

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

ИВАНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

ЭНЕРГИЯ -2012

СЕДЬМАЯ
РЕГИОНАЛЬНАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ
И МОЛОДЫХ УЧЁНЫХ
(С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ)

17-19 апреля 2012 г.
г. Иваново

ТОМ 1
ЧАСТЬ 2

Светлой памяти А.В. Мошкарина

Министерство образования и науки РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«ИВАНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИ-
ВЕРСИТЕТ ИМЕНИ В.И.ЛЕНИНА»

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

«ЭНЕРГИЯ-2012»

РЕГИОНАЛЬНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕ-
РЕНЦИЯ СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ
УЧЁНЫХ

(С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ)

г. Иваново, 17-19 апреля 2012 г.

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

ТОМ 1, ЧАСТЬ 2

ИВАНОВО

ИГЭУ

2012

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА // Региональная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Энергия-2012»: Материалы конференции. В 7 т. Т. 1, Ч. 2. – Иваново: ФГБОУ ВПО Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина, 2012. – 215 с.

Доклады студентов, аспирантов и молодых учёных, помещенные в сборник материалов конференции, отражают основные направления научной деятельности в области теплоэнергетики и высшего профессионального образования.

Сборник предназначен для студентов, аспирантов и преподавателей вузов, интересующихся вопросами теплоэнергетики.

Тексты докладов представлены авторами в виде файлов, сверстаны и при необходимости сокращены. Авторская редакция сохранена.

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

Председатель Оргкомитета: проректор по научной работе, д.т.н., проф. **В.В. ТЮТИКОВ**.

Члены оргкомитета: декан теплоэнергетического факультета к.т.н., доц. **С.Б. ПЛЕТНИКОВ**, зав. кафедрой Тепловых электрических станций д.т.н., проф. **Е.В. БАРОЧКИН**, зав. кафедрой Химии и Химических технологий в энергетике д.т.н., проф. **Б.М. ЛАРИН**, зав. кафедрой Промышленной теплоэнергетики д.т.н., проф. **В.П. СОЗИНОВ**, зав. кафедрой Автоматизации технологических процессов к.т.н., проф. **В.Д. ТАЛАНОВ**, зав. кафедрой Теоретических основ теплотехники д.т.н., проф. **В.В. БУХМИРОВ**, отв. за НИРС ИГЭУ к.т.н., доц. **А.В. МАКАРОВ**, заместитель декана ТЭФ по научной работе ст. преподаватель **Н.Н. СМИРНОВ**.

Секция 3. АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

*Председатель секции профессор кафедры «Автоматизация технологических процессов» к.т.н., проф. А.В. КОНДРАШИН
Секретарь секции ст. преп. Е.Л. АРХАНГЕЛЬСКАЯ*

*Д.А. Чуланов, студ.; рук. А.В. Кондрашин, к.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПОДГОТОВКА СПЕЦИАЛИСТОВ ПО АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ГЛАЗАМИ СТУДЕНТА

Основанием для оценки соответствия состояния профессионального образования в области автоматизации технологических процессов современному уровню развития средств и систем явился первый профессиональный опыт, полученный студентом в процессе работы в научно-производственной фирме и при выполнении монтажных и наладочных работ на крупном энергетическом объекте (блок 500 МВт Троицкой ГРЭС).

В условиях активного внедрения новых и модернизации действующих автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП), стремительного развития микропроцессорной техники и программного обеспечения для АСУ ТП, резко обостряется проблема подготовки кадров, квалификация которых в должной мере должна соответствовать научно-техническому прогрессу и запросам промышленности. К сожалению, в результате структурной перестройки энергетики и изменений экономических отношений снизился и престиж работы на электростанциях. Поэтому на эти предприятия часто идут выпускники не с лучшими показателями профессиональной готовности.

Основным поставщиком кадров по АСУ ТП для теплоэнергетики в настоящее время являются университеты, техническая и методическая база которых не успевает следовать за развитием программно – технических комплексов (ПТК) и программного обеспечения (ПО). Это увеличивает дистанцию между фактической квалификацией выпускника и требуемым уровнем его подготовки. При приеме на работу, предприятие вынуждено проводить дополнительное обучение молодых специалистов, что ведет к большим финансовым потерям. Снижается авторитет университета, выпустившего таких специалистов.

Проводимая реформа профессионального образования не затронула проблему совершенствования материально-технической базы университетов, не создала условий для вовлечения преподавателей и студентов в эту работу. Отсталость материальной базы, отсутствие видимой динамики её модернизации не способствуют совершенствованию методического обеспечения. В частности, для выпускающей кафедры характерно:

- использование на занятиях устаревших технических средств автоматизации, выводимых в настоящее время из эксплуатации на предприятиях, в связи с чем навык их наладки, а так же проектирования систем с использованием данного оборудования теряет актуальность;
- использование учебных тренажеров, модели объектов управления в которых имитируют процессы, плохо согласующиеся с процессами в реальных объектах, что ведёт к искажению представления студента о реальном технологическом процессе;
- наличие тренажёров, реализующих только одномерные задачи автоматического регулирования (управления одной переменной); не отрабатываются задачи логико-динамического управления; нет задач настройки систем автоматики, действующих в пусковых, переменных и аварийных режимах; отсутствуют многомерные задачи, сопряжённые с наладкой связанных между собой регуляторов;
- применение в тренажёрах методик наладки систем регулирования, отличающихся от методик, используемых специалистами наладочных организаций.
- отсутствие методической базы для работы с более современной микропроцессорной техникой (даже при её наличии); отсутствие опыта работы с современной документацией на разные виды обеспечения АСУ ТП;
- слабое внедрение в учебный процесс разработок, выполненных выпускниками прежних лет; мотивация студентов и их привлечение к работе по модернизации учебно-лабораторной базы носят несистемный характер; по мнению автора это самая весомая причина, которая в значительной степени влияет на всё перечисленное выше.

Способы выхода из сложившейся ситуации следуют из причин её возникновения. Проблема обновления технической базы частично решается путем привлечения компаний – производителей оборудования, заинтересованных в кадрах высокой квалификации. Но этого мало. Перспективным следует считать внедрение виртуальных систем, позволяющих вести обучение не отдельном (уникальном и дорогом) стенде, а фронтально, за счёт применения персональных компьютеров общего назначения. Это позволит создавать современные тренажерные и обучающие системы вне зависимости от наличия технических средств автоматизации.

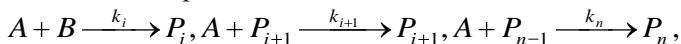
Проблема отсутствия современных тренажеров и надлежащих методических указаний может быть решена за счёт совместного участия студентов и преподавателей в скоординирован-

ной программе работ с понятными перспективами их применения в учебном процессе и научных исследованиях.

*М.А. Чешинский, асп.; рук. А.Н. Лабутин, д.т.н., проф.
(ИГХТУ, г. Иваново)*

ОПТИМИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ МНОГОПРОДУКТОВЫМ РЕАКТОРОМ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО-ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ РЕАКЦИЙ

Широкий спектр продуктов органического и нефтехимического синтеза производится по непрерывной схеме путем реализации сложных многостадийных многопродуктовых реакций последовательно-параллельного типа



где: А и В – исходные реагенты; P_i – продукты реакции $i = \overline{1, n}$, n – количество продуктов, k_i – константа скорости i -й стадии.

Во многих случаях реакции протекают с существенным выходом ряда продуктов P_i , одни из которых (или их смесь в заданном соотношении) являются целевыми, другие – побочными. В связи с периодическим изменением спроса и цены на целевые продукты реакторный узел должен обладать свