отражают как функциональное состояние сегментарно связанных с ними органов, так и протекание физиологических процессов в организме [11].

Многие исследователи разделяют точку зрения, что восстановление нарушенной голосовой функции гортани при острых и хронических ларингитах является фониатрической проблемой и в этой связи основные усилия в процессе лечения должны быть направлены на фонопедические упражнения, их различные модификации.

Новейшие достижения в изучении механизма голосовосстановления дали обоснование фонопедическим приемам, подтвердили их физиологичность и эффективность при восстановлении голоса. В литературе встречаются фонопедические методы восстановления голоса при воспалительных заболеваниях гортани предложенные Froscheis (1952г), Лавровой Е.В. , (1975, 1988), Таптаповой С.Л. (1984г).

Фонопедическая коррекция – комплекс педагогического воздействия, направленный на постепенную активизацию и координацию нервно-мышечного аппарата гортани специальными упражнениями. Такой комплекс предусматривает работу над физиологическим и фонационным дыханием, развитием резонаторной системы, формирование нового голосового стереотипа, расширения диапазона звучания, развитие общей и речевой моторики [13].

Цель фонопедических занятий состоит в торможении стереотипа патологической фонации и выработки навыков физиологического механизма голосоведения, а также восстановлении условно-рефлекторных связей, существовавших до заболевания голосового аппарата [15].

Особое значение в реабилитации различных голосовых патологий придают психотерапии [1,3,14,15].

Психотерапия – это планомерное использование психических воздействий для лечения больного. Общая психотерапия включает в себя комплекс психических воздействий на больного, направленный на повышение его сил в борьбе с болезнью, на создание охранительно-восстановительного режима, исключающего психическую травматизацию.

Основными методиками психотерапии являются рациональная психотерапия, суггестивная (внушение), психотерапия, самовнушение, логотерапия, позитивная психотерапия и др.

Основополагающим аспектом в лечении воспалительных заболеваний гортани традиционно являются антибиотики, тем не менее, медикаментозное воздействие, направленное только лишь на элиминацию возбудителя не отражает комплексного подхода в терапии. Сегодня арсенал противовоспалительных средств очень велик, но многие из них обладают выраженными побочными эффектами.

Известен способ лечения хронического гиперпластического ларингита путем непосредственного введения в голосовые складки или подскладочное пространство интраларингеально индукторов интерферона – полудана или циклоферрона.

Недостатком способа являются:

1. Проведение инъекций в подскладочное пространство разрешено только в стационарных условиях, а не амбулаторных;

2. Инъекции в голосовые складки или подскладочное пространство опасны развитием осложнений, таких, как кровоизлияние, абсцессы, что недопустимо для лиц голосоречевых профессий.

Известен так же способ лечения хронического гиперпластического ларингита методом удаления измененных участков слизистой оболочки гортани в пределах собственной пластинки и назначения индуктора интерферона – амиксина [. Демченко Е.В., Иванченко Г.Ф., Новаковский Д.Л. Современные аспекты клинико-лабораторной диагностики и лечения хронического гиперпластического ларингита.// Качество жизни. Медицина .- 2007. – с.35-38.].

Недостатком способа являются:

1. Необходимость проведения этих процедур в стационарных условиях;
2. Развитие послеинъекционных осложнений;
3. Существенное увеличение стоимости лечения.

Известен способ комплексного лечения хронических функциональных расстройств голоса методом иглорефлексотерапии и фонопедической дыхательной гимнастики.

Недостатком способа являются:

1. Длительность лечения;
2. Необходимость наличия соответствующих условий для проведения иглорефлексотерапии;
3. Необходимость специальной квалификации врача, приобретения лицензии для овладения этим методом.

Также известен способ лечения воспалительных заболеваний гортани с помощью ультразвука (фонофореза). В основе действия ультразвука лежит механический (микромассаж ткани и клеток) и тепловой факторы.

Недостатком этого метода являются:

1. Невозможность применения при острой стадии болезни, либо обострении хронической;
2. Эффект лечения в отдаленные сроки более выражен, чем после окончания курса лечения (через 1,5 – 2 месяца).
3. Достаточно длительные сроки нетрудоспособности.

Известно, что обострение хронического ларингита начинается чаще всего либо с переохлаждения пациента, либо с вирусной инфекции. Однако, как показывают многочисленные данные [12], очень быстро в этом процессе начинает играть большую роль присоединившаяся бактериальная инфекция.

Рост резистентности микроорганизмов и изменение в этиологической структуре инфекций гортани говорят о необходимости пересмотра терапевтических подходов, в частности относительно целесообразно назначение в такой ситуации антибактериальных препаратов [10, 12]. Как в нашей стране, так и рубежом вновь появляется интерес к лечебным бактериофагам. Одним из таких препаратов является пиобактериофаг поливалентный очищенный жидкий, утвержденный Главным государственным санитарным врачом Российской федерации Г.Г. Онищенко 16 декабря 2005 г. в качестве антибактериального средства широкого спектра действия. Антибактериальный эффект препарата обусловлен специфическим лизисом патогенных бактерий в очаге воспаления под действием бактериофагов. Независимо от способа введения препарата, бактериофаги проникают в кровь и лимфу и попадают в очаг воспаления. Установлено, что пиобактериофаг стимулирует процессы регенерации, оказывает стимулирующее действие на иммунную систему больного. Отмечены положительные качества бактериофагов: отсутствие токсического действия на организм, развитие аллергических реакций, дисбиозов [7].

Таким образом, в настоящее время существует относительное разнообразие методов и методик восстановления голоса и речи у пациентов с острыми и хроническими заболеваниями гортани, которые требуют дальнейшего усовершенствования. Несмотря на разноречивость научных взглядов относительно того или иного метода лечения данной патологии, мы считаем, что применение комбинированного метода лечения наиболее эффективно и целесообразно.

Список литературы:

1. Агафонова Т.Д. Восстановительное лечение функциональных нарушений голоса у больных с психоэмоциональными расстройствами: автореф. дис. ... канд. мед. наук / Т.Д. Агафонова. - М., 2003. - 21 с.;
2. Бабияк В.И. Клиническая оториноларингология /Руководство для врачей. В.И.Бабияк, Я.А.Накатис. - СПб.: Гиппократ,2005. - 800с.;
3. Василенко Ю.С. Голос. Фониатрические аспекты/Ю.С. Василенко. -М.: Энергоиздат, 2002. - 480 с;
4. Демченко Е.В., Иванченко Г.Ф., Новаковский Д.Л. Современные аспекты клинико-лабораторной диагностики и лечения хронического гиперпластического ларингита.// Качество жизни. Медицина .- 2007. – с.35-38.
5. Исмаилова М.А. Функциональные заболевания и их комплексное лечение с применением ИРТ: автореф. дис. ...канд. мед. наук.
6. Лаврова Е.В. Логопедия. Основы фонопедии: учеб. пособие для туд. высш. учеб. заведений/ Е.В. Лаврова.- М.- 2007.-144с,

7. Лазарева Е.Б. Бактериофаги и пектины в коррекции нарушений микробиоценозов при гнойно-воспалительных процессах.: Автореф. дисс. докт. мед. наук. // М.- 2007. – 18с.
8. Махоткина Н.Н. Нейромышечная электрофонопедическая стимуляция у пациентов с патологией голосового аппарата. Автореферат на соис уч степени к.м.н.- СПб -2009г.
9. Орлова О.С.Система логопедической работы по профилактике и коррекции нарушений голоса у лиц речевых профессий. Дисс. …докт. пед..наук. М.: - 1998. - 249с
10. Осипенко Е. В. Комплексная реабилитация больных со стойкими функциональными нарушениями голоса: автореф. дис. ... канд. мед.наук / Е.В. Осипенко. - М.,2003. - 25 с.;
11. Пономаренко Г.Н. Общая физиотерапия/Под ред Г.Н. Пономаренко. Изд-е 2-е. – СПб.: ВМедА, 2008 – 288с.
12. Рябова М.А., Немых О.В. Хронический ларингит: принципы патогенетического лечения. // СПб. - 2010.-139с.;
13. Степанова Г.М. Особенности фонопедической работы с детьми, страдающими дисфонией, вызванной перенапряжением голоса / Г.М.Степанова // Актуальные проблемы фониатрии: Тез. докл. — М., 1996. — С. 30-31.;
14. Butcher P. Psychological processes in psychogenic voice disorders/ European Journal of Disorders and Communication. - 1995.Vol.30, №4. -P.467 – 474;
15. Rosen D.C. The psychology of voice disorders/ D.C.Rosen, R.T.Sataloff. - San Diego.: Singular Publishing Group, Inc., 1997. - P 1023 - 1130.

УДК 616.839 – 003.96 – 039.4 – 057.87

Распространенность нарушений социальной адаптации и вгетативной устойчивости среди подростков, получающих профессиональное образование

Н.И. Басарева

Сибирский государственный медицинский университет, г. Томск, Россия

Экология человека – междисциплинарная наука о взаимодействии человека со средой обитания. Ее предмет состоит в изучении приспособительных изменений, происходящих в человеческом организме в зависимости от природных и социальных условий жизни. Основной проблемой экологии человека является проблема адаптации . [2]. Особого внимания заслуживают возрастные аспекты адаптации к различным природным, климатогеографическим и социальным условиям. Среди социальных факторов, негативно влияющих на детей, следует отметить урбанизацию, стрессирующие психоэмоциональные нагрузки, курение, потребление алкоголя, наркоманию и токсикоманию, длительное воздействие компьютера, телевизора и т. п. Рассматриваются вопросы адаптации детей к умственным, физическим нагрузкам и к школе в целом, а также рациональная организация учебного процесса, профессиональная ориентация. Результаты многолетних исследований свидетельствуют о том, что наиболее значительный рост функциональных нарушений и хронических заболеваний происходит в период получения детьми и подростками общего и профессионального образования [1]. Социально-экономические перемены в нашей стране повысили психические нагрузки и требования к механизмам стрессоустойчивости подростков. Интенсификация учебного процесса приводит к тому, что они испытывают психоэмоциональное напряжение, при резком сокращении продолжительности сна, двигательной активности и времени пребывания на свежем воздухе. Это способствует формированию функциональных отклонений и их переходу в хронические заболевания [3, 4]. Необходимо раннее выявление у подростков таких отклонений, так как они содержат в себе истоки психоэмоциональной дезадаптации, злоупотребления алкоголем, наркотиками, дисгармонии личности.

Цель исследования: Изучить распространенность нарушений социальной адаптированности (СА) и вегетативной устойчивости (ВУ) среди юношей и девушек, получающих профессиональное образование.

Объект и методы исследования: Всего обследовано 270 подростков в возрасте от 16 до18 лет, 127 учащихся 1-го курса колледжа и 143 студента 1-го курса, получающих образование в ВУЗе. Для оценки СА и ВУ подростков использовался адаптированный к Российским условиям чешский личностный двухфакторный опросник М. Гавлиповой - СВ - «социум-вегетатика», утвержденный Европейским союзом школьной и университетской гигиены и медицины [1]. Опросник содержит 2 анкеты и позволяет оценить индивидуальный уровень СА (коммуникабельность, самооценка, лидерство и др.) и ВУ (лабильность системы терморегуляции,

вестибулярного аппарата, переносимость неприятных ощущений при стрессах и трудностях, тревожность и др.) подростков 12-18 лет. Анкета «социума» состоит из 20 вопросов, анкета «вегетатики» - 16 вопросов. Обследуемый выбирает ответы «да» или «нет», соглашаясь или не соглашаясь с утверждениями анкеты. При оценке учитываются как положительные, так и отрицательные ответы согласно алгоритму для каждой анкеты. Каждый ответ – один балл. Сумма баллов каждого испытуемого сравнивается с оценочной шкалой опросника. Показатель распространенности рассчитывался путем деления абсолютного числа выявленных нарушений на количество обследованных подростков и умножения на 1000.

Результаты исследования: Из общего количества первокурсников, принявших участие в исследовании, было 145 девушек и 125 юношей. По результатам 270 тестов низкий показатель ВУ определен у 65 человек. В том числе, 27 человек среди юношей и 38 – среди девушек. Распространенность вегетативных нарушений среди подростков составила 240‰ , среди юношей – 216‰ , среди девушек – 262 ‰. Низкий уровень СА, говорящий о дезадаптации подростка, выявлен у 42 студентов – 155‰ от общего количества обследованных, из которых 26 - девушек – 179‰ и 16 юношей – 128‰. Полученные результаты свидетельствуют о более низкой СА первокурсниц по сравнению с юношами-первокурсниками. Тенденция роста негативных оценок изучаемых показателей у девушек. 16-17 лет, возможно, связана с тем что, это возраст не только выбора профессии; но и созревания репродуктивной системы, смены моральных ценностей, формирования личности. В этом возрасте большинство девушек приобретают сексуальный опыт и сталкиваются с проблемой нежелательной беременности. Интенсивные учебные нагрузки, высокая чувствительность подростков к воздействию разных факторов окружающей среды, социальная незащищенность способствуют высокой распространенности функциональных нарушений и хронических заболеваний. Из общего числа студентов у 25 человек (93‰) оказались низкими оба показателя Подростки, получившие низкие оценки по шкале СА, испытывают затруднение в общении со сверстниками, педагогами или родителями, относятся к группе риска и нуждаются, как правило, в поддержке педагога, консультации психолога. Подростки, имеющие высокую вегетативную лабильностью (низкими показателями ВУ), имеют сниженные адаптивные возможности, плохо переносят повышенные нагрузки любого характера, и нуждаются в дополнительном обследовании и оздоровлении. Из общего числа обследованных студентов - у 25, что составило 93 %, оказались низкими оба изучаемых показателя – СА и ВУ. Известно, что психические или/и физические перегрузки, не соответствующие психофизической конституции подростка, приводят к психовегетативным синдромам, а функциональные нарушения, при отсутствии своевременной коррекции, к формированию хронической патологии.

Таким образом, подростки, имеющие низкие показатели по обеим шкалам являются группой высокого риска и требуют особого внимания, как со стороны родителей и педагогов, так и со стороны врачей.

Список литературы:

1. Баранов, А. А., Кучма, В.Р., Сухарева, Л. М. Оценка состояния здоровья детей. Новые подходы к профилактической и оздоровительной работе в образовательных учреждениях / руководство для врачей. – М. : ГЭОТАР – Медиа, 2008. - 432с.
1. 2.Гора Е.П. Экология человека. – ДРОФА, 2007. - 544с.
2. Нагаева Т.А., Ильиных А.А. Состояние здоровья и структура патологии у подростков допризывного возраста. // Вопросы современной педиатрии. – 2006. - Т. 5. - № 1. – С. 402.
3. Подростковая медицина. Руководство / Под ред. Л.И. Левиной, А.М. Куликоыой . – СПб, Питер ,2006 . – 544с.
4. Лечебно.- реабилитационный центр Росздрава. http://www.medrf.ru/narved.php

УДК 616.3-098-008.6

Метаболический синдром: клинико – эпидемиологические параллели

И.Д. Беспалова, Ю.А. Медянцев, В.В. Калюжин, Н.В. Рязанцева, Е.С. Вершута
ГБОУ ВПО Сиб ГМУ Росздрава, г. Томск, Россия
МУЗ «Томская ЦРБ», г. Томск, Россия
E-mail: innadave@mail2000.ru

Изучена распространенность компонентов МС и заболеваний, с ним ассоциированных у жителей Томского района. Установлено, что 2/3 всей выборки имеют избыточную массу тела и ожирение, артериальная

гипертензия даже у лиц с нормальной массой тела встречается в 50 % случаев. С увеличением индекса массы тела удельный вес заболеваний, ассоциированных с метаболическим синдромом, возрастает.

В настоящее время среди причин смертности трудоспособного населения РФ стабильно лидируют заболевания сердечно-сосудистой системы, и их осложнения. Эта неблагоприятная статистика обусловлена не только социально-экономической ситуацией в стране, образом жизни россиян, но и высокой распространенностью этиопатогенетических факторов риска, объединенных рамками метаболического синдрома (МС) – комплекса метаболических, гормональных и клинических нарушений, тесно связанных с риском развития и неблагоприятного течения ряда, распространенных социально-значимых заболеваний [2]. При оценке распространенности МС в российской популяции следует учитывать, что большинство людей не обследуются на предмет наличия у них нарушений углеводного и жирового обмена, артериальной гипертензии, а избыточный вес зачастую считается лишь косметическим дефектом. Нередко поводом для первичного обращения к врачу являются симптомы заболевания, развившегося в результате вышеперечисленных процессов [1]. Отсутствие МС в Международной классификации болезней X пересмотра затрудняет проведение эпидемиологических ретроспективных исследований, необходимых для планирования эффективных профилактических мероприятий [2,3].

Цель исследования: Изучение распространенности компонентов МС и заболеваний, с ним ассоциированных у жителей Томского района.

Методы и материалы:

Материалом для исследования послужила поликлиническая база данных жителей Томского района и амбулаторные карты пациентов, обслуживаемых в Томской центральной районной больнице. При анализе амбулаторных карт учитывались следующие параметры: рост, вес, артериальное давление (АД), ряд лабораторных показателей, характеризующих обмен (глюкоза, показатели дипидного спектра), наличие диагностированных заболеваний, которые считаются ассоциированными с МС.

Проведено одномоментное поперечное исследование. Объект исследования население Томского района. Из 17000 жителей Томского района методом случайной выборки было отобрано 509 амбулаторных карт, из них в свободном доступе оказалось 280, а интересующая нас информация имелась лишь в 127 амбулаторных картах. В период с 2000 по 2009 годы в поликлинике успешно функционировал кабинет доврачебного осмотра. Его посещали все без исключения пациенты, пришедшие на первичный прием, и такие показатели, как АД, рост и вес фиксировались фельдшером в амбулаторных картах. Холестерин был определен у 80 пациентов, а развернутый анализ липидного статуса только у нескольких человек. Статистическая обработка 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 for Windows. Применялись методы описательной статистики, анализ соответствия вида распределения признака закону нормального распределения. Количественные данные представлены в виде медианы (ME) и процентилей (25-го и 75-го). Статистическую значимость при сравнении независимых количественных переменных оценивали с помощью теста Kruskal-Wallis. Для выявления различий между группами по выделенным качественным градациям признаков использовали критерий χ^2. Статистически значимыми считали различия при $p<0,05$.

Результаты:

Мужчины составили 40,16% (n = 51) имели средний возраст 43,5 лет (27;57), женщины - 59,84% (n = 76) в возрасте 46 лет (30;57).

Как известно, абдоминальное ожирение (АО) является основным компонентом МС, а индекс массы тела (ИМТ) – универсальный показатель степени ожирения. В связи с этим все пациенты были разделены нами по ИМТ на три группы. 1 группа (36,22%) – это пациенты с нормальной массой тела, 2 группа (25,19%) – пациенты с избыточной массой тела, а 3 группа (38,58%) – пациенты, имеющие ожирение разной степени выраженности. В 1-й группе САД в среднем составило 130 (120;145) мм рт.ст., во 2-й группе – 152,5 (120;174) мм рт.ст., а в 3-й группе – 150 (140;162) мм рт.ст. В группе пациентов с нормальной массой тела концентрация глюкозы в крови в среднем составила 4,9 (3,9;5,5) ммоль/л, в группе лиц с избыточной массой тела - 5,4 (4,75;5,7) ммоль/л, у пациентов с ожирением – 5,2 (4,7;6,3) ммоль/л. Уровень холестерина крови у пациентов 1-й группы среднем составил 4,97 (4,25;5,35) ммоль/л, во 2-й группе – 5,9 (4,9;6,6)

ммоль/л, в 3-й группе – 5,35 (4,7;6,3) ммоль/л. Межгрупповые различия по лабораторным показателям не были статистически значимы.

Артериальная гипертензия (АГ) также является компонентом МС. Обращает на себя внимание высокая распространенность АГ среди обследованных лиц, которая увеличивалась параллельно с увеличением массы тела (табл.1).

Таблица 1. Распространенность заболеваний, ассоциированных с метаболическим синдромом у жителей Томского района

Показатель	1гр. (n=46)		2гр. (n=32)		3гр. (n=49)		χ^2	p
	абс.	%	абс.	%	абс.	%		
АГ	25	54,35	21	65,63	42	85,71	11,2400	0,0036
СД 2	1	2,17	0	0,00	12	24,49	17,7376	0,0001
ИБС	3	6,52	3	9,38	14	28,57	6,4174	0,0404
ЖКБ	0	0,00	2	6,25	6	12,24	4,6974	0,0955
Стеатоз печени	0	0,00	0	0,00	5	10,20	7,2309	0,0269

Согласно таблице 1, распространенность всех изучаемых заболеваний, которые в настоящее время считаются патогенетически опосредованными МС, увеличивается прямо пропорционально ИМТ. Различия всех показателей в группах, за исключением распространенности ЖКБ, статистически высоко значимы.

Обращает на себя внимание, что вся исследуемая группа находится в диапазоне активного трудоспособного возраста. Только треть из них имеет нормальную массу тела. С увеличением массы тела увеличивается выраженность метаболических расстройств. АГ, как один из компонентов МС, имеет высокую распространенность даже у людей с нормальной массой тела; с увеличением ИМТ удельный вес, всех заболеваний ассоциированных с МС возрастает. Однако имеющаяся сегодня информация не позволяет адекватно оценить эпидемическую обстановку в Томском районе по изучаемой проблеме, в связи с отсутствием элементарных данных в основной медицинской документации поликлиники (амбулаторных картах) у большой части пациентов. Безусловно, доврачебный прием одна из наиболее приемлемых форм работы поликлиники, которая дает возможность врачу на догоспитальном этапе обосновать лабораторное исследование и обратить внимание пациента на имеющиеся у него проблемы со здоровьем.

Список литературы:

1. Гинсар Е.А. Распространенность метаболического синдрома и его структура в зависимости от массы тела у работающих мужчин г. Мирного / Е.А. Гинсар, В.Г. Селятицкая, Ю.В. Лутов и др. // Проф. Медицина - 2010. - № 1. – С. - 37 – 41.
2. Маколкин В.И. Метаболический синдром / В.И. Маколкин. – М.: ООО «Медицинское информационное агентство», 2010. – 144 с.
3. Мамедов М.Н. Метаболический синдром: практические аспекты, диагностика и лечение в амбулаторных условиях: Пособие для врачей. – М. : Фас-медиа, 2005. – 35 с.

УДК 616.366-003.7-098-008.6-082.5:159.942.22

Уровень качества жизни больных с холелитиазом, ассоциированным с некоторыми компонентами метаболического синдрома

И.Д. Беспалова, Ю.А. Медянцев, В.В. Калюжин, Н.В. Рязанцева, Н.В. Нейфельд
ГБОУ ВПО Сиб ГМУ Росздрава, г. Томск, Россия
МУЗ «Томская ЦРБ», г. Томск, Россия
E-mail: innadave@mail2000.ru

Проведена оценка качества жизни больных с холелитиазом, ассоциированным с некоторыми компонентами метаболического синдрома. Установлена статистически значимая взаимосвязь снижения общего состояния здоровья и степени абдоминального ожирения – основного компонента метаболического синдрома.

Метаболический синдром (МС) на сегодняшний день, как актуальная медико-социальная проблема, не обошла стороной ни одну из областей медицины [5]. Абдоминальное ожирение - основной компонент МС, являясь фактором риска многих серьезных заболеваний, несет

колоссальную угрозу человечеству, со скоростью эпидемии захватывая развитые страны. Вместе с тем увеличивается ряд заболеваний, причинно связанных с ожирением и другими компонентами МС. Яркий пример тому – желчнокаменная болезнь (ЖКБ) [1, 2, 3]. В настоящее время ЖКБ страдает до 10 – 15 % взрослого населения во всем мире, при этом отмечается устойчивая тенденция к росту заболеваемости и сроков нетрудоспособности, что позволяет считать ЖКБ заболеванием, имеющим важное медицинское и социальное значение. Проблемы, обусловленные самим заболеванием, а также модифицируемые факторы, отягощающие его течение и прогноз, к которым в первую очередь следует отнести компоненты МС, безусловно, могут оказать влияние на качество жизни больных [4].

Качество жизни (КЖ) – широкое понятие, которое охватывает многие стороны жизни человека, в том числе и непосредственно связанные с состоянием здоровья. Любое хроническое заболевание может привести к значительным ограничениям в физическом, эмоциональном и социальном аспектах жизни больных и способно повредить их карьере. Оценка КЖ в последнее время получает все большее признание в практической медицине, так как это новый интегральный подход к комплексной оценке состояния здоровья пациента по совокупности объективных медицинских данных и субъективной оценке самого пациента.

Цель исследования: оценка качества жизни больных с желчнокаменной болезнью, поиск взаимосвязей с некоторыми компонентами метаболического синдрома.

Методы и материалы:

Для решения целевого вопроса было выполнено одномоментное поперечное исследование. Объект исследования: 25 пациентов с верифицированным диагнозом ЖКБ, наблюдавшихся в условиях хирургического отделения Томской центральной районной больницы. Из них 22 женщины средний возраст (56,1±13,3 лет) и 3 мужчин, средний возраст (61,7±8,3 лет). По результатам антропометрического исследования с определением роста, массы тела, окружности талии (ОТ), окружности бедер (ОБ), сагиттального диаметра (СД) и расчетных показателей: индекса массы тела (ИМТ) и ОТ/ОБ все пациенты имели избыточную массу тела и абдоминальное ожирение (АО) разной степени выраженности. Анализировались результаты лабораторного исследования. Для оценки качества жизни (КЖ) использовался опросник SF - 36. Статистическая обработка с использованием пакета программ STATISTICA 6.0 for Windows. Средние выборочные значения количественных признаков приведены в виде M±SD, где M – среднее выборочное, SD – стандартное отклонение. 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 $p<0,05$.

Результаты:

По ИМТ пациенты были разделены на 2 группы: 1 группа (n = 12) - пациенты с избыточной массой тела (ИМТ до 30 кг/м^2) и 2 группа (n = 13) – пациенты с ожирением разной степени выраженности (ИМТ более 30 кг/м^2). Средние значения лабораторных показателей и показателей КЖ (M±SD) в исследуемых группах сравнивались. У больных с ожирением выше средние значения СОЭ, лейкоцитов, глюкозы и трансаминаз, чем у больных 1 группы. Однако статистически значимые различия отмечались лишь по значению СОЭ (1 гр. - 12,1 ± 10, 2 гр. - 20,9 ± 12,9 мм/час), АЛТ (1 гр. - 24,6 ± 28,5, 2 гр. - 35,2 ± 26,5 ед/л), АСТ (1гр. - 16,4 ± 12,1, 2 гр. - 28,2 ± 18,4 ед/л) ($p < 0,05$). Обращает на себя внимание, что больные с ожирением хуже оценивают общее состояние здоровья (GH), физическое (PF) и социальное (SF) функционирование, интенсивность боли и влияние ее на повседневную работу (BP), жизненную силу (VT) и самооценку психического здоровья (MH). Хотя статистически значимое различие наблюдалось только по показателю общего состояния здоровья (GH), так в 1 гр. - 63,33 ± 13,4, а во 2 гр. – 51,92 ± 9,9 балла соответственно ($p<0,05$).

Корреляционный анализ по Спирману показал обратную корреляцию между ИМТ и показателем общего здоровья ($r = - 0,50$ $p = 0,01$) между сагиттальным диаметром и физическим функционированием ($r = - 0,61$ $p < 0,05$) и сагиттальным диаметром и влиянием физического состояния на ролевое функционирование RP ($r = - 0,48$ $p < 0,05$).

Таким образом, абдоминальное ожирение патогенетически взаимосвязано с холелитиазом и является фактором риска тяжелого течения ЖКБ. Из всех изученных метаболических показателей, степень абдоминального ожирения определяет снижение некоторых показателей КЖ: общего состояния здоровья, физического функционирования и влияния физического функционирования на ролевое участие.

Список литературы:

1. Галкин В.А. Современные представления о патогенезе холелитиаза как основа принципов профилактики билиарной патологии // Тер. Архив. – 2003. - № 1. С. 6-9.
2. Дедерер Ю.М., Устинов Г.Г. Ожирение, гиперлипидемия и желчнокаменная болезнь // Клиническая медицина. – 1984. – 10. – С.14-16.
3. Ермаков В.В., Педь В.И., Удалов Ю.Д., Голиков А.В. Возрастные особенности клинических проявлений желчнокаменной болезни // Гастроэнтерология Санкт-Петербурга. – 2003. - № 2. – С. 159-163.
4. Крылов Н.Н. Факторы, снижающие качество жизни больных дуоденальной язвой после хирургического лечения // РЖГГК. – 1997 – № 5. – С. 270.
5. Маколкин В.И. Метаболический синдром / В.И. Маколкин. – М.: ООО «Медицинское информационное агентство», 2010. – 144 с.

УДК 579.283.73

Эрадикация нанобактериальной инфекции. Основные механизмы и методы

В.Т. Волков, Н.Н. Волкова

ГБОУ ВПО СибГМУ Минздравсоцразвития России, г. Томск,

e-mail:vt_volkov@rambler.ru

В статье авторы приводят данные зарубежных ученых относительно успешного использования методов эрадикации нанобактериальной инфекции при атеросклерозе, урологических заболеваниях, кальцинирующего метаболического синдрома у больных сахарным диабетом, уремией, холелитиазом, при которых получены доказательства причастности нанобактериальной инфекции.

По признанию NASA открытие американскими Роберт Фольк [1] (Robert Folk 1990), и финскими исследователями во главе с Айно Олави Каяндером [2] на стыке 20 и 21 веков нового патогена каменной нанобактерии является большим сюрпризом и сенсационным открытием в науке. В настоящее время в зарубежных источниках информации приводятся доказательства и гипотетические предположения экологической роли нанобактерии и причастности ее к широкому спектру болезней человека и животных, в крови которых, тканях внутренних органов и органоминеральных новообразований благодаря использованию электронной и иммуннофлюоресцентной микроскопии обнаружены колонии нанобактерий. Это относится в первую очередь к атеросклерозу, мочекаменной болезни, калькулезному холециститу, кальцинозу кожи, болезни Альцгеймера, ороговевающему раку гениталий, малаплакии мочевого пузыря, простатиту, поликистозу почек, склеродермии, саркомы костей, катаракты, рассеянному склерозу, обызвествлению аорты и сердечных клапанов, саркоидозу сердца и легких, опухоли яичников и грудной железы, назафорингеальной карциномы. Этот кондуит человеческих недугов можно продолжить стоматологической патологией (кариес, парадонтоз и др.), открытием нами [3,4] множественных колоний нанобактерии в варикозноизмененных венах, флеболитах, бронхолитах, саркоидозных аденоматозных очагах, раке простаты, узловом зобе и раке щитовидной железы, в обызвествленных клапанах больных ревматизмом, аденокарциномы желудка, полипах желудочно-кишечного тракта, кристаллических депозитов бронхиального секрета больных бронхиальной астмой, сухой плазме и сыворотке крови здоровых доноров, противостолбнячной вакцине и вакцине против гриппа [5]. В 2006 году в зарубежной печати были опубликованы данные о контаминации нанобактерией полиомиелитной вакцины [6].

Финские ученые во главе с А.О.Каяндером привели первыми доказательства присутствия нанобактериальных колоний в ряде используемых вакцин. Учитывая, что их производство основано на использовании сыворотки млекопитающихся в т.ч. крупного рогатого скота, мясо и сыворотка которых сама по себе в 100% случаев содержит нанобактерию. По мнению Джона Парис Троубридж, автора 7 книг по использованию хелатов для борьбы с обызвествлением аорты и сердечных клапанов даже после имплантации протезов, стентов, именно нанобактерия, осаждающая кальций, ведет к рецидиву коронарной патологии и вынужденному повторному хирургическому вмешательству на сердце.

Касаясь проблемы контаминации отечественных и зарубежных вакцин, использование которых имеет широкомасштабный характер, любой здравомыслящий человек, имеющий минимальное представление о процессе производства вакцин, может прийти к заключению, что благодаря вакцинации нанобактерия в массовом масштабе постоянно инфицирует всех, кому

прививается вакцина. Можно задаться вполне естественным вопросом, не способствует ли современная медицина, не смотря на свой прогресс, широкому распространению новообразований, омоложению атеросклероза и сердечных болезней, в том числе и широкого спектра других форм патологии, включая болезнь Альцгеймера, уролитиаза, желчнокаменной болезни и других органоминеральных образований в организме человека и животных. В равной степени это относится и к переливанию донорской крови и её компонентов «загрязненных нанобактерией», гемодиализу. Нанобактериальная инфекция является дремлющей инфекцией и, к сожалению, пожизненной, она является причиной внутриутробного заражения плода, апоптозиса клеток, мутаций и в состоянии изменить РНК, ДНК.

В своих комментариях Denis Carson [7] указывает на увеличение колоний нанобактерий по мере старения организма, вызывая уплотнение сосудов, осаждения кальция на связках, сухожилиях, синовиальной жидкости, что не исключает её участие в механизме старения.

Будучи покрытой карбонат-апатитной оболочкой она легко ускользает от иммунного контроля и по мнению G.Mezo, D.Lyske [6] и др. активно участвуют в повреждении иммунных клеток. В наших исследованиях [3,4,5] введение культуры нанобактерий в лимфоцитарную смесь вызывает появление мутанных форм с аномальными ядрами и пикнозом.

Нанобактериальная инфекция имеет прямое отношение к остеопорозу костей и её агрессивность в отношении кальция опорнодвигательного аппарата возрастает в 5 раз в Космосе в условиях адинамиии и нулевой гравитации [8]. Это приводит к серьезным поражениям опорнодвигательного аппарата и высокому риску мочекаменной болезни у космонавтов и аэронавтов. Попадая через желудочно-кишечный тракт с пищей, питьевой водой, при половом контакте и даже поцелуе она в состоянии поразить организм, способствуя хламидиозу, передавая подагру от больных здоровым, о чем лишь доказывался три столетия назад наблюдательный и талантливый клиницист Герман Бургаве. Кальцинация сосудов ассоциирована с метаболическим синдромом, пуринергическим диатезом также принимающего участие в формировании сахарного диабета, гипертонической болезни, «хронической каменной болезни», финальной стадии почечной недостаточности. В настоящее время многообразные виды нанотехнологий и нанобактерий быстро занимают все новые и новые позиции в современной науке и практике, давая существенный толчок в будущем развитии медицины. Соляная кислота 1-10% раствор и ЭДТА декальцинируют нанобактерию, но деминерализация карбонат-апатитной оболочки оставляет этот весьма вирулентный и агрессивный патоген, способный проникать даже в ядро клетки живым и способным вновь обрастать известковой скорлупой. Давление не убивает нанобактерию, колебания РН, формальдегид, гитохлорид, NaOH, формалин и 11% перекись водорода не влияют на размножение нанобактерии, антисептики неэффективны, исключение составляет только 1% раствор Virkon (смесь сернокислого калия и сульфаминоевой кислоты, он убивает нанобактерию вместе с оболочкой в течение 30 минут. Кипячение нанобактерии при 100 градусах С в течение 30 минут прекращает её рост в тканевой культуре, но множественные (кластерные) кальцинированные формы устойчивы к температуре 100 градусов С в течение часа. Автоклавирование и ультрафиолет в состоянии убить только нанобактерии, лишенные карбонат-апатитной оболочки. Из антибактериальных препаратов по данным финских ученых [2] только тетрациклин и цитрат натрия специфически убивают нанобактерию, проникая через оболочку каменной бациллы. Ее высушивание при комнатной температуре неэффективно, но высушивание при 100^0С убивает нанобактерию в сыворотке крови. В своем интервью Гарри Мезо указывает, что антитела способны вырабатываться в организме против нанобактерии когда она наиболее уязвима, покидая свой минеральный панцирь в момент её размножения. Рост её в 10 000 раз медленнее, чем у других бактерий, а резистентность нанобактерии к ионизирующей радиации просто фантастична. Если обыкновенных бактерий можно убить мощностью в 0,05 мегарад, то нанобактерия погибает лишь при облучении в 150 мегарад. Эта каменная бацилла не нуждается в кислороде из-за поглощения ею железа являясь автотрофом она с успехом может существовать в Космосе, грунте планет, лишенных кислородной атмосферы, глубоко под землей, в глубинах океана, питьевой воде и других водных источниках. По нашим данным [3,4,5] электроимпульсный разряд в 30 кV в состоянии убить нанобактерию в питьевой воде и минеральных новообразованиях водоочистительных сооружений. Весьма эффективным является и протоновое облучение и облучение бетатроном. Само формирование карбонат-апатитной оболочки нанобактерии остается до конца неясным механизмом. Mezo G. [6] высказывает мнение, что нанобактерия выбрасывает на свою поверхность слизь в виде пленки, которая в последующем уплотняется и превращается в кальциевую иглу, наращивая этот панцирь. Но как она это делает, пока в литературе ясного ответа нет.

Изучая колонии нанобактерии в условиях ТЭМ и СЭМ электронной микроскопии нам удалось отметить активное притяжение спикул фосфата кальция к поверхности самой нанобактерии [3], что подвергает сомнению выводы зарубежных исследователей [6] относительно участия самой нанобактерии в продуцировании карбоната и апатита на клеточную оболочку. При изучении электронного парамагнитного резонанса колоний нанобактерий в органоминеральных образованиях зубного камня, уролитов, желчных камней и конденсата питьевой воды нами констатированы на спектрах ЭПР усиление интенсивности сигналов неспаренных электронов и высокой плотности парамагнитных частиц, способных в силу этого «схватить» ионы Ca^{2} и фосфата PO^{-4} и соединив их в карбонатно-фосфатные комплексы. Энергодисперстный рентгеновский микроанализ (ЕДХ) оболочки нанобактерий позволяет выявить пики Са и фосфора [3,4,5]. Аналогичные результаты нами получены при изучении кальцинированных участков узлового зоба, флеболитах, атероматозных бляшек, окостеневший желтой связки у больных, страдавших анкилозирующим спондилоартрозом Штрюмпель-Мари, контрактуры Дюпюэтрена, оссифицирующих участков поджелудочной железы больных сахарным диабетом. На ЭПР спектрах нами помимо феномена Овергаузена в анализируемых органоминеральных агрегатах и оссифицированных участках тканей пораженных нанобактерией, нами констатирован феномен химической поляризации ядер, что возможно, позволяет объяснить агрессивное влияние нанобактерии на ткань и сосуды организма, её способность осаждать Са и холестерин, а не выбросом олигопептида с образованием воспалительной пленки в зоне колоний нанобактерий с последующим осаждением кальция и холестерина. По данному механизму формируются атероматозные бляшки сосудов с последующим кардиоваскулярными расстройствами (инсульт, инфаркт миокарда, синдром Такаясу, Лериша, облитерирующий эндоартерит, диабетическая стопа и т.д.). Исключение не составляет варикозная болезнь, узловой зоб, новообразования, коллагенозы, подагра, катаракта, полиартрит, болезнь Рейтера и бронхиальная астма при которой в депозитах кальция бронхиального секрета нами [3,4,5] были обнаружены колонии нанобактерий. Ингибиция нанобактерий тетрациклином в работе финских исследователей [2] были подтверждены учеными США [6] из клиники Мейо, специалистами Гарвардского университета, NASA и других научных центров. Доктор Mezo потратил последние 10 лет на проведение фундаментальных работ в изучении нанобактерий нанобиотиком «NanoBac TX», состоящим из тетрациклина, ЭДТА и пищевой добавки, содержащей аминокислоты (nutracentical), усиливающей иммунную систему и действие хелатов, редуцирующих воспаление.

Состав пищевой добавки состоит из витаминов С и B_6, ниацина, L-аргинина, бромгинина, трипсина $C_0 G_{10}$, экстракта виноградных косточек, плодов боярышника, папаина. В соответствии с рекомендациями G.Mezo (2005) лечение нанобактериальной инфекции состоит в даче 5 $см^3$ пищевой добавке (nutracentical) перорально 1 раз в день вечером, приема тетрациклина по 500 мг перорально 1 раз вечером, приема ЭДТА по 150 мг в свечах ректально, один раз вечером.

Пилотное исследование проведено G.Mezo [6] в научной лаборатории “NanoBaclab” на 91 пациенте с кальцинозом коронарных артерий. До начала оценивалась степень кальциноза коронарных артерий в баллах с последующим исследованием через 3 месяца. По результатам оценки проведенного лечения в течение 4 месяцев бальная оценка уменьшилась на 58%. Под влиянием проводимой терапии нанобиотиком ТХ получены доказательства нового безопасного лечения нанобактерий, позволивший полностью удалить как очаги обызвествления сосудов, так мягкие бляшки, которые были причиной заболевания сердца. Нанобактехнология в лечении коронарной болезни сердца, сосудов мозга, уролитиаза, холелитиаза, болезни Альцгеймера, сахарного диабета, синдрома Такаясу, Лериша, облитирирующего эндоартрита, позволяют как и при других формах нанобактериальной инфекции избежать побочных эффектов современной лекарственной терапии и даже риска хирургических вмешательств, возвращая человека к активной, независимой жизни устраняя стенокардию, сердечную недостаточность, цереброваскулярные расстройства, проблемы урологических заболеваний, стоматологических форм патологии и ряда новообразований. Проводимый курс антибактериальной терапии нанобиотиком ТХ в течение 4-6 месяцев способен уменьшить на 50% кальцификацию артерий сердца и головного мозга, устранив ангинозные и цереброваскулярные расстройства, улучшить ЭКГ признаки, память, снизить артериальное давление, восстановить сексуальные расстройства, улучшить зрение, слуха, снижения болей в суставах, лучшую контролируемость сахарного диабета. Согласно исследованиям доктора Троубридж (США) впервые применившим в 1966 году хелаты ЭДТА, бифосфонаты нанобактерия в состоянии впадать в неактивное состояние на 30-40 лет, являясь как бы сапрофитом в организме, с другой стороны она в состоянии проявить поразительную агрессивность и быть причастной к широкому числу заболеваний человека и

животных, особенно это касается аэронавтов, находящихся в условиях невесомости, гиподинамии и нулевой гравитации, а так же ВИЧ-инфицированных пациентов [8]. Кроме того, нанобиотик ТХ используется исследователями для эрадикации патологической кальцификации, связанной с почечными камнями, поликистозом почек, хроническим простатитом, гиперплязией простаты, рассеянным склерозом, аутизмом, дегенеративными расстройствами, катарактой, склеродермией, псориазе, экземе (G.Mezo 2005). Риск рецидива уролитиаза, аденомы простаты, кальцификации коронарных артерий может быть уменьшен при использовании комбинации тетрациклина, пищевой добавки (nutracentical) и ЭДТА в процессе эрадикации нанобактерии. На причастность нанобактерии к поликистозу почек, малаплакии мочевого пузыря указывают многие ученые [2].

Ученые Кливлендского госпиталя приводят доказательства участия нанобактерии при хроническом простатите и хроническом болевом тазовом синдроме. Нанобактерия авторами была выявлена в крови у 60% пациентов и у 40% высеяна в моче. Под влиянием нанобиотика ТХ у 50% больных хроническим простатитом, тазовым болевым синдромом по данным трансректальной ультрасонографии камни предстательной железы уменьшились в размерах у 50% пациентов и даже исчезли вовсе с улучшением симптоматики хронического тазового болевого синдрома. По данным финских ученых [8] бактерицидный эффект изолированных из фетальной сыворотки телят нанобактерии ингибируется помимо солянокислого тетрациклина также нитрофуранами, триметропримом, триметроприм – сульфаметоксазолом и ампициллином, в уровнях, достижимых в сыворотке крови и моче. Аминогликозиды и вакомицин оказались по выводам автора бактериостатическими. Бифосфанаты, аминокапроновая кислота, растворы цитрата натрия и лимонной кислоты и 5-флюороцил также подавляли размножение нанобактерий. По данным M.S. Silfy et. al [8] антибактериальная терапия «Com ET» - комбинация ЭДТА, тетрациклин и nutracentical предупреждает кальцификацию коронарных артерий и предстательной железы, а так же снижает риск рецидива уролитиаза. Как тут не вспомнить, что причиной язвенной болезни также является бактерия, а медикаментозное лечение оказалось впечатляющим и антибиотики заняли ведущую роль в лечении этого недуга. Согласно данным финских ученых [2] нанобактерия блокирует синтез фоливой кислоты и антибиотики широкого спектра в состоянии блокировать жизненно важные биохимические процессы нанобактерий. На внутриклеточные формы нанобактерий могут действовать квинин и метотрексат.

Антинанобактериальное лечение успокаивает боль при хроническом простатите. Кальциноз кожи, по мнению M.D.Morgan (2002) так же связан, как и опухолевый кальциноз, кальцинированные узлы с нанобактерией. Исследования азитромицина по данным G.Mezo [6], а так же родственные тетрациклину доксацилин и террамицин не выявили эффективности по отношению к нанобактерии при коронарной болезни сердца.

Доктор медицины Энрике Гурфинкель (Enrigae Gurfinkel) из Буэнос-Айреса утверждает: «Возможно, мы являемся свидетелями начала новой эры в лечении клинически значимого атеросклероза. Заглядывая вперед можно предполагать, что такой подход приведет к открытию новых путей раннего вмешательства в заболеваниях артерий и даже разработки превентивной вакцины.

Полученные данные по поводу открытия нового патогена позволяет привести параллель из области гастроэнтерологии открытия так же бактерии, причастной к генезу язвенной болезни и лечения свежих язв антибиотиками.

Список литературы:

1. Folk R.L. Nanobacteria in the laboratory in the natural environment in carbonate sediments and rocks / R.L.Folk, F.L. Lynch. //Alpe Adria Microbiology Journal. – 1998. – V. 7(2). – P. 89-95.
2. Nanobacteria from blood the smallest culturable autonomously replication agent on Earth / A.O. Kajander, A.Kuronen, K.Akerman, N.Ciftcioglu. //Science. – 1997. – 311. – P. 420-428.
3. Инфекционная теория новообразований и нанобактерия (перспективы исследований) / В.Т. Волков, Г.В.Смирнов, В.Т. Волков, Н.Н. Волкова, С.М. Шихман // Сибирский медицинский журнал (Иркутск). – 2003. – Т. 26, № 6. – С. 9–20.
4. Болезни биоминерализации (новейшая экология) / В.Т. Волков, Г.В.Смирнов, Н.Н. Волкова, Ю.И.Сухих. – Томск: Тандем-Арт, 2004. – 391 с.
5. Нанобактерия / В.Т. Волков, Г.В.Смирнов, Н.Н. Волкова, Ю.И.Сухих. // Сибирский медицинский журнал. – 2003. – № 3. – С. 5-9.
6. Calcification in coronary artery disease can be. Revesed by EDTA – tetracycline long-term chemotheray / G.Mezo, B.S. Maniscabo, K.A Tajol. // Pathophysiology. - 2004. - oct. 11(2). - P.95-101

7. Carson D.A. Commentary: An infection origin of extras K eletal calcification. - Proc Nat. Acad Sci USA. - July 1998. - vol. 95. - pp 7846-7867.
8. A potencial cause for kidney stone forrnation during space flights Enhancd growth of nanobacterian in micograviti / N.Ciftcioglu, R.Haddad, D.Golden, D.Morrison, D.Mc Kay.// J. Kidney Int, 2005. - Feb. - P. 234-236.

УДК 616.4-053.2

Новый взгляд на природу сахарного диабета

В.Т. Волков, Г.И. Цыров, Н.Н. Волкова
ГБОУ ВПО СибГМУ Минздравсоцразвития России, г. Томск, Россия
e-mail:vt_volkov@rambler.ru

В работе авторы, анализируя историю изучения сахарного диабета, касаются гипотезы инфекционной природы этой патологии и приводят собственные данные выявления в строме поджелудочной железы больных сахарным диабетом нанобактерии, активно участвующей в морфологических изменениях, оссификации тканей и внутренних органов. Авторы высказывают предположение о возможной этиологической роли этой разновидности хламидий, открытой финскими учеными в последнее десятилетие, в генезе сахарного диабета человека и животных.

Сахарный диабет исторически известен человечеству с давних времен. Еще в глубокой древности римские и индийские врачи были знакомы с основными клиническими заболеваниями этого тяжелого недуга, поражающего не только человека, но и животных, сопровождающегося истощением, жаждой и полиурией. 1500 лет до н.э. сведения об этом заболевании были описаны в папирусе Эберса. В 1642 году Вирсунг один из первых описал анатомию поджелудочной железы, а знаменитый английский врач Уиллис [9] впервые обратил внимание на сладкий вкус мочи у пациентов и с этого времени эта форма патологии стала именоваться сахарной болезнью.

Бушар и Мажанди [8] в 80-х годах позапрошлого века впервые констатируют наличие гипергликемии у больных сахарным диабетом, а Лансеро, французский исследователь, в 1880 году выделил два типа сахарного диабета: легко поддающийся диетотерапии и быстро прогрессирующий тип, резистентный ко всякому лечению [8], что в современной классификации сахарного диабета соответствуют 2 и 1 типу сахарного диабета. В 1901 году Л.В. Соболев [8], перевязывая протоки поджелудочной железы, доказал, что эндокринная функция поджелудочной железы обеспечивается островками Лангенгарса, описанные самим Лангергансом в 1869 году и названными в его честь.

В 1909 году де Мейер назвал гипотетический гормон, выделяемый островковым аппаратом поджелудочной железы инсулином (insula-островок). В 1921 году Бантинг и Бест выделили инсулин из поджелудочной железы теленка, введение его панкреатэктомированным собакам с клиническими проявлениями сахарного диабета приводило к нормализации уровня сахара в крови у животных и исчезновению его в моче. Это был подлинный триумф науки и с этого момента пациенты получили лекарственный препарат, вошедший в золотой фонд профилактики и лечения сахарного диабета с улучшением витального прогноза и спасения жизни пациентам в гипергликемическом состоянии, за что авторы получили Нобелевскую премию в 1923 году.

В соответствии с современными представлениями сахарный диабет расценивается в качестве гетерогенного заболевания, в основе которого лежит относительный (2-ой тип сахарного диабета) или абсолютный недостаток (1-ый тип сахарного диабета) инсулина, развивающийся в результате аутоиммунного разрушения β-клеток поджелудочной железы у генетически предрасположенных лиц.

Распространение сахарного диабета первого типа у детей по России соответствует 45,6 на 100.000 населения, по Томску 47.85, в Москве 64.68, установлено 2 пика заболевания сахарным диабетом у детей 7-10 лет и 12-14 лет, отмечена также сезонность обострения сахарного диабета первого типа в осенне-зимний период и стиханием в летние месяцы, которые связываются с нарастанием частоты вирусной инфекции и косвенно свидетельствуют об индуцирующем влиянии инфицирующего начала в манифестации сахарного диабета.

По наблюдениям Вейксельбаумана (1943) [9] поражение островкового аппарата наблюдается у 96% больных сахарным диабетом, при этом наблюдается преимущественно три формы морфологических изменений:

1. Склероз и атрофия островков, связанная с патологией сосудов и воспалительными изменениями поджелудочной железы инфекционного происхождения.
2. Геалиновое перерождение островков Лангерганса (причина не ясна).
3. Водяночное (гидропическое перерождение островкового аппарата) встречается в юношеском возрасте или при перегрузке углеводами.

Многие ранние исследователи обращали свое внимание на частое распространенные в семьях диабетиков случаев ожирения. По Фрериксу [9] – 15%, по Бушару [10] – 40%. Подобного рода связь сахарного диабета и ожирения давало более ранним исследователям основание для выделения т.н. «жирного диабета» (diabete gras) и диабета «худых» (diabete maigre), протекающего с более тяжелым течением и плохим прогнозом. Обильное питание и прием избыточного количества углеводов в состоянии привести к истощению островкового аппарата и появление «липогенного» ожирения (Тангаузер) [9]. Однако Ноорден [9] был склонен думать, что не характер питания, а врожденная или приобретенная неполноценность инсулярного аппарата является основной причиной манифестации сахарного диабета. Известны случай развития сахарного диабета в условиях длительного, хронического голодания (диабет бродяг, бомжей, блокадников при осаде и т.д.).

Сахарный диабет может быть устранен после удаления щитовидной железы (Баранова А.) [10]. При всех формах сахарного диабета отмечены функциональные расстройства щитовидной железы, что давало ранним исследователям повод для выделения т.н. «щитовидный диабет». Сахарный диабет не щадит никакой возраст, однако наиболее тяжело он протекает все же в детском и юношеском возрасте, поражая практически все системы организма, зрение и сосудистую систему, приводя к глубокой инвалидизации организма и драматическим по своим проявлениям осложнениям (диабетическая стопа, гангрена и т.д.). В литературе имеются сообщения о развитии сахарного диабета у 5-ти месячных детей, что не в состоянии объяснить влиянием общепринятых факторов риска, характера питания, образа жизни и вредных привычек и т.д. [10].

Особый интерес в изучении сахарного диабета в связи с этим предоставляет этиологическая и патогенетическая роль инфекционного начала в генезе и манифестации сахарного диабета, роль которого явно недооценивается многими исследователями и широкой армией практикующих врачей, несмотря на нередкое совпадение дебюта сахарного диабета в период эпидемии гриппа, вирусных инфекций и сформулированную Тейлором в 1970 году, как мы уже сообщали выше, вирусную теорию сахарного диабета первого типа. Широкое распространение вирусных инфекций в детском и подростковом возрасте общеизвестный факт и это послужило серьезным основанием для выделения панкреотропного влияния вирусов Коксаки, коревой краснухи, паротита, мегаловирусов, ретровирусов и других его разновидностей, приводящих к деструкции β-клеток поджелудочной железы и инициации аутоиммунной агрессии на островковый аппарат Лангерганса в условиях дефицита противовирусной защиты и генетически детерминированной инсулярной недостаточности. В настоящее время антитела к антигенам островков поджелудочной железы выявлены у 50-70% больных диабетом [8]. Антитела обнаруживаются в крови задолго до манифестации сахарного диабета. В инициации прогрессирующей гибели β-клеток поджелудочной железы соответствующую роль отводят активации процессов свободно-радикального окисления под влиянием вирусов, цитокинов (ИЛ-1,2, ФНО-ИФ), усиления апоптозиса клеток поджелудочной железы. В последние годы выявлены у больных сахарным диабетом антитела к эндогенному инсулину [8] и подтверждена патогенетическая роль В и Т- активированных лимфоцитов в снижении секреции β-клеток поджелудочной железы и лимфоцитарной их инфильтрации [8]. Предоставляет так же интерес возможная связь сезонного обострения сахарного диабета в осенне-зимний период и снижением в летние месяцы. Не снижается роль местной очаговой инфекции в развитии сахарного диабета, проникающей в поджелудочную железу гематогенным и лимфогенным путем при стрептококковой и стафилококковой инфекции и развития инсулита. По мнению ранних исследователей (Лаббэ) [10] туберкулез не является угрозой сахарного диабета, малярия, сепсис и даже грипп не расцениваются этиологией сахарного диабета. Следует со всей очевидностью признать, что далеко не все еще известно в этой проблеме и за ее кадром, наверняка, кроится какой-либо ранее неизвестный инфекционный фактор, вирусной или бактериальной природы, а случаи сочетания сахарного диабета и туберкулеза, по нашим наблюдениям, встречаются часто.

Патологические изменения в поджелудочной железе больных умерших от сахарного диабета и его осложнений, несут в себе глубокие морфологические изменения в виде атрофии, перерождения островкового аппарата, склероза и инфильтрации, а так же оссификации ткани

панкреатической железы с аплязией артерий и наличием аденоматозных узлов, что требуют поиска инфекционного начала с использованием возможностей электронной микроскопии.

Достаточным основанием для подобного поиска послужило открытие финскими учеными [11] в крови и тканях больных крошечной каменной бациллы – нанобактерии, активно участвующей в формировании аденом, сосудистых поражений и оссификации тканей и органов. В мировой и, тем более, отечественной литературе нет сведений относительно этиологической роли нанобактерии в формировании сахарного диабета.

Используя трансмиссионную электронную микроскопию и гистохимическую окраску молибденово-кислым аммонием и предложенной нами методике [6], мы исследовали фрагменты поджелудочной железы (аутопсия) у 10 пациентов, прижизненно страдавших сахарным диабетом первого и второго типа (женщины средний возраст $^{+}$- 30 лет). Изучения ультраструктуры тканей поджелудочной железы проводилось с помощью метода В.Я. Карупу (1984). Ультратонкие срезы готовили по методике Б. Уикли (1975). Полученные срезы на ультратоме (Ultratom III Швеция) рассматривались в электронном микроскопе JEM – 100 C XII (JEOL, Japan) с апертурной диаграммой 25-30 мкм. при ускоряющем напряжении 86 кВ и увеличении Х 19 000 – 36 000.

В результате проведенных исследований нам удалось констатировать присутствие у всех больных колоний нанобактерий овоидной формы диаметром 0,3-1,2 мкм покрытых карбонат-апатитной оболочкой (данные дисперстного рентгеновского микроанализа EDX). С целью идентификации нанобактерии нами дополнительно проведена иммунофлюоресцентная микроскопия срезов патологически измененной поджелудочной железы обработанной моноклональными антинанобактериальными антителами А 4003-61-88 (NanoBac. Finland).

Наибольшая плотность колоний нанобактерий обнаружена нами в зонах оссификации поджелудочной железы. В соответствии с выводами финских ученых [11] нанобактерия, единственная из класса хламидий обладает, помимо глубоких воспалительных изменений ткани, путем выброса белка – олигопептида, в состоянии также вызывать аденоматозные изменения, гиалиноз и оссификацию тканей, включая сосудистое русло, формируя в них атероматозные узелки, подтвержденные в наших исследованиях [1-7].

Дальнейшие исследования самой ткани поджелудочной железы островкового аппарата с вычленением β-клеток, а также микрососудов на присутствие в них колоний нанобактерий, позволит пролить свет о их роли в биопатогенезе сахарного диабета, а значит расширить существующие концепций развития сахарного диабета и существенно изменить терапию и профилактику этого тяжелейшего недуга человека и животных.

Список литературы:

1. Волков В.Т., Волкова Н.Н., Смирнов Г.В., Сухих Ю.И. Болезни биоминерализации (новейшая экология) Из-во «Тандем-Арт» Томск, 2004, 392 с.
2. Волков В.Т., Перспективы изучения нанобактерии в медицине / мат.7-международной конференции «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири». Барнаул-2001-с. 130-133/
3. Волков В.Т., Смирнов Г.В., Волкова Н.Н., Сухих Ю.И. Нанобактерия // Сибирский медицинский журнал – 2003 - №3. – с.5-9.
4. Волков В.Т., Смирнов Г.В., Медведева Н.А., Сухих Ю.И., Волкова Н.Н. Нанобактерия. Изд-во «Твердыня» Томск, 2003г. 358 с.
5. Волков В.Т., Сухих Ю.И. Подагра. Из-во «Твердыня» Томск. 2003г., 428 с.
6. Волков В.Т., Волкова Н.Н., Смирнов Г.В., Полиенко А.Н., Бакиров А.Г., Ермолаев В.А., Ермолаев В.А. Биоминерализация в организме человека и животных. Из-во «Тандем-Арт» Томск, 2004. - 492 с.
7. Волков В.Т., Хламидийная теория атеросклероза: гипотеза Ослера и современные исследования // Сибирский медицинский журнал – 2004г. - № 2. – с 13-21.
8. Кравец Е.Б. Клинические лекции по детской эндокринологии из-во «Тандем-Арт» Томск, - 2004г . - 363 с.
9. Шерешевский Н.А., Степун О.А., Румянцев А.В. Основы эндокринологии Биомедгиз. – 1936. - 632 с.
10. Флоран. Подагра Биомедгиз. - 1928 г., 280 с (пер. с французского)
11. Kajander ED., Kuronen I., Akerman K., Ciftioglu N. Nanobacteria from blood the smallest culturable automously replicating of Earth // Science 3 II p.1998.

УДК 616-002.78

Экологическая опасность водной среды на заболевания человека и животных

В.Т. Волков, Н.Н. Волкова
ГБОУ ВПО СибГМУ Минздравсоцразвития России, г. Томск, Россия
e-mail:vt_volkov@rambler.ru

Интенсивное развитие промышленности, транспорта, перенаселение ряда регионов планеты привело к значительному загрязнению гидросферы. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), около 80% всех инфекционных заболеваний в мире связано с неудовлетворительным качеством питьевой воды и нарушениями санитарно-гигиенических норм водоснабжения. Загрязнение поверхности водоемов пленками масла, жиров, смазочных материалов препятствует газообмену между водой и атмосферой, что снижает насыщенность воды кислородом; оказывает отрицательное влияние на состояние фитопланктона и является причиной массовой гибели рыб и птиц.

Установлено, что инфекционная заболеваемость населения, обусловленная водоснабжением, достигает 500 миллионов случаев в год. Поэтому качество воды является одной из важнейших проблем, активно влияющее на состояние здоровья человечества.

Качество питьевой воды во многих странах, в том числе и в России, определяется нормативами. Среди них бактериологические, микробиологические и другие показатели. К сожалению, существующие нормативные документы не рассматривают ряд факторов, влияющих на качество питьевой воды. К таковым могут быть, например, отнесены продукты жизнедеятельности сине-зеленых бактерий («пули дьявола» по терминологии А.Я. Кульберга) и, так называемые нанобактерии.

В 1990 году американским геологом из Техасского университета Робертом Фольком в горячих источниках вблизи Неаполя при электронномикроскопическом исследовании была открыта новая разновидность бактерии, покрытая карбонат-апатитной оболочкой (каменная бактерия), вошедшая в мировую литературу как нанобактерия. Диаметр этих образований составляет несколько десятков долей микрон. Они способны к размножению. В 1992 году группой финских ученых во главе с молекулярным биологом Айно Олави Каяндером и микробиологом Невой Чифчиоглу при изучении культуры фибробластов в питательной среде обнаружили необъяснимый феномен гибели клетки. При пропускании культуры через ультрамикропористый фильтр (0,2 микрона) в фильтрате были обнаружены колонии каменной бактерии. Вскоре подобные бактерии были констатированы в почечных камнях человека, страдающих мочекаменной болезнью и поликистозом почек, у больных с болезнью Альцгеймера и ряде новообразований. Однако подлинной сенсацией в науке оказалось открытие Р.Фольком колоний нанобактерий в конденсате питьевой воды.

Во – первых, как оказалось, среда нашего обитания хранит в себе много неизвестных ранее, опасных факторов, одним из которых является открытая Р. Фольком и О. Каяндером нанобактерия. Поэтому необходимы дальнейшие исследования по изучению различных природных и антропогенных объектов на наличие в них нанобактерий.

Во- вторых, вероятно, необходим пересмотр различных сан-гигиенических нормативных документов и методик оценки экологической безопасности предусматривающих использование этих объектов человеком, так как эти объекты могут нести определённую угрозу здоровью человека.

В третьих, необходимо ответить на очень многие вопросы, связанных с открытием нанобактерии и её участием в различных заболеваниях человека и животных. Это всё требует проведения дополнительных исследований.

С целью проверки полученных результатов Р.Фольком мы провели исследования по оценке нового экологического фактора присутствия в питьевой воде г. Томска.

В комплекс Томского водозабора входит 196 скважин, большинство из которых удалено от самого водозабора на десятки километров. Перед поступлением питьевой воды к потребителям, она проходит технологический процесс очистки и обеззараживания.

Проведенные нами предварительные исследования, показали, что в осадках воды, взятых из водопровода, присутствуют колонии сфероидных образований отчетливо напоминающих нанобактерии, обнаруженные Р.Фольком. Это заставило более детально исследовать воду на различных этапах её технологической обработки. Нами исследованы питьевые воды г. Томска и некоторых поселков Томской области. Осадки были получены испарением 3 литров воды, взятой

соответственно на входе, после аэрации, после фильтрации и после хлорирования, при её кипячении при температуре 100^0C.

Присутствие овоидных образований, напоминающих нанобактерии, состоящих из карбонат-апатитной оболочки установлено в тех или иных количествах во всех исследованных пробах. Они имеют различную морфологию.

Из микроструктурных фотографий видно, что форма и размеры сфероидных образований, выявленных в различных источниках питьевой воды, в целом близки друг к другу.

По данным Р. Фолька железо является одной из сред обитания нанобактерий, которые найдены им в продуктах коррозии железа. Соответственно можно предполагать, что в сильно железистых водах нашего региона они могут присутствовать.

Нами была сделана попытка определения плотности распределения нанобактерии в 1 мл питьевой воды, составлена схематическая карта ее распределения в Томском районе и при сопоставлении этих данных с уровнем заболевания мочекаменной болезнью на 1000 населения получена сильная корреляционная связь (r = 0,971).

Наши исследования показали, что существуют некоторые показатели ранее не известные и не учитываемые в санитарно-гигиенических нормативах качества питьевой воды.

Работы коллектива медиков и других специалистов из ТПУ (В.Т.Волков, Ю.И.Сухих, Л.П.Рихванов, А.К.Полиенко, В.А.Ермолаев) указывают на существенную экологическую опасность нанобактерий. Об этом свидетельствует тот факт, что они являются пусковым фактором таких заболеваний как образование зубных, почечных, желчных и других минеральных образований в органах человека и животных. Эти результаты показывают необходимость дальнейшего детального исследования экологической опасности нанобактерий, разработки требований по их контролю и уничтожению.

Таким образом, открытие колоний нанобактерий в различных природных объектах: воде, минералах, нефти, железных и алюминиевых конгломерациях, с одной стороны, и данные о том, что нанобактерии являются причиной чрезвычайно широкого класса заболеваний человека и животных, с другой стороны, является убедительным аргументом, показывающим, что нанобактерия это новый, не известный ранее экологический фактор, который по степени, широте и опасности воздействия на организм человека и животных следует отнести к глобальным экологическим проблемам современности.

Список литературы:

1. Волков В.Т., Волкова Н.Н. и др. Болезни минерализации (новейшая экология). Изд-во «Тандем Арт». Томск. 392с.
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. Folk R.L., Lynch F.L. Nanobacteria in the laboratory in the natural environment in carbonate sediments and rocks // Alpe Adria Microbiology Journal. – 1998. – V. 7(2). – P. 89-95.
5. Benedict S. Maniscabo and Karen A Tajol.. Calcification in coronary artery disease can be. Revesed by EDTA – tetracycline long-term chemotheray //Pathophysiology oct. 2004; 11(2): P.95-101
6. Ciftcioglu N., Haddad R., Golden D., Morrison D., Mc Kay D. A potencial cause for kidney stone forrnation during space flights Enhancd growth of nanobacterian in micograviti / /J. Kidney Int. Feb. 2005 P. 234-236.

УДК 616.284 – 008.4

Нарушения вентиляции и перфузии у пациентов бронхиальной астмой

А.В. Дубоделова, Н.Г. Кривоногов*[*], *Т.С. Агеева, Ф.Ф. Тетенев

ГБОУ ВПО «Сибирский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения и социального развития России, Томск, Россия;

[*]У РАМН Научно-исследовательский институт кардиологии СО РАМН, Томск, Россия

E-mail:ts.ageeva@mail.ru

Показано, что для бронхиальной астмы характерны определенные изменения сцинтиграфических показателей, регистрируемых при проведении вентиляционно-перфузионной пульмоносцинтиграфии, которые свидетельствуют о нарушениях вентиляции и перфузии, а также об изменении состояния альвеолярно-капиллярной мембраны, что может иметь дополнительное значение для раннего выявления заболевания.

Бронхиальная астма (БА) относится к весьма распространенным заболеваниям: число больных в мире оценивается в 300 млн человек, что эквивалентно населению США [1,2]. По данным ВОЗ ежегодно от БА погибает примерно 250 тыс. пациентов, многие из которых могли быть спасены при проведении адекватного лечения [3,4]. В последние годы в рамках общества пульмонологов в России были проведены современные эпидемиологические исследования, методология которых была построена на рекомендациях Европейского респираторного общества, согласно которым общее число больных БА в России приближается к 7 млн человек [5]. Поэтому проблема ранней диагностики БА является весьма актуальной. Есть основания полагать, что вентиляционно-перфузионная пульмосцинтиграфия может занять достойное место в ряду дополнительных методов диагностики БА, поскольку позволяет оценить и выявить ранние нарушения легочной микроциркуляции и вентиляции и состояние альвеолярно-капиллярной проницаемости (АКП), и получить дополнительные сцинтиграфические критерии БА для дифференциальной диагностики ее с синдромосходными заболеваниями респираторной системы [6,7,8,9].

Цель: по данным вентиляционно-перфузионной пульмоносцинтиграфии изучить состояние вентиляции, перфузии и альвеолярно-капиллярной проницаемости у пациентов БА.

Материалы и методы

Было обследовано 18 пациентов с верифицированным диагнозом БА (средний возраст – 36,4±4,3 года) и 10 пациентов контрольной группы: здоровые, некурящие добровольцы (средний возраст – 18,7±0,4 года). Всем обследуемым была проведена вентиляционно-перфузионная пульмоносцинтиграфия. Сцинтиграфические исследования были выполнены на гамма-камере «Омега-500» («Technicare» США-Германия). Регистрацию изображений проводили в матрицу 128×128 специализированного компьютера. Обработку полученных сцинтиграмм осуществляли при помощи пакета прикладных программ «SCINTI» (НПО «ГЕЛМОС», Россия). Первоначально проводили вентиляционную пульмоносцинтиграфию, затем – перфузионную. Вентиляционную пульмоносцинтиграфию проводили непосредственно после ингаляции аэрозоля, используя диэтилентриаминпентаацетат (ДТПА), меченный 99m-Технецием – ^{99m}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 МРа. Регистрацию сцинтиграфических 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 сцинтиграфию легких лишь в задне-прямой проекции. Время экспозиции на каждую позицию составляло 2 мин. После завершения исследования проводили качественный анализ полученных сцинтиграфических изображений на предмет выявления ингаляционных дефектов накопления РФП, после чего использовали математический анализ ингаляционных сцинтиграмм легких для расчета следующих показателей: процент аккумуляции препарата каждым легким в отдельности; апикально-базальный градиент вентиляции (U/L_V), отражающий соотношение радиоактивности в верхних и нижних отделах легких. Общий легочный клиренс РФП, характеризующий альвеолярно-капиллярную проницаемость (АКП), проводили по разработанной нами методике [10].

В качестве радиофармпрепарата для перфузионной пульмоносцинтиграфии использовали макроагрегат альбумина человеческой сыворотки крови, меченный 99m-Технецием – ^{99m}Tc-Макротех («Диамед», Россия). Сцинтиграфию проводили в положении пациента сидя через 5 мин после инъекции препарата в статическом режиме в 4-х стандартных проекциях: передней и задней прямой, а также правой и левой латеральной. Запись исследования длилась до набора 300 тысяч импульсов на каждую позицию. При обработке сцинтиграмм определяли форму и размеры легких, равномерность распределения РФП и наличие дефектов накопления. Для определения степени выраженности нарушений перераспределения легочного кровотока определяли апикально-базальный градиент (U/L_Q) перфузии, отражающий соотношение радиоактивности в верхних и нижних отделах легких. Определение вентиляционно-перфузионного соотношения (V/Q) производили путем деления процента аккумуляции ингалированного радиоаэрозоля каждым легким в отдельности на аналогичный показатель накопления перфузируемого РФП.

Радионуклидные исследования были согласованы с этическим комитетом У РАМН научно-исследовательского института 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±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

По результатам исследования у пациентов БА V/Q как в правом легком, так и в левом легком не превышало 1,0 (0,98±0,06 и 0,94±0,12 соответственно), и не отличалось от значений V/Q в контрольной группе – 0,98±0,03 (p=0,72 и p=0,65, соответственно). В правом легком $U/L\text{-}_Q$ составлял 0,82±0,16 и был достоверно выше по сравнению с контрольной группой (0,66±0,04, p=0,02). Аналогичные изменения $U/L\text{-}_Q$ были зарегистрированы и в левом легком – 1,10±0,26 (p=0,004). У пациентов БА величина $U/L\text{-}_V$ в правом легком составляла 0,55±0,22, в левом легком – 0,57±0,12 и они были достоверно снижены по сравнению с показателями в контрольной группе (0,68±0,03, p=0,03 и p=0,04 соответственно). Значения АКП в правом и левом легких на 10-й мин исследования не отличались от величин АКП в контрольной группе: 10,19±3,7% и 9,68±1,19% (p=0,32 и p=0,09 соответственно). Сопоставление зарегистрированных величин АКП в правом и левом легких на 30-й мин исследования у пациентов БА в сравнении со значениями этого показателя у лиц контрольной группы (21,3±4,3%) свидетельствовало о статистически достоверном ее повышении, как в правом (27,21±4,22%), так и в левом легких (27,87±3,61%), (p=0,001 и p=0,002 соответственно) .

Выводы

Таким образом, к сцинтиграфическим признакам нарушения легочной вентиляции и перфузии у пациентов бронхиальной астмой можно отнести: снижение апикально-базального градиента вентиляции в обоих легких, увеличение апикально-базального градиента перфузии в обоих легких, повышенную альвеолярно-капиллярную проницаемость для радиоаэрозоля на 30-й мин исследования. Выявленные изменения показателей вентиляционно-перфузионной пульмоносцинтиграфии могут быть использованы в качестве дополнительных диагностических критериев при проведении дифференциальной диагностики бронхиальной астмы с другими синдромосходными заболеваниями.

Список литературы:

1. Респираторная медицина в 2 т. / под ред. А.Г. Чучалина. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2007.– Т.1. – С. 632-635.
2. Глобальная стратегия диагностики, лечения и профилактики хронической обструктивной болезни легких : пересмотр 2003 года : пер. с англ. / Всемирная организация здравоохранения (Женева), Национальный институт сердца, легких и крови. – М. : Атмосфера, 2003. – 96 с.
3. Пульмонология / под ред. А.Г. Чучалина. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : ГЭОТАР-Медиа, 2009. – 336 с. – (Серия «Клинические рекомендации»).
4. Чучалин А.Г. Белая книга. Пульмонология // Пульмонология. – 2004. – №1. – С. 7-36.
5. Чучалин А.Г. Достижения в лечении астмы в России в первой декаде нового тысячелетия. Consium medicum. – 2010. – Экстравыпуск. – С. 11-16.
6. Капишников А.В., Королюк И.П. Клиническое значение оценки проницаемости легочного эпителия методом аэрозольной ингаляционной сцинтиграфии. Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 1999. – №2. – С. 67-73.
7. Радионуклидная диагностика для практических врачей / под ред. Ю.Б. Лишманова, В.И. Чернова. – Томск : STT, 2004. – С. 138-157.
8. Рубин М.П. Радионуклидная перфузионная сцинтиграфия легких: методика исследования и интерпретации результатов / М.П. Рубин, О.Д. Кулешова, Р.Е. Чечурин // Радиология – Практика. 2002. – № 4. – С. 16-21.
9. Рубин М.П. Радионуклидные методы диагностики функциональных нарушений легких в амбулаторных условиях // Терапевтический архив, 2008. – №1. – С.10-16.
10. 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., Дубоделова А.В. и др. // Пульмонология. 2011. – №4. – С. 60-64.

УДК 616.995.122.21:616.248 – 008.4

Оценка показателей эластического сопротивления легких при хроническом описторхозе у больных бронхиальной астмой

О.В. Калинина, Т.Н. Бодрова, А.И. Карзилов, П.Е. Месько
ГБОУ ВПО СибГМУ Минздравсоцразвития России
E-mail: *kov7575@km.ru*

Здоровье человека в значительной степени определяется той средой, в которой он живёт. Эндемические заболевания (от греч. endemos – местный) относятся к болезням, которые длительное время наблюдаются у людей, проживающих на ограниченной территории, в определённой местности и могут быть связаны со стойкими природными очагами паразита и его переносчиков. Паразитарные болезни, вызываемые гельминтами и простейшими, широко распространены во всем мире и представляют серьезную проблему для здоровья населения. В последние годы наблюдается рост заболеваемости некоторыми гельминтозами, в том числе и описторхозом. Описторхоз с большой частотой встречается на территории России. Впервые проведённый кадастровый принцип анализа эпидемической ситуации по описторхозу, позволил установить, что из 89 выделяемых Конституцией России (1993 год) административных территорий на 23 (25,8%) из них имеются эндемичные территории. В целом, случаи заболевания людей описторхозом местного и привозного происхождения зарегистрированы на 87,6% административных территориях России, что позволяет отнести описторхоз к паразитарным болезням, имеющим общегосударственное значение [5]. Если в Европейской части России описторхисами инвазировано около 0,02-0,1% взрослого населения, то пораженность им населения некоторых районов территории Обь-Иртышского речного бассейна достигает 95%. По расчетам число инвазированных Opisthorchis felineus лиц на территории России превышает 2 млн. человек [1, 3, 4, 5].

Томская область находится в центре самого крупного природного очага кошачьей двуустки – Opisthorchis felineus, трематоды, вызывающей тяжёлое заболевание человека описторхоз. Заражение происходит при употреблении зараженной метацеркариями рыбы семейства карповых (язь, елец, плотва и др.). В городах Томской области – Стрежевом, Кедровом, Томске отмечается высокий уровень заболеваемости описторхозом. Это можно объяснить высокой плотностью населения, несовершенством очистки сточных и канализационных вод (подтверждение тому положительные находки при санитарно-паразитологических исследованиях рыбы карповых пород), в результате чего яйца гельминтов попадают в реки Обь, Томь, Парабель, как следствие, повышается инвазированность рыбы местных водоёмов, которую потом употребляет в пищу местное население.

Известно, что описторхозная инвазия отягощает и осложняет течение ряда заболеваний, не только органов обитания паразита, но и других (Яблоков Д.Д., 1979; Лепехин А.В. и др., 1984, 1992, 2001; Стрелис А.К., Лимберг В.Р. и др., 1988 и др.). Не составляет исключение и бронхолегочная система. Эта проблема остаётся малоизученной.

Особый интерес представляет изучение механических аспектов вентиляционной функции легких, поскольку показатели механики дыхания наиболее точны и информативны в диагностике функциональных нарушений аппарата внешнего дыхания (АВД) [6]. Активное исследование механики дыхания в настоящее время важно, прежде всего, для анализа недостаточно изученных биомеханических процессов дыхания, что необходимо для понимания патогенеза и оценки эффективности терапии заболеваний респираторной системы.

Цель работы: изучить и сопоставить показатели эластического сопротивления легких при хроническом описторхозе (ХО) у больных бронхиальной астмой (БА) до и после лечения описторхоза.

Материалы и методы исследования.

Для проведения исследований были сформированы 2 группы. Первую составили 25 пациентов БА в стадии ремиссии в сочетании с ХО. Интенсивность описторхозной инвазии в среднем составляло 10,4 ± 6,0 лет. Диагноз ХО верифицировался обнаружением яиц Opisthorchis felineus копровооскопическим методом по Като или микроскопическим исследованием желчи. Вторая группа была сформирована из 21 пациента БА после успешно проведенной дегельминтизации описторхоза. Дегельминтизация проводилась в фазу ремиссии БА бильтрицидом (празиквантель, производства фирмы Bayer AG (Германия) по общепринятой

схеме. Диагноз БА устанавливался на основании общепринятой классификации и критериев проекта GINA [2].

Исследование проводилось утром в состоянии относительного покоя пациентов. Биомеханические свойства легких оценивались путем одновременной регистрации спирограммы, пневматахограммы и транспульмонального давления (ТПД) с помощью универсального пневматохографа ПТГ-3 («Медфизприбор», г.Казань) [6]. Пищеводное давление измерялось при помощи специального пищеводного зонда.

Полученные данные подвергались статистической обработке при помощи пакета программ STATISTICA 6 for Windows.

Исследование одобрено этическим комитетом ГБОУ ВПО СибГМУ Минздравсоцразвития России.

Результаты и обсуждение.

По общепринятым интегральным показателям биомеханики дыхания проводилась оценка показателей структуры эластического сопротивления легких. Так, динамическая растяжимость (Cdyn), статическая растяжимость (Cst) и эластическая тяга легких (ЭТЛ) в среднем не изменились по сравнению с таковыми до лечения. Коэффициент ретракции лёгких (КРЛ) после дегельминтизации снизился с 0,33±0,06 кПа$^{-1}$·л до 0,26±0,04 кПа$^{-1}$·л ($p<0,05$).

Таблица 1

Эластическое сопротивление легких у исследуемых лиц

Показатели	Первая группа БА+ ХО n = 25 (1)	Вторая группа БА+после лечения ХО n = 21 (2)	P 1 -2
Cdyn, л·кПа$^{-1}$	1,54 ± 1,15	1,91 ± 0,25	---
Cst,л·кПа$^{-1}$	1,38 ± 0,9	1,4 ± 0,5	---
ЭТЛ, кПа	1,39 ± 0,08	1,2 ± 0,1	---
КРЛ, кПа·л$^{-1}$	0,33 ± 0,06	0,26 ± 0,04	p<0,05

Отсутствие изменений растяжимости легких объяснить трудно, вероятно можно предположить, что эти показатели являются более устойчивыми при БА, в том числе устойчивыми можно считать те компенсаторные реакции, которые объясняют функциональное повышение эластичности легких при спонтанном дыхании и функциональное снижение ЭТЛ [7]. Необходимо обратить внимание, что всё же эластические свойства легких после дегельминтизации изменились, об этом свидетельствует уменьшения КРЛ. Интерпретировать эти результаты исследований достаточно сложно. С позиции механической активности легких это можно объяснить тем, что под влиянием лечения улучшилась функция гладкой мускулатуры легких, которая является источником механической энергии и предполагаемой механической активности легких. После лечения, по-видимому, усилилась работа источника механической активности легких и в результате этого доля ТПД на единицу объема уменьшилась, что и стало причиной снижения КРЛ. Уменьшение же КРЛ, вероятно связано с тем, что после дегельминтизации уменьшилось выраженность иммунопатологического воспаления.

Выводы. Исследования показали, что хронический описторхоз при бронхиальной астме способствует повышению иммунопатологического воспаления, что утяжеляет течение бронхиальной астмы. Поэтому, данной категории больных целесообразно рекомендовать необходимость проведения дегельминтизации.

Список 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. Бронхиальная астма: Руководство для врачей России (Формулярная система). – М., 1999. – 40с. – (Приложение к журн. «Пульмонология»).
3. Бронштейн А.М. Современные вопросы патофизиологии диагностики и лечения паразитарных заболеваний органов пищеварения /А.М. Бронштейн, Н.А. Малышев. М.: ИМПТМ, 2001.- http: / www.gastroportal.ru (10.05.2006).
4. Ильинских Е.Н. Актуальные вопросы изучения проблемы описторхоза в Сибири / Е.Н. Ильинских // Бюллетень сибирской медицины, 2002. № 1 - С.63.

5. Котелкин А.Т. Описторхоз / А.Т. Котелкин, И.А. Разумов, В.Б. Локтев // Медицинская паразитология и паразитарные болезни. -1996.-№2.-С. 18-23.
6. Тетенев Ф.Ф. Биомеханика дыхания. – Томск, 1981.
7. Тетенев К.Ф. Биомеханика дыхания при бронхиальной астме. Автореф. дис. … канд.мед.наук. - Томск, 1998. – 26с.

УДК 616.2-08:612.

Состояние регуляция дыхания у здоровых людей при чрескожной электростимуляции диафрагмы

А.И. Карзилов, Ф.Ф. Тетенев, О.В. Калинина, О.В. Якис
Сибирский государственный медицинский университет, г. Томск, Россия
E-mail: karzilov@mail.ru

В настоящее время признается существенной роль большого числа воздушных полютантов в развитии хронических заболеваний органов дыхания у лиц, проживающих в экологически неблагополучных регионах. Закономерным исходом хронической патологии органов дыхания является развитие хронической дыхательной недостаточностью [3]. Поэтому, важным вопросом экологической физиологии дыхания является изучение устойчивости регуляции дыхания у здоровых людей, которую с позиций механизмов обеспечения биомеханического гомеостазиса аппарата внешнего дыхания точно можно оценить при возмущающем воздействии чрескожной электростимуляции диафрагмы [1, 2].

Цель работы: изучить устойчивые функциональные связи между паттернами вентиляции легких и восприятием дыхания у здоровых лиц при чрескожной электростимуляции диафрагмы и дать оценку полученных результатов с позиций теории биомеханического гомеостазиса аппарата внешнего дыхания [1, 2].

Материал и методы исследования. Исследования были проведены на группе здоровых лиц без заболеваний легких в анамнезе (20 мужчин, средний возраст 20,2 года), у которых при тщательном клиническом обследовании не было найдено признаков патологии легких. Для исключения возрастных и половых влияний на регуляцию дыхания группа здоровых была сформирована из некурящих лиц мужского пола, молодого возраста, занимающихся спортом и имеющих 2 и 3-й спортивный разряд.

Перед проведением сеанса чрескожной электростимуляции диафрагмы всех исследуемых лиц тщательно инструктировали. Оценка восприятия дыхания проводилась в баллах. Состояние дыхательного центра оценивалась по максимальному времени задержки дыхания (T) в секундах после спокойного выдоха, индексу инспираторной активности (ИИА=Ti/Tt), скорости вдоха (Vi) и выдоха (Ve) в л/с, частоте дыхания в минуту (F). Механические свойства легких оценивались по $ОФВ_1$ в литрах (характеризует бронхиальную проходимость) и общей работе дыхания (At) в кгм/мин (характеризует внутрилегочное сопротивление), определяемой по кривым объема и транспульмонального давления при текущем значении минутного объема дыхания (V), регистрируемыми при помощи пневмотахографа с интегратором («Медфизприбор», г. Казань) [4].

Всем обследуемым лицам проводился разовый сеанс чрескожной электростимуляции диафрагмы. Через 30 минут после этого все исследуемые получали 4 ингаляционные дозы (высшая разовая терапевтическая доза) бронхолитического средства беродуал.

Оценка восприятия дыхания, показатели работы дыхательного центра и вентиляционной функции легких исследовались до сеанса чрескожной электростимуляции диафрагмы, через 5 минут после него, и через 20 минут после последней ингаляции беродуала. Показатель At определяли до и после сеанса чрескожной электростимуляции диафрагмы.

Результаты и обсуждение. Сеанс чрескожной электростимуляции диафрагмы вызвал достоверное улучшение восприятия дыхания ($p<0.01$), увеличение T ($p<0.03$), Vi ($p<0.03$), Ve ($p<0.01$), V ($p<0.01$) и At ($p<0.01$). Ингаляции беродуала после сеанса чрескожной электростимуляции диафрагмы вызывали достоверное улучшение восприятия дыхания ($p<0.01$) и увеличение $ОФВ_1$ ($p<0.001$).

Улучшение у здоровых лиц восприятия дыхания свидетельствует о том, что оно является балансом разнонаправленных процессов, формирующих дыхательные ощущения в лимбической системе центральной нервной системы, которые могут смещать баланс не только в сторону ухудшения восприятия дыхания (одышка), но и в сторону его улучшения (легкость дыхания, дыхательная эйфория), что является новым фактом в физиологии дыхания.

Данный эффект может быть объяснен снижением интенсивности афферентного потока с дыхательной мускулатуры, который с позиций теории биомеханического гомеостазиса аппарата внешнего дыхания [1, 2], можно объяснить оптимизацией паттерна работы дыхательной мускулатуры под влиянием чрескожной электростимуляции диафрагмы (внелегочный механизм) или активацией внутрилегочного источника механической энергии, уменьшающего долю работы дыхательной мускулатуры по преодолению внутрилегочного сопротивления (внутрилегочный механизм) [1, 2, 5].

Были построены структурные модели паттернов дыхания и восприятия дыхания по значимым ($p<0.05$) коэффициентам групповой канонической корреляции (Rc). При этом наблюдались тесные взаимосвязи между ИИА, Vi, Ve, V и At, которые можно определить как основную функциональную биомеханическую систему аппарата внешнего дыхания, регулируемую дыхательного центра у здоровых лиц.

По направлению корреляционных связей, определяемых по коэффициенту Пирсона между параметрами V и F, изучили вентиляторный тип реакции дыхательного центра. Было получено, что сеанс чрескожной электростимуляции диафрагмы и ингаляции бародуала вызывали у здоровых лиц изовентиляторную реакцию дыхательного центра.

Таким образом, с позиций теории биомеханического гомеостазиса аппарата внешнего дыхания и механизмов его обеспечения [1, 2] можно выделить следующие особенности устойчивого функционирования регуляторных механизмов дыхания у здоровых людей при возмущающем воздействии чрескожной электростимуляции диафрагмы на аппарат внешнего дыхания: 1) Особенностью функционирования лимбического уровня системы регуляции дыхания (оценка по динамике восприятия дыхания) является относительно низкий порог реакции, широкий диапазон ответной реакции, ступенчатость ответной реакции, отсутствие жесткой связи с работой дыхательного центра, внутрилегочного сопротивления и бронхиальной проходимостью, оказывает слабое влияние на формирование паттернов дыхания. 2) Особенностью функционирования дыхательного центра (оценка по динамике Т) является различный порог реакций, небольшой диапазон ответной реакции, ответная реакция по типу «все или ничего», отсутствие жесткой связи с лимбической системой центральной нервной системы, с внутрилегочным сопротивлением и бронхиальной проходимостью, оказывает ведущее влияние на формирование паттернов дыхания.

Список литературы:

1. Карзилов А.И. Биомеханический гомеостазис аппарата внешнего дыхания и механизмы его обеспечения в нормальных условиях и при обструктивных заболеваниях легких // Бюллетень сибирской медицины. – 2007. – Т. 6, № 1. – С. 13–38.
2. Карзилов А.И. Регуляторное обеспечение устойчивости биомеханики дыхания при обструктивных заболеваниях легких: Дис. ... докт. мед. наук / Сибирский государственный медицинский университет. – Томск; Алтайский государственный медицинский университет. – Барнаул, 2009. – 392 с.
3. Пульмонология: руководство (клинические рекомендации) / Под ред. А.Г. Чучалина. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2007. – 240 с.
4. 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.
5. Тетенев Ф.Ф. Обструктивная теория нарушения внешнего дыхания. Состояние, перспективы развития // Бюллетень сибирской медицины. – 2005. – Т. 4, № 4. – С. 14–26.

УДК615.099.036.8

Гендерные особенности смертности населения

И.Н. Конобеевская, Е.В. Ефимова
НИИ кардиологии СО РАМН, г. Томск, Россия
kin@cardio.tsu.ru

В настоящее время в Российской Федерации сложилась крайне неблагоприятная ситуация в области воспроизводства населения, которая может быть охарактеризована как затянувшийся демографический кризис, ведущий к необратимым негативным демографическим, а значит экономическим и социальным последствиям. Наиболее негативной особенностью является беспрецедентно высокая смертность населения, особенно в трудоспособных возрастах. При этом смертность мужчин в трудоспособных возрастах в 4 раза превышает смертность женщин. Различия в здоровье мужчин и женщин общепризнанны. Основной вопрос, который встает при

изучении гендерных дифференциаций здоровья, состоит в том, являются ли они биологически или генетически детерминируемыми или формируются культурой и окружающей средой. Согласно биомедицинскому подходу, наблюдаемые гендерные различия в здоровье являются биологическим «продуктом», основанным на унаследованных рисках (8). Например, гендерные различия в продолжительности жизни могут быть объяснены биофизическими различиями между мужчинами и женщинами, а именно тем, что мужчины менее «прочны» и более уязвимы, чем женщины. Жизнестойкость и адаптационные ресурсы женского организма связывают с поддержкой репродуктивной функции. Большое число исследований, в которых изучалось здоровье мужчин и женщин с социоструктурных позиций, показало, что такие социальные индикаторы, как образование, статус занятости и социально-экономический статус, брачный и родительский статус, социальная поддержка, тесно связаны со здоровьем людей и их благополучием и объясняют гендерные различия в нездоровье. Женщины занимают иные, по сравнению с мужчинами, структурные позиции: они чаще не работают, заняты в иных профессиях, у них, в целом, ниже доходы; они чаще воспитывают детей в одиночку. Обнаруживаются гендерные дифференциации в поведении мужчин и женщин, характеризующем их стили жизни в здоровье; курение и потребление алкоголя — наиболее значимые детерминанты статуса здоровья для мужчин, тогда как низкая физическая активность — для женщин (2,3,5,7). Наблюдаются и гендерные особенности проявления психосоциальных факторов — критических событий жизни, хронических стрессов и психологических ресурсов. Например, стресс может переживаться женщинами и мужчинами различным образом. Женщины реагируют больше на текущее напряжение, на стрессы, переживаемые другими людьми, и на стрессы, связанные с их семейными и брачными ролями. Мужчины же чаще страдают от экономических стрессоров (снижение заработков, потеря работы). Гендерная роль — это дифференциация деятельности, статусов, прав и обязанностей индивидов в зависимости от их половой принадлежности.

Гендерные отношения в здравоохранении охватывают широкий круг проблем, которые не сводятся исключительно к проблемам здоровья женщин и мужчин или к особым интересам двух полов в предоставлении медицинских услуг. На 1 января 2009 г. в России было 76,3 млн. женщин (53,7%) и 65,6 млн. мужчин (46,3%), из них в трудоспособном возрасте - 43,5 млн. женщин и 45,7 млн. мужчин (1). В табл. 1 приведена динамика демографических показателей России (РФ) и Томской области (ТО) за 1992-2008 гг.

Таблица 1. Динамика численности населения Российской Федерации и Томской области

Показатель (млн чел.)		1992	1995	2000	2003	2004	2005	2006	2007	2008	динамика (%)
Численность населения	РФ	148,6	148,3	146,3	144,2	143,5	142,8	142,2	142,0	141,9	- 3,6
	ТО	1,077	1,071	1,056	1,043	1,039	1,035	1,034	1,034	1,037	- 3,7
В том числе в возрасте:											
моложе трудоспособного	РФ	35,4	33,6	28,4	25,0	24,1	23,3	22,7	22,5	22,5	- 36,4
	ТО	0,278	0,259	0,214	0,182	0,175	0,169	0,165	0,163	0,164	- 41,0
мужчины	РФ	18,0	17,1	14,5	12,8	12,3	11,9	11,6	11,5	11,5	- 36,1
	ТО	0,141	0,131	0,109	0,093	0,089	0,087	0,085	0,084	0,084	- 36,9
женщины	РФ	17,4	16,5	13,9	12,2	11,8	11,4	11,1	11,0	11,0	- 36,8
	ТО	0,137	0,127	0,104	0,089	0,085	0,083	0,081	0,080	0,080	- 41,6
в трудоспособном возрасте	РФ	83,9	84,5	88,0	89,9	90,2	90,4	90,2	89,7	89,3	+ 6,4
	ТО	0,631	0,636	0,665	0,686	0,688	0,690	0,690	0,688	0,686	+ 8,7
мужчины	РФ	43,5	44,1	44,4	45,4	45,8	46,1	46,0	45,9	45,8	+ 5,3
	ТО	0,331	0,334	0,336	0,344	0,347	0,349	0,350	0,349	0,349	+ 5,4
женщины	РФ	40,4	40,4	43,6	44,5	44,4	44,3	44,2	43,8	43,5	+ 7,7
	ТО	0,299	0,302	0,330	0,342	0,342	0,341	0,340	0,339	0,337	+ 12,7
старше трудосп.. возраста	РФ	29,3	30,2	29,9	29,3	29,2	29,1	29,3	29,8	30,1	+ 2,7
	ТО	0,168	0,176	0,177	0,175	0,176	0,177	0,177	0,182	0,190	+ 13,1
мужчины	РФ	8,2	8,3	9,4	8,8	8,5	8,2	8,2	8,3	8,4	+2,4
	ТО	0,048	0,050	0,056	0,054	0,052	0,050	0,050	0,051	0,052	+8,32
женщины	РФ	21,1	21,9	20,5	20,5	20,7	20,9	21,1	21,5	21,7	+2,8
	ТО	0,124	0,126	0,120	0,121	0,123	0,126	0,129	0,132	0,135	+ 8,9

Данные свидетельствуют о том, что эти изменения носят однонаправленный характер, говорящий о снижении численности населения, наиболее выраженном у лиц моложе трудоспособного возраста (36,4 и 41%), особенно у женщин (36,8 – 41,6%) и некоторое увеличение у лиц трудоспособного и старшего возраста (6,4 – 2,7%). По сравнению с россиянами у населения Томской области эти изменения более выражены, особенно у женщин.

Следует отметить, что в начале 2000 года доля населения пенсионного возраста в России достигла 20,6%, увеличившись с 11,7% в 1960 году, т.е. возросла в 1,8 раза. Одновременно доля детей сократилась с 30% до 20%. Еще более негативные изменения ожидаются у населения моложе и старше трудоспособного возраста. Численность детей будет постоянно сокращаться с 27,9 млн. человек в 2001 году до 20,6 млн. человек в 2016 году, а пожилых вырастет с 29,9 млн. до 33,4 млн. за этот же период. Это означает сокращение численности населения в целом, особенно его трудоспособной части, и рост числа пенсионеров в последующие годы, причем темпы этого процесса в Томской области существенно превышают российский уровень.

Изучение состояния здоровья и смертности женщин и мужчин трудоспособного возраста имеет большое значение для сохранения жизнеспособности нации и развития экономики страны. Смертность трудоспособного населения России с 1990 г. увеличилась более чем в 1,5 раза (4,6). Динамика различий в показателях смертности мужчин и женщин за семь лет представлена в табл. 2. Мужчины практически в 4 раза чаще, чем женщины, умирают от инфекционных и паразитарных болезней (особенно велики уровни смертности от инфекционных болезней, таких как ВИЧ-инфекция, туберкулез), а также от внешних причин, в 2,7 раза чаще; от болезней органов дыхания, в 1,5 раза; от болезней органов пищеварения, в 1,3 раза чаще.

Таблица 2. Смертность населения по основным причинам (на 100 тыс. населения)

Класс болезней		Пол	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Некоторые инфекционные и паразитарные болезни	РФ	Муж.	43,0	44,9	44,9	44,2	46,4	42,5	40,4
		Жен.	8,3	9,1	9,4	9,7	10,7	10,1	10,3
	ТО	Муж.	-	-	44,3	45,6	41,4	31,8	25,2
		Жен.	-	-	9,3	10,6	10,0	10,7	12,8
Злокачественные новообразования	РФ	Муж.	238,3	239,1	236,0	234,0	233,1	231,5	233,9
		Жен.	171,5	171,6	170,4	170,4	170,3	171,2	173,0
	ТО	Муж.	321,3	347,4	357,8	343,8	365,6	335,2	320,0
		Жен.	171,2	167,5	173,1	181,5	182,3	181,1	185,5
Болезни системы кровообращения	РФ	Муж.	834,6	888,2	912,6	890,6	905,9	845,7	812,1
		Жен.	904,1	939,1	940,5	899,5	909,8	881,2	852,8
	ТО	Муж.	837,0	896,7	884,1	840,7	879,1	756,2	756,0
		Жен.	635,5	666,1	653,1	640,0	668,1	638,6	603,9
Болезни органов дыхания	РФ	Муж.	101,9	108,7	109,4	101,4	104,1	89,7	84,5
		Жен.	34,5	37,4	36,6	32,7	33,4	30,8	29,3
	ТО	Муж.	80,1	82,3	84,3	91,5	104,6	95,0	87,6
		Жен.	27,5	30,6	31,0	34,2	38,6	30,2	31,3
Болезни органов пищеварения	РФ	Муж.	60,5	66,0	71,2	73,9	81,9	77,9	76,1
		Жен.	37,6	41,3	44,3	46,6	51,4	49,7	49,3
	ТО	Муж.	69,2	72,4	68,2	68,8	87,5	85,5	73,8
		Жен.	43,7	49,4	52,2	52,0	61,1	60,6	58,0
Внешние причины	РФ	Муж.	385,3	395,5	390,2	380,3	371,0	332,1	306,1
		Жен.	94,8	98,8	97,5	94,8	90,8	83,1	76,1
	ТО	Муж.	321,3	347,4	357,8	343,8	365,6	335,2	320,0
		Жен.	87,2	87,4	94,1	89,9	106,8	85,7	88,5

Вместе с тем, отмечается положительная тенденция снижения уровня смертности, как населения России, так и населения Томской области. Достигнув максимального значения по многим показателям в 2002г. уровень смертности от некоторых заболеваний существенно снизился. Анализируя структуру причин смертности за этот период в Томской области, необходимо отметить снижение числа смертей от инфекционных и паразитарных болезней на 29,6%; от внешних причин (несчастных случаев, отравлений и травм) – на 7,6%; от болезней системы кровообращения (БСК) – на 10,5%. И в то же время выявляется некоторое увеличение

числа смертей: от болезней органов пищеварения на 7,1%; органов дыхания – на 3,5%; от новообразований – на 3%. Причем, в группе женщин эти тенденции более выражены.

Среди основных классов причин смерти первое место на протяжении всего исследуемого периода занимает смертность от болезней системы кровообращения, на втором месте у мужчин – смертность от внешних причин, у женщин – смертность от новообразований, и третью позицию занимают у женщин смертность от внешних причин – у мужчин – смертность от новообразований. Особенностью этих классов причин смерти населения является то, что они зависят от условий жизни и в большей мере определяются поведенческими факторами. Общая смертность от БСК у мужчин России и Томской области несколько меньше, чем у женщин, однако, более 30% мужчин умирает по этой причине в трудоспособном возрасте, а женщины – в преклонном возрасте. Резкие отличия смертности мужчин и женщин Томской области наблюдаются по основным классам причин смерти. Так, смертность мужчин превышала смертность женщин от новообразований в 1,4 (2001г.) – 1,3 раза (2007г.); от инфекционных и паразитарных болезней – в 3,4 – 2,1 раза; от болезней органов дыхания – в 2,9 - 2,8 раза; болезней органов пищеварения – в 1,6 - 1,3 раза; от внешних причин – в 3,7 - 3,6 раза соответственно. И только смертность от БСК у женщин области превышает мужскую на 16,6 – 10,8%.

Различия в смертности населения по полу являются следствием различий в образе жизни мужчин и женщин. Мужчины чаще, чем женщины, заняты на работе с тяжелыми и вредными условиями труда, подвержены в большей мере психологическим стрессам, характерными для мужчин являются злоупотребления алкоголем, курение, нарушение режима питания. Исследование поведенческих факторов риска по полу и возрастным группам показало, как в мужской, так и в женской популяциях выявлена широкая распространенность курения (86,5% у мужчин и 18,6% у женщин) и употребления алкоголя (соответственно 75,4 и 38,6%). Отмечено, что больше всего курят и употребляют алкоголь лица трудоспособного возраста, причем, у мужчин эти показатели в два и более раза превышают аналогичные данные женщин (табл. 3).

Таблица 3. Распространенность поведенческих факторов риска (%)

	мужчины			женщины		
	0-15 лет	трудосп. возраст	старше труд. возраста	0-15 лет	трудосп. возраст	старше труд. возраста
Алкоголь	0,17	49,40	25,87	0,05	20,88	17,62
Курение	0,18	53,50	32,84	0,06	10,87	7,67

Все эти факторы ведут в итоге к увеличению смертности мужского населения, особенно это заметно в трудоспособном возрасте (табл.4).

Таблица 4. Причины смерти населения Томской области в трудоспособном возрасте

	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Всего умерших в тудосп. возрасте	4787	5107	4943	5198	4584	4231
В том числе:						
внешних причин	1600	1705	1598	1717	1548	1545
БСК	1188	1131	1154	1231	1090	1024
новообразований	566	575	635	619	610	638
болезней органов пищеварения	287	306	303	399	363	321
болезней органов дыхания	206	227	253	326	258	224
инфекц. и паразитарных болезней	173	176	189	172	132	115

Анализ структуры причин смерти населения в трудоспособном возрасте показывает рост числа умерших от новообразований на 12,7%; от болезней органов дыхания – на 8,7%; от болезней органов пищеварения – на 11,8%. Первое место занимают внешние причины (несчастные случаи, убийства, самоубийства, отравления и травмы), они составляют на протяжении ряда лет 35%. Смертность мужчин и женщин в трудоспособном возрасте оказывает самое неблагоприятное воздействие на формирование и состав трудовых ресурсов области. Ежегодные потери населения трудоспособного возраста составляют по области треть общего числа умерших, подавляющее число из них – мужчины (78%). Их смертность в 3,6 раза превышает смертность женщин. Рост смертности в трудоспособных возрастах и повышенная смертность мужчин ведут к увеличению в населении численности вдов и несовершеннолетних сирот, преобладанию в старших возрастных группах населения одиноких женщин.

Установлено, что 80% преждевременных смертей могут быть предотвращены эффективной деятельностью здравоохранения: это профилактика факторов риска, пропаганда здорового образа жизни, раннее выявление, адекватное лечение и реабилитация заболевших. Большинство неинфекционных болезней и травм можно предупреждать и контролировать через комплексную национальную программу, реализуемую на федеральном, региональном и местном уровнях, с учетом рекомендуемых, международно-признанных мер. Пришло время признать масштабность социальных и экономических факторов, влияющих на состояние здоровья, включая ответственность самих граждан за состояние собственного здоровья и ответственность государства за создание условий, позволяющих населению делать выбор в пользу здорового образа жизни.

Список литературы:

1. Демографический ежегодник России. Росстат, М., 2006.561 с. (также за 2007, 2008, 2010 гг.).
2. Заридзе Д.Г., Карпов Р.С., Киселева С.М., Конобеевская И.Н. и др. Курение — основная причина высокой смертности россиян // Вестник РАМН. 2002. №9. С. 40-45.
3. Zaridze D, Boroda A, Konobeevskaya I., Karpov R., Boffetta P. et al. Alcohol and cause-specific mortality in Russia: a retrospective case-control study of 48 557 adult deaths // The Lancet, Vol. 373, June 27, 2009, - P. 2201-2214.
4. Иванова А.Е., Семенова В.Г., Гаврилова Н.С, Евдокушина Г.Н., Гаврилов Л.А., Демченко Т.А. Особенности смертности населения России в 1990-е годы и резервы ее снижения: динамика и прогноз // Профилактика заболеваний и укрепление здоровья. 2002. №3. С.9-19.
5. Камардина Т.В., Глазунов И.С., Соколова Л.А., Лукичева Л.А. Распространенность курения среди женщин России // Профилактика заболеваний и укрепление здоровья. 2002. №1. С. 7-12.
6. Кладов С.Ю., Конобеевская И.Н., Карпов Р.С. Факторы демографической нестабильности населения Томской области – Томск: Изд-во «Печатная мануфактура», 2009. – 224 с.
7. Немцов А.В. Потребление алкоголя в России во второй половине 1990-х годов // Вопросы наркологии. 2001. №2. С. 59-64.
8. Неравенство и смертность в России / Под ред. В. Школьникова, Е. Андреева и Т. Малевой. М.: Центр Карнеги, 2000. – 86 с..

Физическая работоспособность и окислительные процессы у детей, проживающих в разных экологических зонах

Т.В. Матковская, Е.А.Ямановская, Г.А.Суханова

Сибирский государственный университет, Минздравсоцразвития, г. Томск, Россия

После аварии на промышленно-ядерном комплексе (ПЯК) в апреле 1993г. загрязнено 120 км^2 территории с суммарной активностью 500-900 Ки. Выброшено в атмосферу 250м^3 радиоактивных и химических веществ (плутония-239, урана, цезия-137, трития, необия-95, циркония-95, фтора, йода, нитритов, нитратов, фосфатов и др.). Наличие трибутилфосфата в воздухе(выброшено 3т) усиливало резорбцию плутония в организме. В зону радиационно-химического загрязнения попали пос. Наумовка, Георгиевка. Население получило низкоинтенсивные дозы внешнего и внутреннего облучения в сочетании с действием выброшенных в атмосферу химических веществ [1, 2, 3]. Заболеваемость детей и подростков в зоне радиационного загрязнения имеет отчетливую тенденцию к увеличению. Известно, что малые дозы радиации с длительным сроком воздействия вызывают более значительные соматические изменения в организме, чем та же доза, полученная за короткий срок. Радиационные эффекты малых доз у детей не изучены, отсутствуют маркеры радиационного поражения малыми дозами. Неспецифичность и полиморфизм их проявлений затрудняют диагностику [4,5].

Материалы и методы. В 2006 – 2011 гг. обследовано 67детей основной группы, проживающих в п. Наумовка, Георгиевка , 51 ребенок - группы сравнения, проживаюших в Хакасии, республике Тыва, Красноярском крае, 22 ребенка - детского дома г.Томска. Возраст детей колебался в пределах от 8 до 18 лет. Дети основной группы во время аварии находились на 1-ом году жизни или во внутриутробном развитии, или родились вскоре после аварии. Проводилось общепринятое клиническое исследование, а также в сыворотке крови определяли уровень малонового диальдегида (МДА) - показатель перекисного окисления липидов (ПОЛ), каталазы – показатель антиоксидантной защиты. Исследовали содержание молочной (МК) и пировиноградной кислоты (ПВК), соотношения лактат/пируват (МК/ПВК), являющиеся

показателями утомляемости ребенка. Статистическую обработку данных проводили при помощи программного пакета Statistic.

Анамнез антенатальный и постнатальный период у детей основной и группой сравнения был по некоторым показателям сопоставим (рис 1). Социальные условия определялись как одинаковые в связи с тем, что дети основной группы проживали в школе – интернате и получали одинаковое питание, а дети группы сравнения - в детском доме и санатории Шира

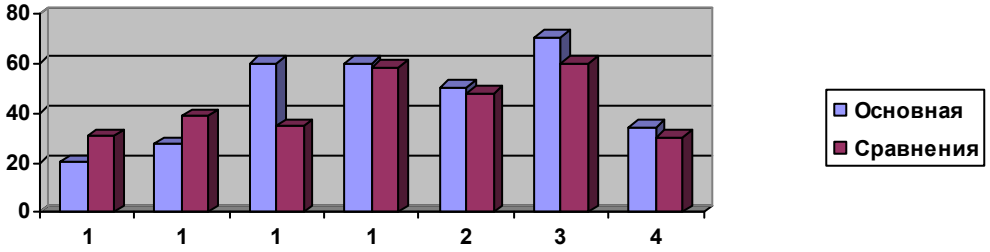


Рис. 1. Результаты отягощенности (в %) анамнеза у детей
1-наследственный анамнез (1-е столбцы – дети в возрасте 8-10 лет, 2 ст.-11-14 лет,
3ст – дети 15-18 лет, 4ст.- общий), 2 – акушерский анамнез,
3 – социальный анамнез, 4 – анамнез жизни

При объективном обследовании детей основной группы отмечались учащение жалоб, по сравнению с группой сравнения. Физическое развитие школьников линейный дискриминантный анализ значений массы, длины тела, окружности основной группы был достоверно ниже показателей группы сравнения. На основании объективных и лабораторных данных встречаемость синдромов и заболеваний у школьников в основной группе и группе сравнения различны. В основной группе детей чаще отмечались симптомы и синдромы хронической патологии, чем у детей в группе сравнения. 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, кариеса -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. Это может быть маркерами поражения детей малыми дозами, длительно проживающих на территории с радиактивно-химическим загрязнением ПЯК. Сходные изменения отмечались у детей группы сравнения г. Томска.

Чтобы исключить влияние заболеваний на исследуемые показатели, дети распределены по следующим группам: дети с хроническими заболеваниями ЖКТ 50(74,6%) детей пос. Наумовка, 33 (64,6%) детей санатория Шира, 13(58,0%) детей детского дома №90; группы детей с хроническим тонзиллитом и фарингитом – соответственно по группам 49(73,1%), 20 (13,9%), 11(50%),с хроническими заболеваниями печени – соответственно31(46,2%), 14(27,4%), 9(40,9%); с хроническими заболеваниями нервной системы - соответственно 78,2%, 72,8%, 15,6%, (табл.1).

Таблица 1. Распределение хронических заболеваний у детей

Группы детей, заболевания	**Основная n=67,%**	**ДД № 90 n=22, %**	**Санаторий Шира n=51,%**
1	2	3	4
Хронич. Заболевания ЖКТ	50(74,6%)	13(58,0%)	33(64,6%)
Хронич. Тонзиллит, фарингит	49(73,1%)	11(50%)	30(58,8%)
Хронич. Заболевания печени	31(46,2%)	9(40,9%)	14(27,4;)
Заболевания нервной системы:			
- энцефалопатия, ВБН, НШОП	39(58,2%)	16(72,8%)	5(9,8%)
- СДВ	17(25,4%)	4(18,2%)	2(3,9)

Продолжение таблицы 1.

1	2	3	4
- ЗПР	3(4,5%)	2((9,1%)	0
- ВСД	8(11,9%)	4(18,2%)	1(1,9%)
- Нарушение слуха, зрения	5(7,5%)	3(13,6%)	0
- Астеническмй синдром	7(10,4%)	0	0
Нарушение осанки, скалиоз	28(41,8%)	8(36,4%)	6(11,9%)
Кариес	30(44,8%)	2(9,1%)	0
Хронический бронхит	5(7,5%)	3(13,6%)	1(1,9%)
Хронический ринит	2(2,9%)	1(4,5%)	3(5,9%)
Анемия	5(7,5%)	0	7(13,9%)
Ожирение	5(7,5%)	2(9,1%)	6(11,9%)
Увеличение щитов. железы	25(38,9%)	3(13,6%)	1(1,9%)
Нарушение пол. созревания	7(10,4%)	3(13,6%)	0
Кисты яичника	1(1,4%)	0	0
Хронич.пиелонефрит, цистит	21(29,6%)	7(31,8%)	0
Кардиопатия	5(7,5%)	2(9,1%)	0
ВАР	4(5,9%)	2(9,1%)	0
Задержка физическ.развития	10(15,0%)	2(9,1%)	1(1,9%)

Заболеваемость детей основной группы и детей ДД №90 г. Томска были сходны и отличались от детей санатория Шира. Распределение школьников по группам здоровья было следующим: в основной группе все дети входили в 3 группу и 5 детей - в 4 группу здоровья, в то время как в группах сравнения преобладала 2б и 3-я группа здоровья.

Исследование показатели PWC170 (кгм/мин) у школьников представлено в табл. 2.

Таблица 2. Показатели PWC170 (кгм/мин) у школьников в зависимости от пола

Группы	**Основная мальчики**	**Основная девочки**	**Сравнения мальчики**	**Сравнения девочки**
7-10 лет P P1	437,1±31,1 <0,05 >0,05	331,7±35,5 >0,05	471,8±23,6 >0,05	458,8±27,1
11-14 лет P P1	513,9±27,2 <0,05 <0,05	401,1±31,7 <0,05	881,7±41,5 <0,05	690,1±28,0
15-17 лет P P1	1097,8±44,1 <0,05 <0,05	551,5±22,1 <0,05	1201,4±19,6 <0,05	940,3±22,2

Условные обозначения достоверно значимых величин по отношению: Р- к группе сравнения; Р1 – внутригрупповое сравнение показателей мальчиков и девочек.

Наиболее выраженные изменения показателей физической работоспособности наблюдались у детей 11-14 лет и у девочек15-17 лет основной группы.

Нормотонический тип реакции сердечно-сосудистой системы наиболее часто встречался (в основной 50,1%, группе сравнения – 89%). Дистонический тип наблюдался у 32,2% детей

основной группы и у 7,3% детей группы сравнения. Гипертонический тип восстановительной реакции определялся у 13,0% детей основной группы и 4,7% детей группы сравнения. Астенический тип наблюдался у 4,7% детей основной группы, в группе сравнения не было детей с этим типом реакций. Восстановительные реакции сердечно-сосудистой системы у половины детей основной группы протекали как неадекватные или патологические реакции.

Уровень пировиноградной (ПВК) и молочной кислоты (МК) при изучении физической работоспособности является важным показателем состояния гликолиза. В результате гликолиза при физической нагрузке образуется пировиноградная кислота, которая используется в цикле Кребса или превращается в конечный продукт молочную кислоту. Увеличение молочной кислоты в 1,5 раза у детей основной группы, снижение содержание ПВК в сыворотки крови, ПВК/МК - 1,76 раза указывают на накопление молочной кислоты, снижение физической работоспособности, утомление детей, угнетение их мышечной активности. (табл.3)

Таблица 3. Уровень ПОЛ, каталазы, показателей утомляемости у школьников

Группы / Показатели	Основная n=67	Сравнения Шира n-51	Сравнения ДД№90-22	Референтные значения
Пировиноградная Кислота мк/моль/л	47,5±2,0 P>0,05 P1>0,05	59,3±2,1 P2<0,05	61,1±1,1	50-90
Молочная кислота м/моль/л	4,28 ±0,1 P>0,05 P1>0,05	3,18±0,05 P2<0,05	2,99±0,09	0,63-2,44
Пируват /лактат	11,1±0,8	19,6±1,1 P2<0,05	20,0±0,9	
Малоновый диальдегит мк/моль/л	3,8±0,11 P>0,05 P1>0,05	2,23±0,11 P2<0,05	2,38±0,19	0,89-2,2
Каталаза мкКат/мин..л	0,16±0,03 P<0,05 P1>0,05	0,23±0,019 P2<0,05	0,22±0,02	0,17-0,22

Примечание: достоверность показателей основной группы обозначена Р - и сравнивалась с группой сравнения . Р1- достоверность при сравнении показателей основной группы с группой сравнения (детей ДД №90), Р2 достоверность показателей между группами сравнения.

МДА у этих детей увеличено, что превышало верхний предел референтных значений в 1,5 раза. Это указывает на повышенную активность ПОЛ, которая может снижать функцию клеточных мембран, лизосом и митохондрий, уменьшая продолжительность жизни их, нарушая гомеостаз.

Содержание каталазы у детей основной группы снижено, что обращает внимание на накопление перекисей, обладающих цитотоксическим действием и угнетением антиоксидантной защиты у детей, получивших малые дозы во внутриутробном периоде или раннем детстве. Это указывало на более значительные признаки повреждения плазматической мембраны клеток у них, сдвига метаболизма в сторону катаболизма и активации процессов дегенерации клеток.

Таким образом, школьники, рожденные после аварии, или они проживали в этой местности в раннем возрасте во время аварии, имеют более отягощенный анамнез, преобладание различных жалоб, высокую хроническая, соматическая заболеваемость, часто сочетанная, нарушение окислительных процессов и антиоксидантной защиты.

Список литературы:

1. Радиационная экогенетика Томской области / Н.Н.Ильинских, В.В. Новицкий, А.М.Адам и др./ Изд-во Госкомитета экологии и природных ресурсов Томской области, 1995.-80с.
2. Л.П.Рихванов Общие и региональные проблемы радиоэкологии /Томск: Изд-во ТПУ, 1997.-384 с.
3. Сравнительная опасность энергетического и стандартного плутония-239 по нестохастическим эффектам /З.И. Калмыкова, Э.Р. Лобачевский, В.А. Чудин и др.//Радиац. Биология. Радиоэкология.-1996.-Т.36,Вып.1-С.94-103
4. Яковлева И.Н., БалеваЛ.С. Особенности иммунитета у лиц, подвергшихся воздействию малых доз ионизирующей радиации в детском возрасте.//Вопросы гематологии, онкологии и иммунопатологии в педиатрии.-2006-т5,№1.-С.22-31
5. Яблоков А.В. Миф о безопасности малых доз радиации. <http: //www.csqi.ru/qi/qi5/06.htm>

Спектральный анализ как метод оценки нарушений фонации у лиц, страдающих заболеваниями органов голосообразования

Р.В. Мещеряков, А.Г. Сизов, В.И. Мухина*
ТУСУР, г. Томск, Россия
**Городской фониатрический кабинет МЛПМУ «Поликлиника № 10» г. Томск, Россия*

Статья посвящена вопросам оценки качества жизни пациентов, страдающих заболеваниями органов голосообразования. Предлагается введение обобщенной оценки для определения качества жизни лиц с ограниченными возможностями.

Рост заболеваемости голосового аппарата среди взрослого и детского населения диктует необходимость совершенствования диагностических, профилактических и реабилитационных мероприятий. (3). Эта необходимость определяется, прежде всего, высокой значимостью гортани, как морфологического органа, обеспечивающего основные функции: голосообразования, дыхания и глотания, а также социальные потребности человека. (5).

Основной целью и задачей проекта является разработка объективного метода оценки голосовой функции у людей, страдающих нарушениями голоса. Оценка голосовой функции проводится путем спектрального анализа голоса пациента и сравнения его со «здоровым» голосом. Анализ и сравнение проводятся с помощью ЭВМ (компьютерный анализ).

Рассмотрим анатомию и физиологию возникновения голоса. Система голосообразования (см. рис.1) может рассматриваться как автоматическая система, состоящая из:

- излучателя (поток воздуха, образуемый легкими);
- вибратора (мышцы гортани);
- мембраны (голосовые складки);
- импульсионного модулятора (язык);
- резонатора (глотка);
- частотного модулятора (мышцы рта).

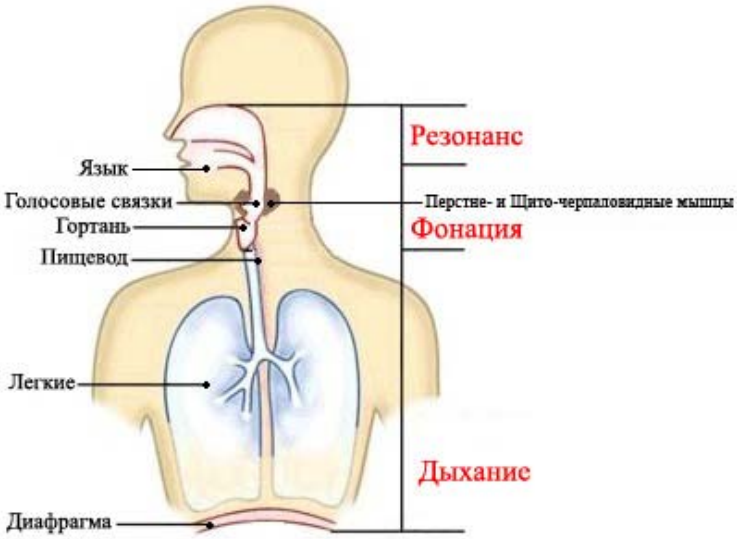


Рис 1. Органы голосообразования

Фонация может быть проанализирована как преобразователь электрического сигнала в звуковую волну. Электрический сигнал генерируется мозгом и управляет действиями легких (через сокращение диафрагмы), голосовых складок и резонаторов (через сокращение черпаловидных мышц). Воздушный поток, созданный легкими, проходит через голосовые складки, которые создают волновую форму. Воздушный поток продолжает движение в глотку, чтобы получить резонанс и волновую форму, модулированную по интенсивности и частоте мышцами языка и рта (см. рис.2).

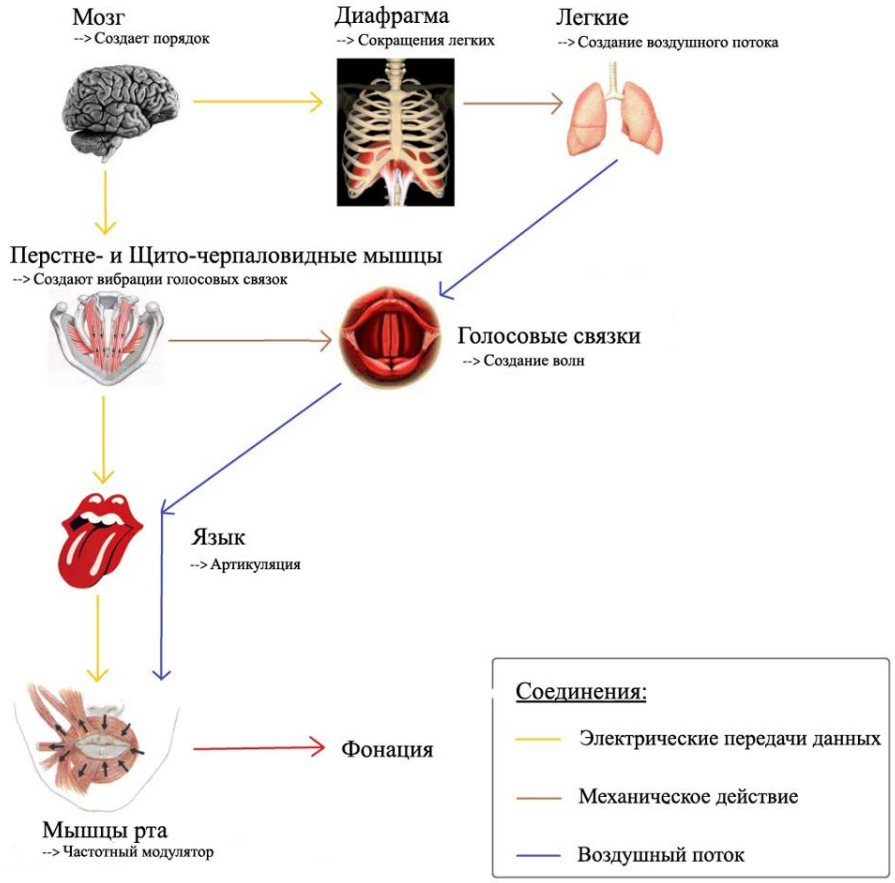


Рис. 2. Процесс голосообразования

Дисфония четко определяется как основное расстройство фонации. Выделяют два вида дисфонии – функциональная и органические. Рассмотрим медицинскую классификацию нарушений голоса по Василенко Ю.С. [4].

Таблица 1. Медицинская классификация нарушений голоса (по Василенко Ю.С., 2002)

Функциональные дисфонии (афонии)	Органические дисфонии (афонии)
Подразделяют на функциональную или психогенную афонию, гипо- и гипертонусную, гипо-гипертонусную. мутационную, спастическую дисфонию, фонастению	Нарушения голоса, обусловленные острым и хроническим ларингитом; краевым(маргинальным) хордитом; вазоматорным монохордитом (односторонний хордит); узелками, полипами, кистами, контактными гранулемами; парезами и параличами возвратного нерва; варикозным расширением кровеносных сосудов слизистой оболочки голосовых складок

По классификации Вильсон Д.К. указанные нарушения голоса имеют различные степени тяжести, что существенно отражается на качестве жизни человека [1]. Таким образом, диагностика нарушений фонации помогут определить уровень качества жизни пациентов с нарушением голоса и речи.

Таблица 2. Шкала голосовых нарушений (по Вильсон Д.К., 1990)

Градация нарушений	**Степень нарушений**	**Описание**	**Рекомендации**
1	2	3	4
Нормальный голос	0	-	-
Легкая степень нарушения голоса	1	Постоянное или легкое отклонение голоса от нормы, изменение голоса не влияет на благополучие пациента	Периодическое обследование

Продолжение таблицы 2.

1	2	3	4
Умеренно выраженное нарушение голоса	2	Стойкое изменение голоса, нарушение голоса в определенной степени и сказывается на некоторых сторонах жизни пациента	Голосовая терапия
Тяжелое нарушение голоса	3	Изменения голоса носят стойкий характер, нарушения голоса тяжело сказываются на некоторых сторонах жизни пациента	Голосовая терапия
Очень тяжелое нарушение голоса	4	Сильное хроническое нарушение голоса, которое очень тяжело сказывается на многих сторонах жизни пациента	Голосовая терапия, медицинское обследование

Предлагается определять качество жизни по специальной шкале, представленной на рис.3. Показана связь нарушений речи с нарушениями коммуникативной сферы.(2,6,7)

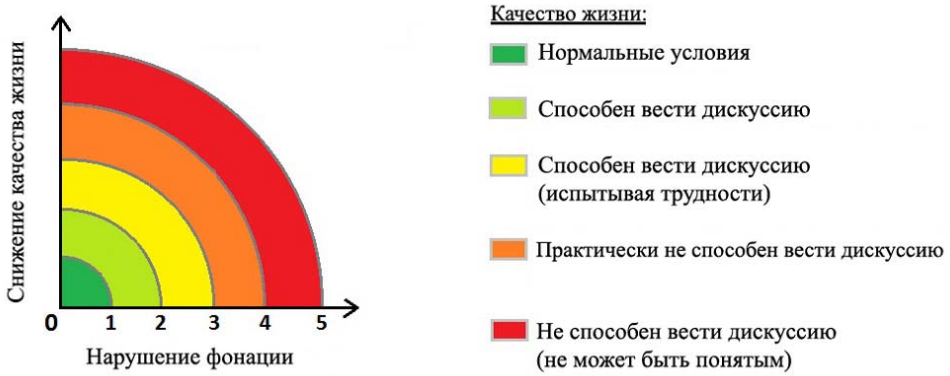


Рис. 3. Шкала качества жизни

Для ввода информации в ЭВМ предлагается использовать устройство, представленное на рис. 4. Устройство записывает специальный текст через микрофон, запись в формате *.wav заносится в базу данных. Далее происходит преобразование звука в спектр по методу спектрального анализа, который тоже заносится в базу данных.

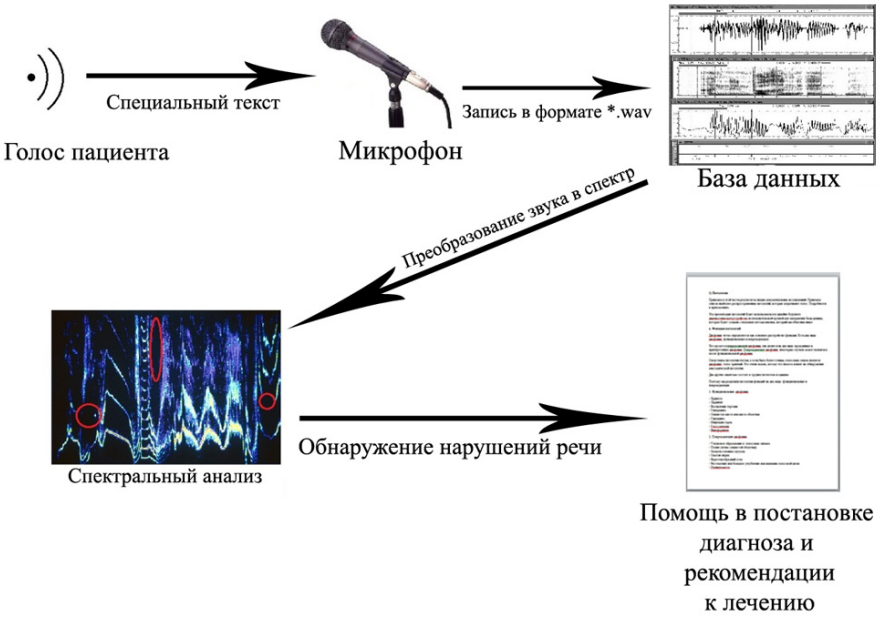


Рис. 4 - Диагностическое устройство

Затем голос пациента сравнивается с «идеальным» голосом этого же пациента (голос обработан с помощью звукового фильтра для убирания шума) и происходит обнаружение аномалий по спектру. Установив соответствие нарушений с базой данных, можно будет узнать вид заболевания. Результаты будут переданы на компьютер и распечатаны. Это позволит отслеживать стадию заболевания пациента для того, чтобы получить объективную картину.

Для диагностики дисфонии предлагается использование метода спектрального анализа. Для выявления патологии голоса пациента врачу-фониатру необходимо их графическое изображение. Для этого пациенты должны произнести два конкретных предложения («В бухту с моря налетел ветерок» и «Эти жирные сазаны ушли под палубу») и гласные («А», «И», «О»). Спектральный анализ должен быть сделан для каждого предложения и гласных. Для преобразования звуковых записей пациента в графическую характеристику голоса используется специальный математический аппарат.

На рисунке 5 изображена сонограмма речевого сигнала, представленная в видел спектра. По графику можно выделить частотную модуляцию голоса пациента.

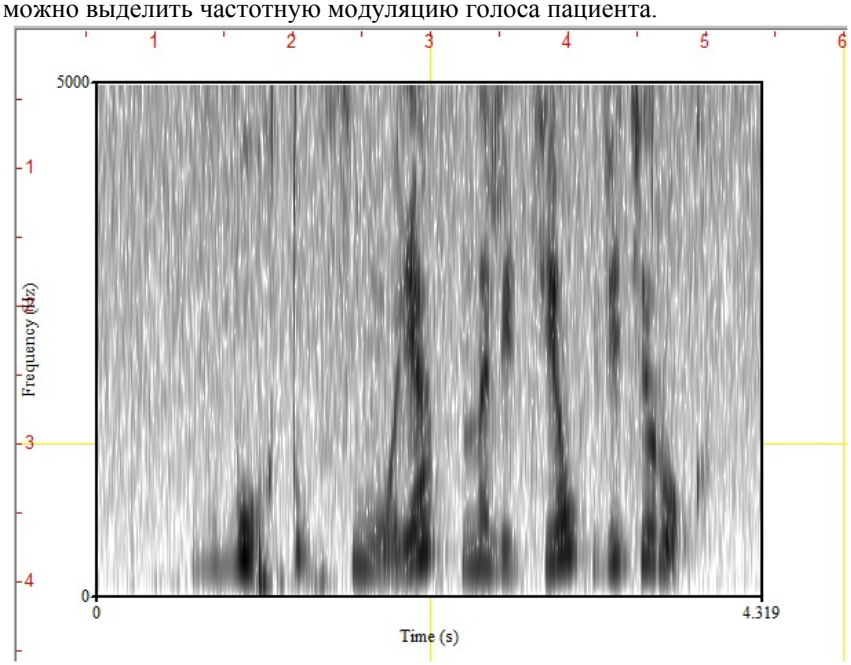


Рис. 5. Пример спектра речевого сигнала

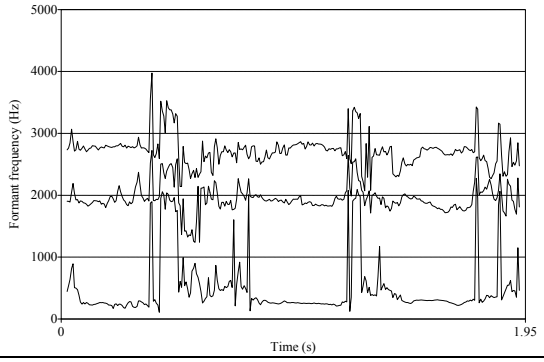
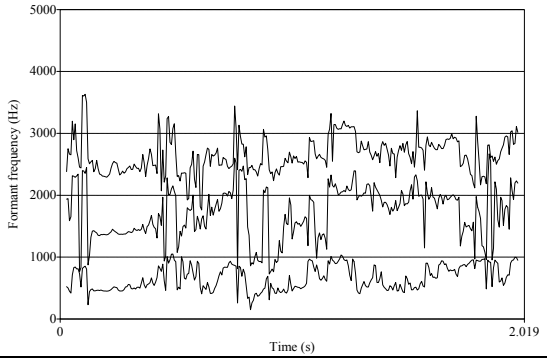
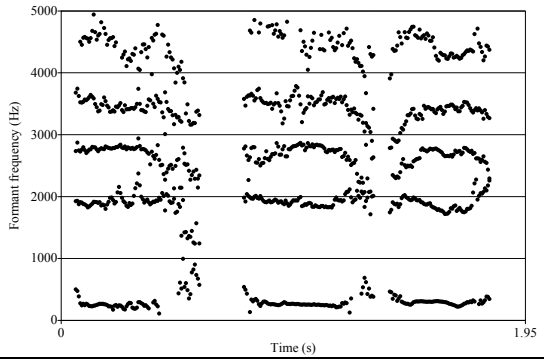
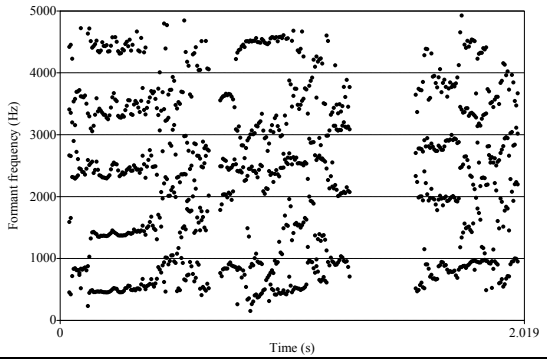
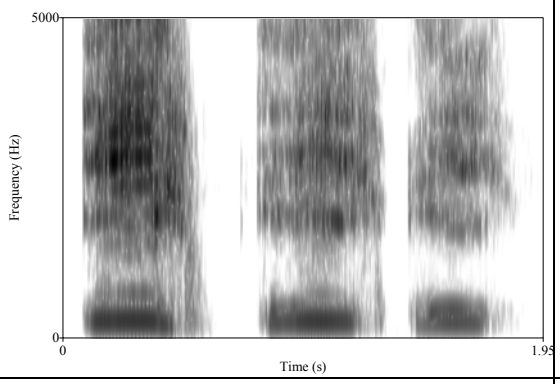
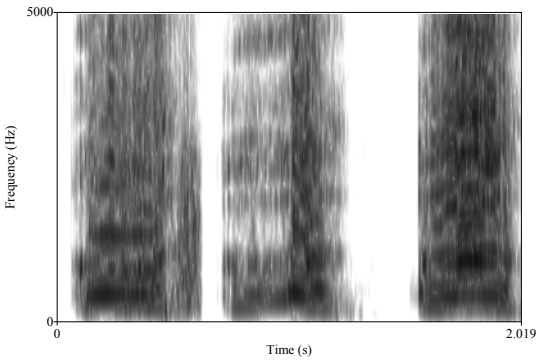
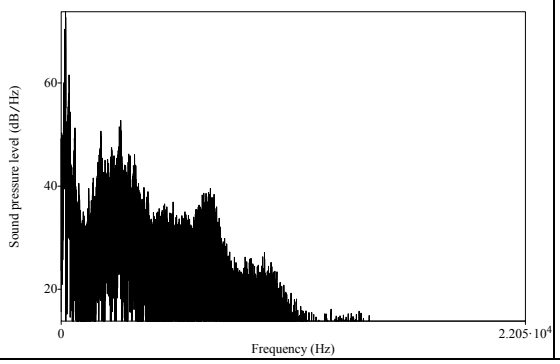
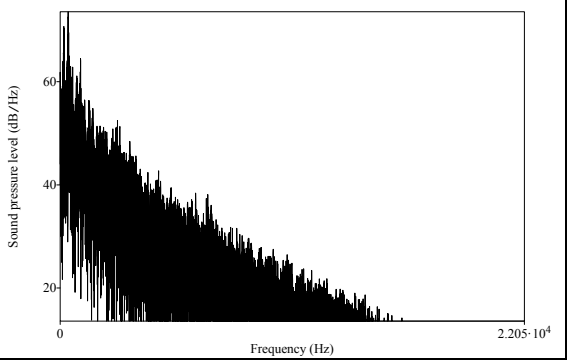
Подобные спектральные анализы используются для диагностики различных видов расстройств голоса и речи. В базе данных речевых сигналов, состоящей из нескольких анализов для всех патологий, о которых говорилось ранее, были найдены общие характеристики одинаковых заболеваний. Указанная база данных будет использоваться в диагностическом устройстве. Она содержит спектральные характеристики для каждого пола и возраста. Были сделаны записи нескольких пациентов разного возраста, пола и различных нозологий (120 записей).

Установлено, что необходимо получить по 10 записей для каждого пола в четырех возрастных группах для каждой нозологии, чтобы получить достаточный список характеристик голоса. Список представляет собой более 2 000 записей для тех нозологических единиц, которые были отмечены.

Для проверки метода спектрального анализа были исследованы речевые сигналы более пятидесяти пациентов. Приведем результаты исследований по двум пациентам.

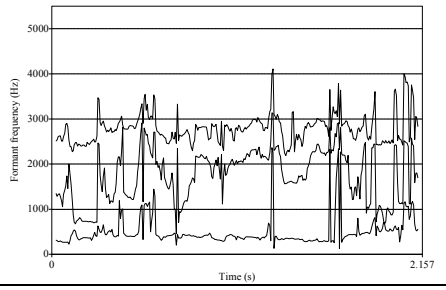
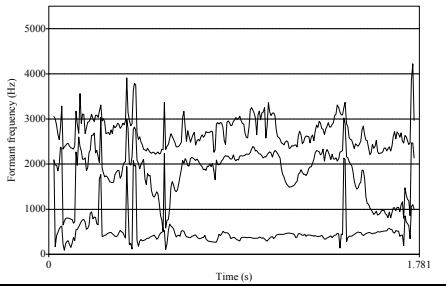
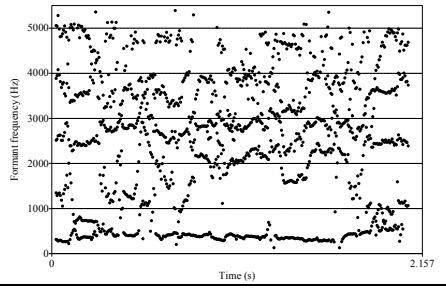
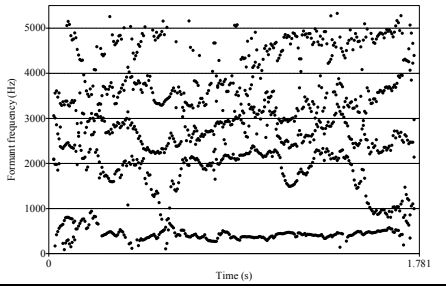
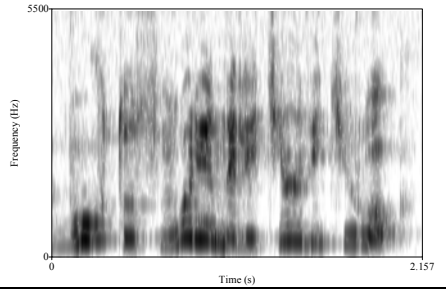
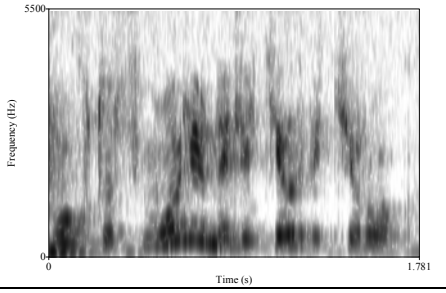
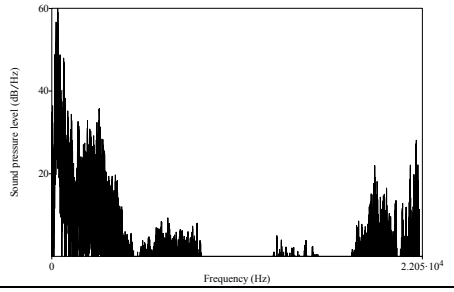
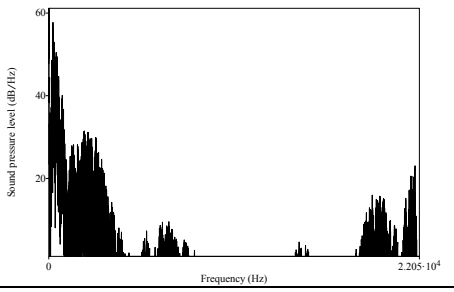
1. Андрей Б. (пол: М, Дата рождения: 02.06.69, диагноз: Хронический ларингит)

Таблица 2. Параметры голоса пациента Андрея Б.

	До лечения	После лечения
Formant tracks		
Formant speckle		
spectrogram		
spectrum		

2. Наталья Г. (пол: Ж, Дата рождения: 24.02.56, диагноз: острый ларингит)

Таблица 3. Параметры голоса пациента Натальею Г.

	До	После
Formant tracks		
Formant speckle		
spectrogram		
spectrum		

Выводы, которые можно сделать по указанным пациентам:

- Для пациента Андрея Б. до лечения: отсутствует длительное произношение гласных звуков, когда голосовые связки должны быть в автоколебательном режиме; увеличена верхняя форманта и снижена интенсивность сигнала (в спектрограмме); пациент испытывает трудности в произношении. После лечения: длительность фонации увеличилась; форманты становятся более выраженными.
- Для пациента Натальи Г. до лечения: также отсутствует длительное произношение гласных звуков; увеличена верхняя форманта, снижена интенсивность сигнала; продолжительность произнесенных фраз короткая; при произнесении фразы появляются высшие гармоники (свист), что обусловлено отеком гортани и нестабильной работой голосовых складок. После лечения: длительность фонации увеличилась, нормализовалась структура формант при произношении.

Заключение:

Проведенные испытания показывают, что метод спектрального анализа может быть использован для диагностики и оценки нарушений голоса. Он обеспечивает объективность оценки и постановки диагноза. Использование ЭВМ позволит сконструировать подобное устройство для измерений в автоматическом режиме.

Диагностическое устройство будет востребовано в любом отделении оториноларингологии и будет способствовать повышению качества обслуживания пациентов. В настоящее время модель устройства проходит апробацию в МЛПМУ «Поликлиника 10» г. Томска. В дальнейшем планируется создание мобильного устройства для использования в качестве индивидуального средства диагностики.

Список литературы:

1. Вильсон Д.К. Нарушения голоса у детей. // М. - 1990. – 448с.
2. Вартанян И.А. Физиология сенсорных систем: // Спб. - 1999. – 224с.
3. Орлова О.С. Нарушения голоса у детей.// М. – 2005.- 125с.
4. Радциг Е.Ю., Богомильский М.Р. Нарушения голоса у детей и подростков: причины и способы коррекции: Методические рекомендации.// М. - 2011.- 34с.
5. Ушаков В.С., Говорун М.И., Куц Б.В., Климов А.Н. Использование современных технологий при лечении травматических повреждений гортани./ Материалы XYIII съезда оториноларингологов России.// СПб - 2011. - т.3.- с. 404 – 406.
6. T. Quatieri, “Discrete-Time Speech Signal Processing: Principles and Practice”, Prentice Hall PTR. // Upper Saddle River. - 2002.- 125с.
7. X. Huang, A. Acero, H.-W. Hon, “Spoken Language Processing”, Prentice Hall PTR. // Upper Saddle River. - 2001.- 123с.

УДК 61: 572: 001.8

Биомеханические аспекты гомеостатического обеспечения неэластических свойств аппарата внешнего дыхания у больных хроническим бронхитом в сочетании с пневмофиброзом

О.В. Якис*, А.И. Карзилов**, Ф.Ф. Тетенев

Сибирский государственный медицинский университет, г. Томск, Россия

E-mail: ollgea@mail.ru, karzilov@mail.ru***

В развитии хронического бронхита (ХБ) и пневмофиброза большая роль отводится неблагоприятным экологическим факторам (загазованность, запыленность), что обуславливает их значительное распространение в популяции [3]. Вентиляционная функция аппарата внешнего дыхания у больных ХБ в сочетании с пневмофиброзом остается малоизученной. Актуальным является исследование механических аспектов вентиляционной функции легких, так как показатели механики дыхания являются наиболее точными и информативными в диагностике функциональных нарушений аппарата внешнего дыхания (АВД) [4].

Цель работы. Оценить вентиляционную функцию АВД у лиц с ХБ и пневмофиброзом по общим и интегральным показателям вентиляционной функции легких, неэластических свойств легких и грудной клетки и дать оценку полученных результатов с позиций теории биомеханического гомеостазиса аппарата внешнего дыхания [1, 2].

Материалы и методы исследования. Для проведения исследований были сформированы 2 группы. Первую 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. Индекс курения составил 19,0 сигарет/день, стаж курения–27,0 лет. Средняя продолжительность заболеваний бронхолегочной системы составила 7,2±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 [4]. 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 [4] и оригинальные интегральные показатели биомеханики дыхания, эластических свойств легких и грудной клетки [1, 2]. Применение оригинальных показателей оценки биомеханики дыхания обусловлено тем, что общепринятые параметры не позволяют дать всестороннее математическое описание функционирования АВД [1, 2].

По общепринятым интегральным показателям биомеханики дыхания проводилась оценка жизненной емкости легких ЖЕЛ, л; емкости вдоха ІС, л; объема форсированного выдоха в первую секунду $ОФВ_1$, л; аэродинамического бронхиального сопротивления Raw, $кПа \cdot л^{-1} \cdot с$. Неэластические свойства оценивали по МОД V и МВЛ Vm, $л \cdot мин^{-1}$; показателям на уровне МОД – общей At, $кгм \cdot мин^{-1}$, и удельной работе дыхания Ap, $кгм \cdot л^{-1}$; индексу инспираторной активности IA; оригинальному индексу напряжения дыхательной мускулатуры IT=IA·At/V, $кгм \cdot л^{-1}$; этим же показателям на уровне МВЛ – Atm, Apm, IAm, ITm; безразмерным отношениям – V/Vm, At/Atm, Ap/Apm, IA/IAm, IT/ITm.

Результаты и обсуждение. Показатели – ЖЕЛ, емкость вдоха ІС, бронхиальное сопротивление Raw не отличались от показателей группы здоровых. $ОФВ_1$ у лиц с ХБ был снижен, но оставался в пределах нормы.

Также в группе ХБ МОД V; индекс инспираторной активности на уровне МОД – IA и МВЛ – IAm; удельная работа дыхания Apm; оригинальный индекс напряжения дыхательной мускулатуры IT на уровне МВЛ – ITm; безразмерные отношения – IA/IAm, IT/ITm оставались в пределах нормы.

У лиц с ХБ были повышены общая работа дыхания At по сравнению со здоровыми M±m (0,10 ± 0,15 $кгм \cdot мин^{-1}$; 0,51 ± 0,17 $кгм \cdot мин^{-1}$; $p<0,001$); удельная работа дыхания Ap (0,03 ± 0,009 $кгм \cdot л^{-1}$; 0,05 ± 0,004 $кгм \cdot л^{-1}$; $p<0,01$); оригинальный индекс напряжения дыхательной мускулатуры IT на уровне МОД (0,01 ± 0,18 $кгм \cdot л^{-1}$; 0,02 ± 0,04 $кгм \cdot л^{-1}$; $p<0,001$); V/Vm (0,08 ± 0,15; 0,12 ± 0,08; $p<0,05$); At/Atm (0,01 ± 0,18; 0,02 ± 0,01; $p<0,01$); Ap/Apm (0,11 ± 0,94; 0,21 ± 0,04; $p<0,001$).

Кроме того, в группе ХБ отмечалось снижение МВЛ Vm (124,0 ± 20,0 $л \cdot мин^{-1}$; 98,0 ± 10,5 $л \cdot мин^{-1}$; $p<0,01$) и снижение общей работы дыхания на уровне МВЛ Atm (33,3 ± 3,9 $кгм \cdot мин^{-1}$; 23,4 ± 2,7 $кгм \cdot мин^{-1}$; $p<0,01$).

Таким образом, у больных хроническим бронхитом в сочетании с пневмофиброзом выявлено напряжение функционирования биомеханических механизмов гомеостатического обеспечения неэластических свойств легких. Требуется дальнейшее изучение тонких механизмов обеспечения биомеханического гомеостазиса аппарата внешнего дыхания у данной категории больных.

Список литературы:

1. Карзилов А.И. Биомеханический гомеостазис аппарата внешнего дыхания и механизмы его обеспечения в нормальных условиях и при обструктивных заболеваниях легких // Бюллетень сибирской медицины. – 2007. – Т. 6, № 1. – С. 13–38.
2. Карзилов А.И. Регуляторное обеспечение устойчивости биомеханики дыхания при обструктивных заболеваниях легких: Дис. ... докт. мед. наук / Сибирский государственный медицинский университет. – Томск; Алтайский государственный медицинский университет. – Барнаул, 2009. – 392 с.
3. Пульмонология: руководство (клинические рекомендации) / Под ред. А.Г. Чучалина. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2007. – 240 с.
4. 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.

Вибротерапия как метод лечения воспалительных заболеваний гортани

В.И. Мухина, И.Н. Сафронова
Городской фониатрический кабинет МЛПМУ поликлиника № 10, г. Томск, Россия
e-mail: valentinamukhina@sibmail.ru

Впервые упоминание об аппаратной вибрации появилось в 18 веке. Активное же применение ее в лечебных целях началось в 70-е годы 19 столетия во Франции, Италии, Англии,

России. Первое научное сообщение о лечебном действии вибрации было представлено врачом Вигуру в 1878 году, В качестве источника вибрации он использовал большой камертон "UNZ", возбуждаемый смычком или электромагнитом. В 1879 году доктор Шифф применил для лечения неврологических заболеваний такой же камертон, ему удавалось снимать тоническую контрактуру мышц и гиперстезию, Французский врач Будэ де Парис также пользовался, различными камертонами в лечебных целях. Проводя эксперименты со здоровыми людьми, он добивался полной анестезии, воздействуя в течение 8-20 мин. на области повышенной иннервации кожи (лоб, виски, десны и т.д.). Прекрасные результаты получены Будэ при лечении мигрени и невралгий.

В 1881 году английский врач Дж. Мортимер Гранвиль опубликовал результаты лечения некоторых нервных болезней при помощи изобретенного им перкутора. При этом он считал, что механическое вибровозбуждение является более адекватным для организма человека, чем электрическая стимуляция, которая уже в то время широко применялась в лечебной практике.

В России лечение при помощи вибровозбуждения начало применятся в 1891 году под руководством профессора В.М.Бехтерева, в клинике нервных и душевных болезней доктором Н.Ф.Чигаевым.

В 1957 году А.Я.Креймер начал широко использовать вибрацию в лечебных целях. В 1972 году вышла его монография "Вибрация как лечебный фактор"[5]. В Томском НИИК и Ф разработаны и успешно применяются методы водного вибрационного массажа при помощи аппаратов "Волна-2", создан портативный вибромассажер "Чародей". Особенно успешно применяется вибротерапия для лечения поясничного и шейного остеохондроза, пояснично-крестцового радикулита[11]., травм периферических нервов конечностей, полиартрита [2], бронхиальной астмы, пневмонии, хронического гастрита, заболеваний печени и желчных путей, некоторых гинекологических и других заболеваний[4].

Основные теоретические положения, предлагаемые для объяснения лечебного действия вибрации, сводятся к представлению о том, что внешние механические колебания воздействуют на нервные процессы, либо повышая их активность, либо угнетая. С этих позиций эффект может быть достигнут при сопряжении пространственных, временных и амплитудно-частотных характеристик механической энергии внешнего вибрационного возбуждения с аналогичными энергетическими характеристиками биосистем, к которым возбуждение адресуется.

Зеленкин Е.М. изучал использование низкочастотного биовибромассажа для лечебных и профилактических целей. По данным автора низкочастотный биовибрационный массаж обладает противовоспалительным, противоотечным и противоаллергически действием, улучшает крово- и лимфообращение, активизирует защитные силы организма, способствует проникновению лекарственных препаратов в ткани за счет переменных механических вибраций, оказываемых на мягкие ткани и кость [5].

Нормальное функционирование и жизнедеятельность организма определяются его способностью воспринимать информацию из окружающей среды, перерабатывать ее и откликаться соответствующей реакцией. Эти процессы осуществляются в несколько этапов: реальное физическое воздействие, например вибрация; преобразование этого воздействия в биоэлектрическую активность рецепторов, содержащую информацию о воздействии; передача этой информации к центральной нервной системе; прием информации, ее расшифровка в ЦНС с целью выработки ответных реакций организма. Из перечисленных этапов мы можем управлять лишь внешним физическим воздействием, в данном случае вибрацией.

Многочисленные рецепторные образования осуществляют первичную переработку специфической информации, поступающей из внешней среды, преобразуя энергию раздражения в биоэлектрическую активность, которая распространяется по нервным волокнам в виде импульсов [1].

По восприятию внешних воздействий рецепторы принято дифференцировать на хемо-, термо-, и механорецепторы. Механорецепторы – самая распространенная группа рецепторов. Они представлены практически во всех частях организма. Из всех видов кожных механорецепторов наиболее изучены виброрецепторы – тельца Паччини, впервые описанные Леманом в 1741 году [7].

Некоторые исследователи, рассматривая вибрационную чувствительность кожи, отмечали, что вибрация хорошо ощущается в коже, покрывающей как мягкие ткани, так и при костной подкладке. Максимальная чувствительность находится в диапазоне частот от 106 до 320 Гц. Анализ экспериментальных данных показывает, что у виброрецепторов существует

собственная ритмика с периодом 10 мс, что аналогично частоте следования потенциалов действия около 100 Гц [3].

Совпадение ритма собственной биологической активности рецептора с оптимальной частотой механического раздражения называется «биомеханическим резонансом». В пользу существования феномена биомеханического резонанса свидетельствуют данные различных авторов. Так, Сато (251) показал, что максимальная амплитуда генераторного потенциала возникает при частоте раздражения 100Гц, а по данным Левенстейна (91), время рефрактерности возбуждения составляет 9,8 мс, что соответствует периоду 105 Гц. Этот феномен связывается с циклическим ритмом АТФ-АТ-фазного комплекса (104Гц), который участвует в активации ионного транспорта на возбудимых мембранах.

Одновременное существование в организме двух независимых систем передачи информации; нервной и безнервной, отличающихся по структурной организации и скорости распространения возбуждения, допускает возможность отводить им самостоятельные (в то же время взаимосвязанные) роли в обеспечении жизнедеятельности организма. Способ безнервной передачи информации по контактно-щелевой системе эволюционно более древний. Он существовал еще, когда жизнедеятельность ограничивалась процессами деления, связанными с секреторной функцией, поглощением энергии и всасыванием нищи. При формировании более сложных многоклеточных структур в борьбе за существование выживали те, которые быстрее добывали пищу. Это привело в итоге к созданию нервной системы, в которой информация передается по нервным волокнам. Как отмечено выше, представительства контактно-щелевой системы наиболее четко проявляются в области биологически активных точек. Возбуждая БАТ (иглой, лазером, прижиганием, акупрессурой, электрическим током и т.д.), передаем информацию соответствующим органам. В этой связи особый интерес представляет вибрация. Биосистемы проявляют избирательную чувствительность к механическим колебаниям. Поэтому вибрацию нужно рассматривать, как наиболее адекватный способ активации контактно-щелевой системы передачи информации, тем более что такая передача сопровождается выделением биологически активных веществ из клеток.

Экспериментально-клиническими исследованиями доказано положительное действие вибрационного массажа на рефлексогенные зоны при травмах нервных стволов конечностей. Выявлена зависимость лечебного эффекта вибротерапии от физических параметров (частота, амплитуда), экспозиции, характера воздействия. Под влиянием лечения отмечается стимуляция процессов регенерации, восстановления метаболизма в тканях [9]

Методы термовибромассажа на БАТ успешно разрабатываются в последнее время. Высокая эффективность их доказана при лечении различных заболеваний в неврологии, гинекологии, пульмонологии, аллергологии [8].

Сочетанное воздействие вибрацией и теплом на БАТ оказывает потенцирующий эффект, т.к. сочетается специфичность действия этих факторов.

Методы аппаратного воздействия имеют значительные преимущества перед иглоукалыванием: отсутствие травматизации кожи, стерильность, возможность дозирования процедуры, изменение эффекта, в зависимости от частоты вибрации.

Таким образом, актуальность проблемы лечения воспалительных заболеваний гортани требует поиска новых методов лечения. На наш взгляд, метод низкочастотной биовибрации и бактериофагтерапии является перспективными методами терапии пациентов с острыми и хроническими ларингитами.

Список литературы:

1. Гранит Р. Электрофизиологические исследования рецепции. М. : Изд-во иностр. лит., 1957. 239 с.
2. Дьяконов И.Ф. Основные методы психологической диагностики в практике врача / И.Ф., Дьяконов, А.И. Колчев, Б.В. Овчинников; Под ред. В.К. Шамрея. - СПб.: ВМедА, 2005. - 144с.
3. Зеленкин Е.М., Прозоровская К.М., Петровская А.Н.,Завгородняя Е.Г., Кандурова А.Н. Клинико-иммунологические аспекты вибротерапии синусита/Вестник оториноларингологии - №5- 2000.- с.66-69.
4. Карпова О.Ю. Применение различных методов рефлексотерапии в комплексном лечении односторонних параличей гортани / О.Ю.Карпова // Рос. оторинолар. - 2002. - №1. - С. 41 - 42.
5. Креймер А.Я. Вибрация как лечебный фактор. Томск.: Изд-во Томского университета, 1972. 260с.
6. Пономаренко Г.Н. Физические методы лечения/Г.Н. Пономаренко - СПб.: ВМедА, 2002. - 299 с.

7. Степаненко Н.П. Аэрозольтерапия и термовибромассаж в коррекции местных факторов защиты у детей при хроническом тонзиллите. Дисс канд.мед. наук. Томск. 1997, 186с.
8. Струков А.В. Клинико-патофизиологическое обоснование к применению рефлексопунктурной терапии у больных бронхиальной астмой.: Автореф.дис….канд мед наук.Томск, 1989.
9. Трапезникова Н.К. О некоторых новых методах вибротерапии. //Физические факторы в комплексном оздоровления населения Сибири. – Томск, 1992. – с.95-100.
10. Филатова Е.А. Восстановление звучности голоса у больных парезами и параличами гортани методом нейромышечной электрофонопедической стимуляции / Е.А. Филатова // Рос. оториноларинол. - 2008. - № 1. - С. 155
11. Behrman A. Vocal hygiene education, voice production therapy, and the role of patient adherence: a treatment effectiveness study in women with phonotrauma / A. Behrman, J. Rutledge, A. Hembree et al. // J. Speech Lang Hear Res. - 2008. - №2. - P. 350 - 366.

УДК: 616.5-005-001.26/.28

К механизму коморбидности и патоморфоза соматических заболеваний у ликвидаторов аварии на Чернобыльской АЭС

Ф.Ф. Тетенев, Т.Н. Бодрова, Я.В. Поровский, О.В. Кузнецова
Сибирский государственный медицинский университет, г. Томск, Россия
E-mail: porovs@sibmail.com

Показана высокая частота развития и изменение течения соматических заболеваний основных систем организма у ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС, подвергшихся воздействию малых доз ионизирующего излучения, Результатами исследований установлено, что патогенетическая общность многих соматических процессов обусловлена развитием единого механизма воспалительной альтерации сосудов микроциркуляторного русла.

Соотношение нескольких болезней в клиническом диагнозе может определяться понятиями «конкурирующие заболевания», «сочетанные заболевания», «фоновое заболевание», ассоциированные заболевания и состояния, полиморбидность. В научной литературе вместо полиморбидность, чаще применяется термины коморбидные заболевания или состояния (comorbid diseases, comorbid conditions), коморбидность (comorbidity), мультиморбидность (multimorbidity).

Анализ клинических данных об изменениях в основных системах организма у ликвидаторов последствий аварии (ЛПА) на ЧАЭС, указывает, что они чаще носят полисиндромный характер. Были выделены следующие синдромы: гематоиммунный, сердечно-сосудистый, гастроэнтеральный, бронхолегочный и полинейропатический [1].

В группе ЛПА на ЧАЭС из 117 лиц, обследованных нами в клинике, в качестве основного заболевания патология сердечно-сосудистой системы регистрировалась у 79 (67,5%) ликвидаторов, бронхолегочной - у 31 (26,5%), пищеварительной системы – у 7 (6,0%). В 91% случаев имелось сочетание сердечно-сосудистой патологии, патологии бронхолегочной и пищеварительной системы. В 97% случаев в качестве сопутствующей патологии регистрировались болезни костно-мышечной системы (остеохондроз позвоночника, спондилез с неврологическими проявлениями, деформирующий остеоартроз), в 54% случаев увеличение щитовидной железы без нарушения функции, в 16% - наличие узлов с развитием гипотиреоза, аутоиммунный тиреоидит, в 96% патология ЛОР-органов и 43% органов зрения. Одновременно регистрировалось от 5 до 13 заболеваний, показатель коморбидности – абсолютное число заболеваний у одного ликвидатора, составил в среднем 8,2. Характерная особенность заболеваемости выявленной при клиническом обследовании ЛПА на ЧАЭС наличие коморбидности – диагностирование нескольких хронических заболеваний, а также их развитие не только по типу синтропий - закономерного сочетания болезней, но и с одновременным изменением нескольких систем организма.

Клинические исследования показывают, что нельзя полностью объяснить высокую распространенность сочетания заболеваний только математическим сложением частот. Можно предложить следующую типологию коморбидности заболеваний [2]: случайная – случайное сочетание; причинная – общая причина вызывает обе болезни; осложненная – основное заболевание вызывает другое; неуточненная – состояния связаны, но причинные отношения точно не определены. Неслучайный характер связи заболеваний может быть обусловлен общими причинами, факторами риска и неспецифическими патофизиологическими механизмами.

Исследованиями в клинической медицине установлено, что наиболее частый путь развития коморбидности - появление группы заболеваний, объединенных единым патогенетическим механизмом.

Проведенными нами патоморфологическими исследованиями, результатами исследования функции аппарата внешнего дыхания, установлено распространенное изменение сосудов микроциркуляторного русла (МЦР) у ЛПА на ЧАЭС. При исследовании бронхолегочной системы выявлено снижение мембранного компонента диффузии, тканевого трения [3], наличие периваскулярного фиброза в системе бронхиальной и легочной артерии [4]. По результатам морфологического исследования биоптатов правого желудочка выявлялись признаки поражения сосудов МЦР – дистрофические изменения эндотелиоцитов в артериолах и капиллярах, их выраженная пролиферация, которые в значительной степени суживали просвет сосудов [5]. Исследование функции двигательных нервов и морфологии нервных окончаний, выявили у ликвидаторов нарушение процессов возбудимости и проводимости по нервным волокнам, морфологические признаки реактивных изменений миелиновой оболочки нервов – глиального компонента, широко представленного в периферической и центральной нервной системе [6].

Микроциркуляторная система, несмотря на некоторое своеобразие нарушений микроциркуляции присущего ряду заболеваний, всегда реагирует на воздействие патогенного фактора как единая целостная система, что показано патологоанатомическими и прижизненными исследованиями при ряде нозологий [7].

По данным литературы, у ЛПА на ЧАЭС существовала вероятность, кроме воздействия внешнего γ– излучения, дополнительного дистанционного воздействия на кожу от β- излучающих нуклидов [8], хронического облучения от инкорпорированных в организме радионуклидов с продолжительным периодом полувыведения и полураспада, «горячих частиц». На это указывало их детектирование в легких [9], придатках кожи [10] в отдаленном периоде.

В связи с чем, представлял интерес изучить состояние сосудов МЦР кожи из области плеча - выше места нахождения «критических» органов, где наиболее часто проводимого измерения уровня γ-излучения [11].

Цель настоящей работы: изучить морфологию сосудов МЦР в образцах из области неизмененной кожи плеча и сопоставить с результатами морфологического исследования образцов из области неизмененной кожи голени.

С этой целью в 1996-2000 гг. при госпитализации в клинику пропедевтики внутренних болезней одновременно проведена биопсия кожно-мышечного лоскута из области плеча и области голени у 5 ЛПА на ЧАЭС с последующим морфологическим исследованием.

В препаратах из области плеча отмечалась деформация ядер клеток эпидермиса, вакуолизация их цитоплазмы. В основном веществе дермы - набухание коллагеновых и утолщение эластических волокон. Сосуды без изменений и пролиферативная васкулопатия сосудов МЦР наблюдались в 1 случае, продуктивный панваскулит выявлен в 3 случаях.

В целом морфологическая картина сосудов МЦР из области плеча соответствовала описанной в образцах кожи голени 36 ЛПА на ЧАЭС, где в биоптатах 24 (66,7%) ликвидаторов выявлялась морфологическая картина продуктивного панваскулита. В биоптатах остальных 12 (33,3%) ЛПА на ЧАЭС, в 3 (8,3%) случаях регистрировалась пролиферативная васкулопатия, в 5 (13,9%) минимальная степень воспалительных изменений и 4 (11,1%) морфология сосудов МЦР не отличалась от морфологии лиц группы контроля [12].

Таким образом, морфологические исследования сосудов МЦР из области плеча и голени, установили сопоставимые изменения, свидетельствующие о генерализованном вовлечении сосудов МЦР. Патогенетический механизм коморбидности у ЛПА на ЧАЭС вероятно обусловлен развитием перманентной воспалительной альтерации сосудов микроциркуляторного русла. Это объясняет выявленный в наших работах и других исследованиях патоморфоз соматической патологии – изменение клинического течения заболеваний, с преимущественным развитием диффузионного и гемодинамического вида хронической недостаточности внешнего дыхания, микроваскулярной ишемической болезни сердца, наличие эрозивных изменений слизистой гастродуоденальной области, а также сопряженного развития непсихотических психических расстройств и нарушений неврологического статусе.

Список литературы:

1. Лютых В.П., Долгих А.П. Клинические аспекты действия малых доз ионизирующих излучений на человека // Мед. радиол. и радиац. безопасность. – 1998. – №2. – С.28-34.
2. Белялов Ф.И. Двенадцать тезисов коморбидности // Клиническая медицина. – 2009. – Т. 87. – № 12. – С.69-71.

3. Кузнецова О.В. Показатели функции внешнего дыхания у лиц, подвергшихся действию радиации: Автореф. дис. … канд. мед. наук. СибГМУ, Томск, 2004. – 21 с.
4. Поровский Я.В., Завадовская В.Д., Тетенев Ф.Ф., Огородова Л.М. Изменения регионарной перфузии легких у ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской АЭС // Пульмонология. –2009. – №2. – С.70–73.
5. Поровский Я.В., Соколов А.А., Рыжов А.И., Тетенев Ф.Ф. Морфофункциональные изменения гемомикроциркуляторного русла дермы и сердца и у ликвидаторов аварии на Чернобыльской АЭС // Сибирский медицинский журнал (Иркутск). – 2005. – №7. – С. – 38-40.
6. Поровский Я.В., Жанкова В.И., Рыжов А.И., Тетенев Ф.Ф. Изменение периферической нервной системы у участников ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС и жителей северного промышленного узла г. Томска // Бюллетень сибирской медицины. – 2004. – №4. – С.71–79.
7. Струков А.И., Воробьева А.А. Сравнительная патология микроциркуляторного русла // Кардиология. – 1976. – Т.16. – №11. – С.8-16.
8. Барабанова А.В., Осанов Д.П. Зависимость тяжести поражений кожи от глубинного распределения дозы β- излучения у пострадавших при аварии на Чернобыльской АЭС // Мед. радиол. – 1993. – Т.38. – С.28-31.
9. Чучалин А.Г., Черняев А.Л., Вуазен К. Патология органов дыхания у ликвидаторов аварии на Чернобыльской АЭС. - М.: «Грантъ», 1998. – 272 с.
10. Шишмарев Ю.Н., Алексеев Г.И., Никифоров А.М. и др. Клинические аспекты последствий аварии на Чернобыльской АЭС // Радиобиология. – 1992. – Т.32. – Вып.3. – С.323-332.
11. Максимов М.Т., Оджагов Г.О. Радиоактивные загрязнения и их измерение: 2-е изд.,перераб. и доп. Энергоатомиздат, 1989 – 304 с.
12. Поровский Я.В., Тетенев Ф.Ф. Состояние сосудов микроциркуляторного русла кожи у лиц, подвергшихся воздействию малых доз ионизирующего излучения // Сибирский медицинский журнал (Иркутск). – 2011. – №4. – С.77-81.

УДК 616.151.5:616-001:613.63/.65(571.16)

Латентная лучевая болезнь микроциркуляции

Ф.Ф. Тетенев, Т.Н. Бодрова, Я.В. Поровский
Сибирский государственный медицинский университет, г. Томск, Россия
E-mail: ftetenev@list.ru

Проведенные исследования у 36 лиц, ликвидаторов аварии на Чернобыльской атомной станции, у 29 лиц, проживающих в зоне аварии на Сибирском химическом комбинате и 7 лиц, работающих на учебном ядерном реакторе выявили изменения микроциркуляторного русла - от васкулопатии до выраженного васкулита. Клинические проявления нарушений функции внутренних органов, протекавшие на фоне морфологических изменений микроциркуляции, были достаточным основанием отнести их к особой форме лучевой болезни, и назвать эту нозологическую форму латентной лучевой болезнью микроциркуляции.

По данным литературы, в том числе по результатам исследований, проведенных сотрудниками кафедры пропедевтики внутренних болезней Сибирского медицинского университета известно, что у лиц, подвергшихся воздействию малых доз ионизирующего излучения, заболевания внутренних органов протекают тяжелее. Аналогичные явления проявляются при заболеваниях нервно-психической сферы. Общепринято считать, что малые дозы ионизирующего излучения вызывают функциональные изменения внутренних органов, или, в крайнем случае, они потенцируют патологическое действие известных факторов риска заболеваний. Были изучены морфологические проявления действия малых доз радиации. С этой целью были проведены гистологические исследования кожно-мышечного лоскута у 36 лиц, ликвидаторов аварии на Чернобыльской атомной станции (ЛПА), у 29 лиц, проживающих в зоне аварии (ЗА) на Сибирском химическом комбинате, а также у 7 лиц, работающих на учебном ядерном реакторе (ЯР). У всех исследованных лиц была документирована доза облучения, относящаяся к категории малых. Для выявления действия ионизирующего облучения, в ряду других возможных причин, были сформированы контрольные группы лиц. В группе лиц ЗА и ЯР были исключены наиболее значимые факторы риска заболеваний внутренних органов. У всех исследованных лиц без исключения определялись изменения микроциркуляторного русла от васкулопатии до выраженного васкулита. У 11 лиц ЛПА с кардиальным синдромом Х (без

атеросклеротического поражения артерий сердца) изучали биоптаты правого желудочка сердца. У всех больных этой группы были обнаружены признаки васкулита. У лиц группы ЛПА с одинаковыми факторами риска с группой контроля было обнаружено снижение диффузионной емкости и снижение растяжимости легких при нормальной жизненной емкости легких и скоростных показателях вентиляционной функции. В группе лиц ЗА без факторов риска также было найдено снижение растяжимости легких. В группе лиц ЯР не было каких-либо факторов риска заболеваний системы дыхания и кровообращения.

Результаты исследований показали, что для всех лиц, подвергшихся действию малых доз радиации, не зависимо от условий и вида облучения, был характерен генерализованный васкулит. Клинические проявления нарушений функции внутренних органов, протекавшие на фоне морфологических изменений микроциркуляции, были достаточным основанием отнести их к особой форме лучевой болезни, и назвать эту нозологическую форму латентной лучевой болезнью микроциркуляции. Это положение требует специальной разработки, поиска более эффективной противолучевой защиты, а также средств и способов лечения.

УДК 616.0:613.71:614.2

Использование физических факторов в санаторно-курортном лечении пациентов

М.П. Цыганкова, А.Н. Сарайкина

ГБОУ ВПО Сибирский государственный медицинский университет Росздрава, г. Томск, Россия

E-mail: cvp-cmp@mail.ru

В рамках санаторно-курортного лечения основным средством медицинской реабилитации является физиотерапия. Используемые в физиотерапии факторы, как естественные, так и преформированные, адекватны биологической сущности человека. Поскольку, физические факторы, являясь элементами внешней среды, представляют собой привычные для организма раздражители, на которые в процессе индивидуального развития вырабатываются безусловные рефлексы. Благодаря физиологичности реализация действия физических факторов осуществляется через те же механизмы, что и сложились при взаимодействии с окружающей внешней средой в процессе эволюции.

Основной контингент реабилитационного центра «Ключи», где проводилось исследование в 2009-2010г.г., - пациенты с различными профзаболеваниями. Охват пациентов физиолечением составил 100%. Лечение осуществлялось в 18 кабинетах, оснащенных современной аппаратурой (более 80 наименований), имеющейся в достаточном количестве.

В лечении использовались следующие факторы.

1. Преформированные физические факторы: гальванизация и электрофорез лекарственных веществ, импульсные токи низкой частоты, дарсонвализация, УВЧ- терапия, СВЧ-терапия (ДМВ, СМВ, КВЧ), низкочастотная магнитотерапия, ультразвуковая терапия, светолечение (ультрафиолетовое излучение, лазерное излучение, ИК- излучение, Видимое излучение), аппаратный массаж, компрессионная терапия, ингаляционная терапия, аэроионотерапия, галотерапия, гипокситерапия.

2. Естественные физические факторы: теплолечение (озокеритовые аппликации), водолечение (души (Шарко, циркулярный, восходящий), подводный душ-массаж, ванны (жемчужные, гидромассажные), ванны вихревые для верхних и нижних конечностей, ванны минеральные (бишофит океаническая соль, соль хлорид-нонатриевая, хвойный экстракт, соль йодобромная, соль «Карель», средство «Тонус +», ароматические), ванна для стоп, контрастные ванны, ванны углекислые сухие), а также классический ручной массаж, устройство лечебное на основе электростатической пленки ПЭТ, озонотерапия, криотерапия.

Среди естественных факторов в 2010 году больше всего (45,0%) пришлось на водолечение (ванны, души).

Ванны – водолечебные процедуры, которые можно разделить на местные и общие. К общим относятся процедуры, при которых вода оказывает равномерное раздражающее действие на всю поверхность тела. К местным – относятся такие, при которых действию воды подвергаются ограниченные области тела. В водолечебнице чаще назначали ванны солевые и ароматические. Солевые ванны повышают обмен веществ и реакцию сосудистой системы. Используются соли «Тонус +», хвойный экстракт, скипидарная эмульсия, бишофит.

Души оказывают тонизирующее и общеукрепляющее действие. В основе действия душей лежит термическое и механическое (давление струи) раздражение. Использовались различные виды душей: циркулярный и восходящий, душ Шарко. Наибольшей популярностью пользовался циркулярный душ. Кроме того, часто использовался и подводный душ-массаж. Подводный душ –

массаж легче переносится, чем классический ручной. Процедура отпускается в ванне с теплой водой (37-38 C^0). Струя воды под давлением в 2-3 атм. направляют на участки тела больного, находящегося в воде. Мягкие ткани, особенно мышцы, под водой расслабляются в большей степени, чем вне воды, болевые ощущения отсутствуют. Процедура показана при заболеваниях опорно-двигательного аппарата, при лимфостазах.

Второе место занимало теплолечение (27,0%). В кабинете теплолечения большим спросом пользовалось озокеритолечение. Озокерит (горный воск) обладает большой теплоемкостью и теплоудерживающей способностью, медленно и более длительно отдает тепло организму. Под влиянием нагретого озокерита наступает расширение капиллярной сети кожи, усиливается крово- и лимфообращение. Назначается озокеритолечение при заболеваниях опорно-двигательного аппарата.

На третьем месте, по частоте использования природных факторов, стояли сухие углекислые ванны (18,0%). Они, как правило, назначаются при сердечно-сосудистых заболеваниях (инфаркт миокарда, ОНМК). Углекислый газ, проникая через поры в кожном покрове, разжижает кровь и снижает давление.

Наряду с естественными факторами в физиотерапевтическом отделении применялись и преформированные.

Среди них по частоте использования на первое место вышла магнитотерапия (19,0%). Магнитотерапия изменяет вязкость, состав и свертываемость крови, увеличивает количество лимфоцитов. При этом улучшается кровоснабжение и микроциркуляция тканей. Назначают магнитотерапию при заболеваниях сосудов (тромбофлебиты, флебиты), опорно-двигательного аппарата (артриты, артрозы, остеохондрозы). Чаще всего назначалась магнитотерапия аппаратом «Алимп-1».

Чуть реже использовались ингаляции (18,0%). В ингалятории процедуры проводились ультразвуковыми ингаляторами «Муссон» и «OMRON». Для ингаляций применялись растворы минеральных солей «Эсобел», «По-кур», настойка эвкалипта, минеральная вода. Из лекарственных препаратов применялись «Беродуал», «Лазолван», «Беротек». Ингаляции назначают при заболеваниях верхних дыхательных путей (бронхиты обструктивные, пылевые, бронхиальная астма).

Кроме того, достаточно широко использовалась гипокситерапия (10,0%). Гипокситерапия обладает тренирующим действием для дыхательной и сердечно-сосудистой систем. Так как во вдыхаемом через маску воздухе низкое содержание кислорода, то для восполнения этого дефицита легкие начинают работать интенсивнее, дыхание становится глубже. В результате кровь насыщается кислородом в большем объеме. Для контроля содержания кислорода в периферической крови используют оксипульсометр, измерение производят до и после процедуры. Для контроля артериального давления используется тонометр, давление измеряется также до и после процедуры.

Также часто использовались компрессионная терапия (10,4%) и аппаратный массаж (6,5%). В кабинете механомассажа самой частой процедурой был пневмомассаж верхних и нижних конечностей («Медомер). В результате процедуры уменьшаются отеки, проходят спазмы мышц, уменьшаются «сосудистые звездочки». На втором месте – массажная кушетка «АРМЕД». Вибромассаж, вакуумный и другие виды массажа использовались реже.

Помимо перечисленных процедур использовалось множество других физиотерапевтических методов лечения. Также выявлено, что количество процедур, отпущенных на одного больного в 2010г., по сравнению с 2009г., увеличилось с 8,3 до 8,6 процедур.

Таким образом, физиотерапевтическое отделение является основной частью в лечебном секторе реабилитационного центра «Ключи». В физиотерапевтическом лечении в исследуемые годы использовались как искусственные, так и естественные факторы. Среди искусственных чаще использовались магнитотерапия, ингаляции. Из естественных – водо- и теплолечение, сухие углекислые ванны.

Список литературы:

1. Долгих Л.К., Ерошенко А.Н., Кокоева Е.Г. и др. Сестринское дело в курортологии: Учебное пособие // Под ред. проф. В.А. Дорошенко. – Ростов н/Д: Феникс, 2005. – 320 с.
2. Ешов В.В., Андрияшек Ю.И. Физиотерапия в схемах, таблицах и рисунках. – Донецк: Донецк, 2005. – 303 с.
3. Макаров О.Н. Место физиотерапии в клинической медицине на примере некоторых аспектов антропоспондилоневрологии и КВЧ-терапии // Сибирский медицинский журнал. – 2002. – № 1-2. – С. 75.

4. Улащик В.С., Лукомский И.В. Общая физиотерапия: Учебник. – Минск: Книжный дом, 2005. – 512 с.

УДК 614.212:615.825.1 (571.16)

Реабилитация пациентов, пострадавших на производстве, в условиях санатория «Ключи»

М.П. Цыганкова, О.М. Соловьева

ГБОУ ВПО Сибирский государственный медицинский университет Росздрава, г. Томск,
E-mail: cvp-cmp@mail.ru

В последние десятилетия в связи с ростом хронической патологии роль реабилитации в практической медицине становится все более востребованной и в медицинской отрасли. С принятием ФЗ от 24.07.1988г. № 125-ФЗ «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профзаболеваний» для формирования системы реабилитации лиц, получивших повреждения здоровья вследствие несчастного случая на производстве или профессионального заболевания, в ведомственное подразделение Фонда социального страхования России (ФСС РФ) были переданы 12 федеральных государственных учреждений-центров реабилитации.

Одним из таких центров стал Центр реабилитации ФСС РФ «Ключи» в Томской области (далее Центр). Основной профиль Центра – медицинская реабилитация застрахованных лиц, пострадавших вследствие несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний.

Цель исследования: проанализировать работу Центра по реабилитации пациентов по основному профилю заболеваний за период 2008-2010 года. Центр – многопрофильное санаторно-курортное учреждение, располагающее необходимой лечебно-диагностической базой, в том числе бальнеологическими лечебными ресурсами и лечебным микроклиматом, пригодными для оказания санаторно-курортных услуг. Перечень работ и услуг указан в приложении к лицензии и соответствует требованиям, обозначенным в нормативных документах.

Центр реабилитации «Ключи» имеет богатую современную лечебно-диагностическую базу, высококвалифицированный кадровый потенциал. Постоянно внедряются передовые и оригинальные лечебные технологии, такие как: озонотерапия, лечебные технологии с использованием аппаратов с биологической обратной связью (роботизированные тренажеры) и др.

Для каждого больного лечащий врач разрабатывает индивидуальную программу, включающую режим, диету, лечебно-оздоровительные процедуры. При необходимости, в первые три дня пребывания в Центре проводится медицинское обследование.

Материалы исследования: годовые отчеты Центра реабилитации «Ключи» за 2008-2010гг.

В таблице № 1 представлено количество пролеченных больных за исследуемые годы

Таблица 1. Количество больных, прошедших реабилитацию в 2008-2010гг.

Показатели	**Кол-во Больных 2008г.**	**Кол-во Больных 2009г.**	**Кол-во Больных 2010г.**
Выписано больных (по 125 ФЗ), из них:	2267	2271	2918
- профессиональные заболевания	1631	1531	1984
- трудовые увечья (поздняя реабилитация)	634	735	899
- трудовые увечья (ранняя реабилитация)	2	5	35

В 2010 году реабилитацию при проф. заболеваниях прошло на 29,6% человек больше, чем в 2009 году и на 21,6% больше, чем в 2008 году.

Реабилитацию при последствиях травм на производстве в поздние сроки в 2010 году прошло на 22,3% человек больше, чем в 2009 году и на 41,8% больше, чем в 2008 году. Примечательно, что пациентов, прошедших реабилитацию в ранние сроки заметно увеличилось в 2010 году. Также в 2010 году увеличилось число оказываемых услуг в целом на 17,1%. При этом, данный показатель увеличился по бальнеотерапии на 20,3%, по электролечению на 20,0%, по лечебной физкультуре 41,0%.

Таким образом, лечебная база Центра по всем параметрам соответствует требованиям, предъявляемым к организациям, осуществляющих санаторное лечение лиц, пострадавших от несчастных случаев на производстве и при профессиональных заболеваниях. Ежегодное увеличение числа пролеченных больных (в т.ч. в ранние сроки), объема услуг и внедрение современных технологий в процесс лечения способствует повышению эффективности реабилитации и уменьшению процента выхода на инвалидность.

Список литературы:

1. Исанова В.А. Алгоритм системы контроля за качеством реабилитационных мероприятий в рамках разработанной унифицированной статистической отчетной документации для реабилитационных учреждений // Медицинская реабилитация. – 2006. – № 2 (6). – С. 25-37.
2. Постановление бюро отделения клинической медицины от 09.06.2005г № 48 «Пути повышения эффективности реабилитационных программ» // Медицинская реабилитация. – 2005. – № 2 (4).
3. Улащик В.С., Лукомский И.В. Общая физиотерапия: Учебник. – Минск: Книжный дом, 2005. – 512 с.
4. Физическая реабилитация: Учебник для студентов высших учебных заведений // Под общей ред. проф. С.Н. Попова. Изд. 3-е. – Ростов н/Д: Феникс, 2005. – 608 с.

Показатели вентиляционной функции лёгких у юношей призывного возраста с синдромом недифференцированной дисплазии соеденительной ткани

Н.А. Сердюков, Т.Н. Бодрова, А.В. Дубаков, В.В. Ларченко, А.В. Бондаренко
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия
ГОУВПО бюджетный СибГМУ Росздрава, г. Томск, Россия
E-mail: serdykov@sibmail.com

Цель исследования: оценка вентиляционной функции респираторной системы у юношей призывного возраста с синдромом НДСТ и трофологической недостаточностью.

Ключевые слова: недифференцированная дисплазия соединительной ткани, вентиляционная функция лёгких, юноши призывного возраста.

Актуальность:

До настоящего времени в нашей стране не проводились в полном объёме исследования вентиляционой функции лёгких у лиц с синдромом НДСТ. Недифференцированные дисплазии соеденительной ткани диагностируются тогда, когда у пациента набор клинических признаков не укладывается ни в одно из наследственных моногенных заболеваний (Кадурина Т.И., 2009г.). Высказывается предположение, что НДСТ наблюдается у подростков, например - Санкт-Петербурга с частотой не менее 15,8% (И.М. Воронцов, 1994 год) в то время как по данным И.А. Викторовой (2004 год) от 26 до 80%, в среднем 68,8% (В.М. Яковлев, 1994 год.) Ещё меньше данных о сочетании или вернее - взаимоотношении НДСТ и болезней органов дыхания, причём у одних авторов НДСТ представлены отягчающим фоном. Другие авторы, учитывая высокую популяционную частоту распространения НДСТ и уникальную роль соединительной ткани в осуществлении многообразных функций различных органов и систем, видят в НДСТ тригерные механизмы и этиологическую роль в нарушении формирования эластического каркаса легких в эмбриональном периоде с последующей деструкцией межальвеолярных перегородок и формированием первичной эмфиземы лёгких с изменением мышечно-хрящевого каркаса трахеобронхиального дерева (Г.И.Нечаева., 2004 год). Врождённый морфологический дефект хрящевого и соединительнотканного каркаса трахеи и бронхов, приводят к их повышенной подвижности, возникновению бронхоэктазов и пневмосклеротических изменений. Таким образом, спектр бронхолегочных патологических состояний, причиной которых могут являться НДСТ, достаточно широк, а их своевременная диагностика, когда у пациентов отсутствуют активные жалобы связанные с патологическими изменениями бронхолёгочного аппарата – несовершенна, либо мало изучена. Именно прогредиентный характер течения синдрома НДСТ заставляет искать и разрабатывать новые методы ранней диагностики бронхолёгочного аппарата.

Материалы и методы: для изучения показателей вентиляционной функции легких была отобрана и обследована группа юношей от 17 до 25 лет в количестве 56 человек, давших информированное согласие на обследование. Все пациенты имели 6-8 и более фенотипических признаков - стигм эмбриогенеза (Мутафьян О.А. 2005 год), на основании которых был диагностирован синдром НДСТ разной степени выраженности. Среди обследуемых были лица с

марфаноподобным, элерсоподобным и неклассифицированным фенотипами. У всех пациентов обязательной микроанамалией являлась гипотрофия мягких тканей (недостаточность питания) с гипоплазией (атрофией) мышечной и жировой тканей, что соответствовало снижению индекса Кетле II от 10 до 3 перцентелей. Со всеми обследованными проводилось клиническое интервью для выяснения анамнеза жизни, наследственности, здоровья, хронических заболеваний. Для выявления стигм НДСТ проводилось физикальное обследование согласно таблицы диагностических алгоритмов (значимых клинических маркёров), предложенной в руководстве «Дисплазия соединительной ткани» под редакцией Кадуриной Т. И. и Горбуновой В.Н., 2009 год. Все без исключения юноши на момент обследования не имели активных жалоб связанных с заболеваниями органов дыхания, общеклинические анализы крови и мочи соответствовали норме, флюорографическое исследование органов грудной клетки, в частности лёгких, патологии не выявляло.

Вентиляционная функция лёгких и определение структуры общей ёмкости лёгких исследовались в отделении функциональной диагностики клиник СибГМУ с использованием универсальной бодикамеры (Masterlab Pro «ERIH JAGER», Германия). Исследования осуществлялись по общепринятой методике утром, натощак, в положении пациента сидя. Проводилась оценка следующих показателей: минутный объём дыхания (МОД), жизненная ёмкость лёгких (ЖЕЛ), форсированная жизненная ёмкость лёгких (ФЖЁЛ).

Наличие обструкции бронхов оценивалось по показателям петли поток-объём согласно шкале градаций по Р.Ф. Клементу: пиковая объёмная скорость (ПОС), ОФВ1, индекс Тиффно (ФЖЕ1/ЖЕЛ), максимальная объёмная скорость на уровне крупных (МОС25), средних(МОС50) и мелких (МОС75). Структуру (ОЁЛ, ОО, ФЁЛ, ОО/ОЁЛ) и аэродинамическое сопротивление (R) определяли методом бодиплетизмографии. Все показатели оценивали в процентах к должным величинам.

Результаты и обсуждение:

Проведенное исследование лиц с НДСТ показало, что наиболее информативным были данные, полученные с помощью бодиплетизмографии, а именно ОО, ФОЁ, ОО/ОЁЛ и бронхиальное сопротивление. Все исследуемые проживали в 30 км зоне ОАО СХК и на основании полученных данных были разделены на 4 группы:

В 1 группу вошло 11 человек (19,6%), у которых показатели вентиляционной функции лёгких и бодиплетизмографии были в пределах нормы.

2 группу составили 5 юношей (8,9%) с повышенным бронхиальным сопротивлением. В этой группе бронхиальное сопротивление превышало должные величины в среднем на 44,8%. ФЖЕЛ в среднем составила 111,5% (норма - до 112,5%), ОФВ1 -114,6% (норма - до 112,2%), индекс Тиффно соответствовал -109.2% (норма - до 109,6%), ПОС (пиковая объёмная скорость) – 137,3% (норма – до 115,7%).

3 группа-14 человек(25,0%), пациенты с наличием эмфиземы лёгких и повышенным бронхиальным сопротивлением;

- ОО (остаточный объём) увеличен в среднем на 48,1% (максимальное увеличение -108%).
- ФОЁ (функциональная остаточная ёмкость) увеличена в среднем на 21,1% (максимальное увеличение на 57,5%).
- ОО/ОЁЛ превышало должные величины в среднем на 27,2% (максимальное превышение -57,4%).
- В среднем, снижение ЖЕЛ в данной группе в сравнении с должными величинами соответствует - 96,8%. Максимальное снижение ЖЕЛ - 71,1%. У юношей этой группы ЖЕЛ превышало должные величины в 5 случаях, но в то же время ОО остаточный объем у этих обследуемых в среднем превышал должные величины на 34,7%. В данной группе так же отмечено повышение бронхиального (аэродинамического) сопротивления. В среднем оно превысило должные величины на 28,8% (максимально на 54%, минимально на 4,4%). ФЖЕЛ в среднем в пределах -96,7%, ОФВ1-98,1%, индекс Тиффно в среднем - 108,4% (норма-до109,6%), ПОС - 123,1% (норма- до 115,7%).

4 группа -26 юношей (46,4%), пациенты с признаками эмфиземы лёгких (увеличены ОО, ФОЁ, ОО/ОЁЛ);

- ОО (остаточный объём) увеличен в среднем на 30% (максимально - на 83%).
- ФОЁ (функциональная остаточная ёмкость) увеличена в среднем на 21,1% (максимальное увеличение - 68,7%).
- Отношение ОО/ОЁЛ превышало должные величины в среднем на 29% (максимально на 76%).

- В среднем снижение ЖЕЛ в сравнении с должными величинами - 89,8%. Максимальное снижение ЖЕЛ - 78,2%, Только у двух юношей ЖЕЛ превышало должные величины -109,2% и 104,3%, но у обоих ОО превышал должный (остаточный объём) на 37% в первом случае и на 83% во втором.

- ФЖЕЛ в среднем составила 85% (норма – до 87,5%, условная норма-до 79,5%).

- ПОС (пиковая объёмная скорость) -113,4%.

Выводы:

1) При исследовании вентиляционной функции лёгких у юношей призывного возраста с синдромом НДСТ и трофологической недостаточностью, (при условии отсутствия хронических заболеваний органов дыхания и активных жалоб, других воспалительных процессов) более чем в 70% случаев выявлена первичная эмфизема лёгких и в 34% повышено бронхиальное сопротивление.

2) Лицам с синдромом НДСТ необходимо проводить исследование функции лёгких для раннего выявления обструктивных и рестриктивных нарушений бронхолёгочной системы.

Список литературы:

1. Кадурина Т.И., Горбунова В.Н. Дисплазия соединительной ткани. Санкт-Петербург ООО «Издательство «ЭЛБИ-СПб», 2009.-29-33 с.
2. Тетенев Ф.Ф., Бодрова Т.Н. и др. Исследование функции аппарата внешнего дыхания.- Томск, 2008.-99 с.
3. Мутафьян О.А. Пороки и малые аномалии у детей и подростков. Санкт-Петербург, издательский дом СПбМАПО 2005.-74-75 с.
4. Викторова И.А., Методология и экономическая эффективность курации пациентов с дисплазией соединительных ткани в практике семейного врача: Автореф. Дис. … док-ра мед. наук\ Омск, 2004.-24с.
5. Воронцов И.М. Антропомитрический скрининг при массовых осмотрах детей. СПб. 1994.-24с.
6. Яковлев В.М. Бронхолёгочный синдром при дисплазиях соединительной ткани. Материалы IV Регионального симпозиума по ДСТ. Омск; 1994.-25-26с.
7. Нечаева Г.И. Актуальные вопросы внутренней патологии. Дисплазия соединительной ткани. Омский научный вестник, 205.-75 76с.

СОДЕРЖАНИЕ

Прогноз доз облучения населения при нормальных и чрезвычайных режимах эксплуатации объектов атомной энергетики
А.Н. Валяев 5
Снижение потерь электроэнергии за счет применения вольтодобавочных трансформаторов в распределительных сетях 0,4-10 кВ
А.И. Федотов, А.Р. Ахметшин 7
Анализ эффективности применения ветрогенераторов в условиях Томской области
С.В. Барановский, В.Е. Губин 11
Разработка модели статического синхронного компенсатора реактивной мощности для всережимного моделирования в реальном времени
А.С. Васильев 14
Стенд для исследования эффективности электроимпульсного разрушения горных пород
Д.В. Ганьков, Я.Д. Голощапов, В.Ф. Важов 17
Вероятностное эквивалентирование узлов ранга два при расчетах структурной надежности энергосистем с отказами элементов типа «обрыв»
С.А. Гусев, О.М. Котов, И.Л. Кирпикова, В.П. Обоскалов 20
Широкополосный преобразователь частоты для управления однофазными асинхронными электродвигателями
С.Ю. Еремочкин 23
Анализ работы в режимах короткого замыкания выключателей в сетях 110–220 кВ Магнитогорского энергетического узла
Р.Б. Жумабаева, А.В. Малафеев, О.В. Газизова, Е.А. Панова 25
Вентильный электропривод возвратно-вращательного движения динамически уравновешенного бурового снаряда на грузонесущем кабеле
Э.А. Загривный, Н.С. Губарь 28
Определение максимальной коммутационной способности элегазового выключателя высокого напряжения с помощью численного моделирования процессов дугогашения
А.С. Ильин 31
Эффективное энергопотребление технологическим процессом рудоподготовки горно-металлургической промышленности
О.х. Ишназаров 33
Пуск ленточных конвейерных установок на базе частотно- регулируемых электроприводов
Т.С. Камалов, О.З. Тоиров 34
Методы диагностики силовых трансформаторов
И.Х. Касимова, А.Р. Рамазанова 37
Процесс заиление водохранилища Нурекской ГЭС и его влияние на режим работы каскада Вахшских ГЭС
А.К. Киргизов, Л.С. Касобов 40

Алгоритмы выявления и компенсации высших гармоник активными системами коррекции формы кривых тока и напряжения в электрических сетях нефтедобывающих предприятий
И.С. Кондратьев, Ю.А. Сычев 42
Применение нетрадиционных возобновляемых источников энергии для электроэнергетики России
З.А. Муталибов, Р.С. Федюк 44
Планирование графика загрузки электростанции
В.П. Обоскалов, Ф.Ю. Черных, И.В. Карпов 46
Математическое моделирование узлов комплексной нагрузки, содержащих частотнорегулируемый электропривод, в задаче расчета аварийных несимметричных режимов систем промышленного электроснабжения
Е.А. Панова 50
Методические принципы создания виртуального лабораторного практикума по дисциплине «Электрификация горных предприятий»
В.И. Петуров, А.В. Пичуев 53
Анализ технической эффективности и вариантов настройки ступенчатых токовых защит
А.Ф. Прутик, А.В. Шмойлов 55
Проектирование компьютерной программы для расчетов технической эффективности релейной защиты
А.Ф. Прутик 59
Исследование надежности, технического совершенства и эффективности релейной защиты, как критериев оценки качества функционирования
А.Ф. Прутик 62
Комплексный контроль и мониторинг реализации программ развития энергетического и коммунального сектора муниципалитета
В.Г. Ротарь, А.А. Лукьянец, А.Г. Чернов 66
Минимизация уровня высших гармоник в сетях промышленного предприятия
А.Н. Скамьин 68
Моделирование уровней эксплуатационной готовности воздушных линий электропередач с использованием Марковских случайных процессов
А.А. Складчиков 70
Классификация и анализ технических рисков при эксплуатации воздушных линий электропередач
А.А. Складчиков 72
Оценка погрешностей расчета режимов распределительных электрических сетей
А.С. Степанов, В.И. Маругин 74
Гибридные системы коррекции формы кривых тока и напряжения в электрических сетях предприятий минерально-сырьевого комплекса
Ю.А. Сычев 76
Повышение эффективности работы децентрализованных систем электроснабжения
Б.Д. Табалдиева, Ю.А. Краснятов 78

Обоснование способа контроля состояния контактов коммутационной аппаратуры
К.Ф. Сахибгареев, И.Ф.Суворов 80
Разработка алгоритма и способа косвенного контроля электромагнитного момента асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором
А.Д. Умурзакова 82
Численное моделирование процессов тепломассопереноса при вулканизации кабельных изделий
Н.А. Аманжолова, Е.В. Иванова 85
Методические положения расчета безотказности парогенераторов ПГУ
М.С. Анкудинова, Е.А. Ларин, Л.А.Сандалова *89*
Метод выпаривания стоков нефтеперерабатывающего завода
К.Ю. Афанасьев 92
Сравнительный анализ кожухотрубных и пластинчатых теплообменных аппаратов
К.Ю. Афанасьев 94
Эффективность работы котельных агрегатов малой и средней мощности в Забайкальском крае
М.С. Басс, С.А. Требунских 96
Оптимизация графиков качественно-количественного регулирования в современных системах централизованного теплоснабжения
А.Г Батухтин., А.В. Калугин, С.Г. Батухтин 99
Математическое моделирование вариантов модернизации тангенциальных топок для сжигания топлива угрубленного помола
Т.М. Бетхер, А.В. Корженко 101
Тепло- и массоперенос при вулканизации кабельных изделий
А.А. Бригадин, Е. В. Иванова 104
Численное исследование образования оксидов азота в топочной камере котла БКЗ–320–140 от избытка воздуха
Н.В. Визгавлюст, А.В. Старченко, А.В. Гиль 108
Визуальное моделирование тепловых схем паротурбинных установок на основе объектного подхода
Н.Н. Галашов, Д.К. Смирнов 109
Структура программного комплекса визуального моделирования теплоэнергетических установок
Н.Н. Галашов, Д.К. Смирнов 113
Зажигание полимерного материала локальным источником нагрева при конвективном массопереносе газообразных продуктов пиролиза
Д.О. Глушков 116
О повышении эффективности воздействия на промышленные стоки открытым газогенератором
С.В. Голдаев, А.А. Литвинов 119
Эколого-технический подход к исследованию эффективности энергоснабжения в условиях Крайнего Севера
В.А. Иванов 120
Методические основы создания котлов малой теплопроизводительности
В.С. Игнатьев, А.В. Степанов, А.П. Шадрин 123
Пути повышения эффективности ГТУ

И.Ш. Ислямов 126
Энергосбережение теплоты в зданиях с использованием теплонасосной установки
В.С. Логинов, А.С. Трамона 127
Решение задачи газификации отдаленных населенных пунктов
О.Н. Медведева, В.О. Фролов 130
Вибродиагностика, как средство определения дефектов подшипников
И.Л. Москалёв, Л.В. Савостьянова 132
Использование энергетических возможностей климата для теплоснабжения зданий (применительно к Приморскому краю)
А.В. Мочалов, Р.С. Федюк 135
Численное моделирование теплопереноса в зонах прокладки теплотрасс
В.Ю. Половников 137
Анализ тепловых и гидравлических характеристик аппаратов воздушного охлаждения природного газа
Е.С. Попков, С.В. Голдаев 140
Результаты моделирования распределения топливозоловых частиц в низкотемпературной вихревой топке.
Л.Ю. Родина, Б.В. Лебедев 143
Оценка энергоэффективности системы централизованного теплоснабжения
А.А. Середкин 145
Моделирование нестационарной температуры теплоносителя в трубопроводе с разрушенными участками тепловой изоляции
О.С. Симонова, В.С. Логинов 147
Анализ тепловой схемы ТЭЦ с одноцилиндровыми турбинами различного давления
О.Ю. Ромашова, А.С.Смоляров 148
Вопросы обеспечения безопасности при использовании ядерных технологий
Б.П. Степанов, А.Н. Базароват 152
Классификация основных дефектов тепловыделяющих элементов, причины и статистика
А.В. Власов, А.В. Кузьмин, В.Ю. Рождествин 154
Термодинамическое моделирование поведения цезия и стронция при горении радиоактивного графита
М.П. Дальков, Н.М. Барбин, А.В. Пешков, М.Р. Шавалеев 158
Проблема конверсии исследовательских реакторов
Д.А. Иксанов, А.Г. Наймушин 161
Исследование нейтронно-физических характеристик активной зоны реактора ИРТ-Т
А.К. Лиханов, С.Н. Елпашев, А.Г. Наймушин 163
Ресурсы атомной эенергетики
И.А. Мальцев, Р.С. Федюк 164
Разработка методики расчета отравления бериллиевого отражателя
А.А. Пахтусов, А.Г. Наймушин 167
Влияние присутствия в теплоносителе дебрис-частиц на надежность тепловыделяющих элементов и безопасность АЭС

А.В. Кузьмин, В.Ю. Рождествин 169
О теплофизических свойствах металлического урана
Е.Ю. Синяткин, А.В. Кузьмин, В.Ю. Рождествин 161
Международные тенденции развития кооперации хранения, транспортировки и переработки ОЯТ атомных электростанций
А.П. Шадрин 175
Прямое плазменное получение ядерного топлива из гексафторида урана
О.Д. Шахматова 178
О влиянии центробежных сил на полноту сгорания унитарных твердых топлив при тепловом воздействии на промышленные стоки
В.Д. Барсуков, С.А. Басалаев, С.В. Голдаев 183
Энергия. Взаимосвязь цены и спроса
О.В. Белова 184
Показатели энергоемкости валового регионального продукта субъектов сибирского федерального округа (на примере Красноярского края и Томской области)
М.В. Вахнер 187
Основные критерии для классификации медицинских учреждений по энергоэффективности
Ю.Н. Вербич 190
Комплексный подход к энергосбережению на примере реновации оборудования фермерского хозяйства
Д.М. Глухов, А.М. Ефанов, И.С. Воронков 192
Реализация в среде турбо паскаль методики прогнозирования показателей надежности объектов, подчиняющихся распределению гаусса
С.В. Голдаев, А.М. Коровина, К.Н. Радюк 194
Расчет энергетических характеристик композиций, используемых для термогазодинамического воздействия на нефтеносные пласты
В.М. Горбенко, М.В. Горбенко 196
Соблюдение условий электробезопасности в сетях 6-35 кВ с резестированной нейтралью
Ю.Л. Жуковский 199
Принципы проектирования энергосберегающих зданий
Ю.Ю. Ильинский, Р.С. Федюк 202
Расчет реактора плазменного генератора тепла
А.А. Каренгин, А.Г. Каренгин, А.Д. Побережников 203
Плазменный генератор тепла из нефтяных отходов
А.А. Каренгин, А.Г. Каренгин, А.Д. Побережников 207
Энергоемкость производства валовой добавленной стоимости – новый индикатор энергетической эффективности Томской области
Г.Н. Климова, В.В. Литвак 209
Снижение энергопотребления в бюджетных организациях
И.В. Кузнецов 213
Оценка влияния нештатных условий эксплуатации тепловых сетей на увеличение транспортных тепловых потерь
Г.В. Кузнецов, И.П. Озерова, В.Ю. Половников, Ю.С. Цыганкова . . . 215
Возможности теплосбережения в системе транспорта тепловой энергии

Г.В. Кузнецов, И.П. Озерова, В.Ю. Половников, Ю.С. Цыганкова 217
Поисковые исследования возможности производства из угля марки 3Б высококалорийного топлива с низким содержанием летучих
М.В. Кулеш 220
Оценка энергетической стратегии региона по критериям энергетической безопасности: методический подход и реализация
А.Л. Мызин, П.Е. Мезенцев, П.А. Пыхов 223
Анализ графиков потребителей и их реакция на изменение оптовых цен на электроэнергию
А.В. Павлова, Т.Ю. Паниковская 226
Предпосылки для пересмотра стандартизированных показателей энергоэффективности гидроприводов
Г.В. Птицын 229
Анализ системы планирования электропотребления у потребителей электроэнергии с присоединенной мощностью свыше 750 кВА
Т.П. Рубан, Т.И. Поликарпова 232
Построение системы обработки и интерпретации поступающей информации при мониторинге АЭС
Л.Т. Рязанцева, Е.А. Ушакова 234
Пример расчета осветительных сетей при неравномерной нагрузке фаз
В.Б. Вайнштейн, В.Д. Никитин, К.П. Толкачева, А.В. Трубач 236
Определение риска и безопасности насосной установки и насосной станции машинного орошения
С.С. Халиков 238
Применение нейронной сети для вероятностного анализа безопасности крупных насосных агрегатов насосной станции машинного орошения
С.С. Халиков 239
Алгоритм оценки эксплуатационной надежности электрических машин
В.П. Шевчук 242
Применение системных принципов в принятии решений, направленных на обеспечение эффективной эксплуатации и обслуживания электрических машин
В.П. Шевчук 244
Учет реактивной энергии в сетях с нелинейными нагрузками
Я.Э. Шклярский, В.А. Кузнецов 250
Синтез нечётких регуляторов для управления энергообеспечением сложного объекта
В.Э. Осипова, Д.А. Яковлев 252
Водные ресурсы Казахстана: характеристика и проблемы
А.Ю. Алейник, О.Б. Назаренко 255
Система добровольной сертификации организации работ в области охраны труда как часть общей системы менеджмента организации
Ю.В. Бородин, Н.А. Чулков 258
Влияние свойств тонкодисперсных материалов на сжимаемость фильтрующего слоя в пылеуловителе
М.В. Василевский, В.И. Романдин, А.С. Разва, Е.Г. Зыков, В.А. Полюшко 260

Нормативные документы в обеспечении безопасности энергетических воздействий на здоровье человека
М.В. Василевский 262
Корректирующие оценки эффективности циклона фактором формы частиц
М.В. Василевский, Е.Г. Зыков, В.А. Полюшко, В.И. Романдин, А.С. Разва 265
Улучшение качества воды питьевого назначения с помощью бадинского цеолита
А.С. Вейсгейм, Р.Ф. Зарубина, О.Б. Назаренко 268
О прогнозировании распространения дымового факела в атмосфере
А.М. Веселов, С.В. Голдаев 271
Поднятие факела вредных летучих примесей над источником выбросов
К.Г. Добросельский 274
Исследование процесса обеспыливания воздуха в циклонных аппаратах
М.В. Василевский, И.В. Додонова 276
Новый способ переработки диоксида серы, содержащегося в отходящих обжиговых газах металлургических производств
Е.В. Заболотская, Т.С. Цыганкова, В.Н. Михеев 280
Нечеткое регулирование параметров информационных систем
В.Н. Извеков 283
Регулирование параметров производственной среды при неопределенности в исходной информации
В.Н. Извеков 284
Диагностика нанопорошков металлов: тепловые характеристики горения в воздухе
Г.В. Шувалов, И.В. Клековник, А.П. Ильин, Д.В. Тихонов, Л.О. Роот . . 286
Способ измерения емкости ДЭС и УЭП водных растворов с использованием источника тока по форме напряжения на кондуктометрической ячейке
А.Г. Кагиров, К.В. Сесь 289
Радиоактивное загрязнение хариуса сибирского в реке Енисей
А.Д. Карпов, А.Я. Болсуновский 292
Геологические, экологические и политические аспекты хранения и захоронения ядерных материалов
Комлева Е.В. 294
Фотометрическое определение хрома(VI) в пробах из водоемов г. Томск и Томской области на УЛК «Экологический мониторинг» и ТА Эколаб-2
В.В. Морозова 299
Особенности диагностики нанопорошков металлов, полученных электрическим взрывом проводников
А.П. Ильин, О.Б. Назаренко 302
Характеристика водных ресурсов Зимбабве
Э. Нкубе, О.Б. Назаренко 306
Анализ технологий производства питьевой бутилированной воды
Я.Н. Богданова, О.Б. Назаренко 309

Значение радиационного мониторинга местности в урбоэкологии (на примере города Юрги)
К.Н. Орлова 312
Экологические методы в системе безопасности энергоснабжения Сибири
А.Н. Панов 314
Аналитическая оценка влияния методов снижения выбросов NO_x и SO_2 на надежность и экономичность работы котельных агрегатов ТЭС
В.В. Пинигин, С.А. Иванов 317
Экологическое образование для устойчивого развития
О.В. Ротарь, Д.В. Искрижицкая, Ф.С. Абакарова 320
Мини гидроэлектростанция
Ю.М. Федорчук, О.Н. Русина 322
Анализ отходов I-IV классов опасности, образующихся в вузах, на примере ФГБОУ ВПО НИ ТПУ
Ю.М. Федорчук, В.Н. Извеков, О.Н. Русина 324
Оценка загрязнения атмосферного воздуха химическими элементами в зоне действия ТЭЦ
Н.К. Рыжакова, Н.С. Рогова, Е.П. Родионова, А.Л. Борисенко, В.Г. Меркулов 327
Об особенностях и применении базальтостеклопластиковых труб (БСПТ).
А.С. Ситников, Г.П. Комаров 330
Получение сорбентов на основе диоксида титана
В.В. Смирнова, О.Б. Назаренко 333
Перспективы городского водоснабжения с позиции экологически рационального использование природных ресурсов
Р.С. Федюк., З.А. Муталибов 334
Издержки современного энергопотребления: деградация окружающей среды
Т.Ш. Фузелла 337
Рекультивация земель просек ВЛ--500 кВ
В.В. Хахалкин 340
Ландшафтная основа проблем районирования трасс ВЛ СВН И УВН
В.В. Хахалкин 341
Новый способ переработки диоксида серы, содержащегося в отходящих обжиговых газах металлургических производств
Т.С. Цыганкова, А.А. Сечин, Е.В. Заболотская, В.Н. Михеев 345
Исследование эффективности пылеочистки в производстве стеклоизделий
Н.А. Чулков, Е.Д. Корф 348
Влияние компоновки пылеуловителей на эффективность каскадных систем
М.И. Шиляев, В.В. Пенявский 351
Проблема утилизации осадков сточных вод на ОАО «Селенгинский ЦКК»
О.М. Юдина, О.Б. Назаренко 353
История электроэнергетики г. Читы
Л.В. Печенюк, П.Ю. Фарафонов 356

Экология человека в контексте высоких технологий
Е.А. Жукова 358
Методы восстановления голоса и речи у больных с острыми и хроническими ларингитами
В.И. Мухина, И.Н. Сафронова 361
Распространенность нарушений социальной адаптации и вгетативной устойчивости среди подростков, получающих профессиональное образование
Н.И. Басарева 364
Метаболический синдром: клинико – эпидемиологические параллели
И.Д. Беспалова, Ю.А. Медянцев, В.В. Калюжин, Н.В. Рязанцева, Е.С. Вершута 365
Уровень качества жизни больных с холелитиазом, ассоциированным с некоторыми компонентами метаболического синдрома
И.Д. Беспалова, Ю.А. Медянцев, В.В. Калюжин, Н.В. Рязанцева, Н.В. Нейфельд 367
Эрадикация нанобактериальной инфекции. Основные механизмы и методы
В.Т. Волков, Н.Н. Волкова 369
Новый взгляд на природу сахарного диабета
В.Т. Волков, Г.И. Цыров, Н.Н. Волкова 373
Экологическая опасность водной среды на заболевания человека и животных
В.Т. Волков, Н.Н. Волкова 376
Нарушения вентиляции и перфузии у пациентов бронхиальной астмой
А.В. Дубоделова, Н.Г. Кривоногов, Т.С. Агеева, Ф.Ф. Тетенев* 377
Оценка показателей эластического сопротивления легких при хроническом описторхозе у больных бронхиальной астмой
О.В. Калинина, Т.Н. Бодрова, А.И. Карзилов, П.Е. Месько 380
Состояние регуляция дыхания у здоровых людей при чрескожной электростимуляции диафрагмы
А.И. Карзилов, Ф.Ф. Тетенев, О.В. Калинина, О.В. Якис 382
Гендерные особенности смертности населения
И.Н. Конобеевская, Е.В. Ефимова 383
Физическая работоспособность и окислительные процессы у детей, проживающих в разных экологических зонах
Т.В. Матковская, Е.А.Ямановская, Г.А.Суханова 387
Спектральный анализ как метод оценки нарушений фонации у лиц, страдающих заболеваниями органов голосообразования
Р.В. Мещеряков, А.Г. Сизов, В.И. Мухина 391
Биомеханические аспекты гомеостатического обеспечения неэластических свойств аппарата внешнего дыхания у больных хроническим бронхитом в сочетании с пневмофиброзом
О.В. Якис, А.И. Карзилов, Ф.Ф. Тетенев 397
Вибротерапия как метод лечения воспалительных заболеваний гортани
В.И. Мухина, И.Н. Сафронова 398

К механизму коморбидности и патоморфоза соматических заболеваний у ликвидаторов аварии на Чернобыльской АЭС
Ф.Ф. Тетенев, Т.Н. Бодрова, Я.В. Поровский, О.В. Кузнецова 401
Латентная лучевая болезнь микроциркуляции
Ф.Ф. Тетенев, Т.Н. Бодрова, Я.В. Поровский 403
Использование физических факторов в санаторно-курортном лечении пациентов
М.П. Цыганкова, А.Н. Сарайкина 404
Реабилитация пациентов, пострадавших на производстве, в условиях санатория «Ключи»
М.П. Цыганкова, О.М. Соловьева 406
Показатели вентиляционной функции лёгких у юношей призывного возраста с синдромом недифференцированной дисплазии соединительной ткани
Н.А. Сердюков, Т.Н. Бодрова, А.В. Дубаков, В.В. Ларченко, А.В. Бондаренко 407

Научное издание

ЭНЕРГЕТИКА:
ЭФФЕКТИВНОСТЬ, НАДЕЖНОСТЬ, БЕЗОПАСНОСТЬ

Материалы докладов XVII Всероссийской
научно-технической конференции

Подписано в печать 03.12.2011 г.
Формат 60x84/16. Бумага офсетная.
Печать плоская. Усл. печ. л. 24,41. Уч.-изд. 22,11.
Тираж 250 экземпляров.
Отпечатано ООО *"СПБ Графикс"*. Заказ № 055-1-Т.
Адрес: 634034, г. Томск, ул. Усова, 4а-150, т. (38-22) 224-789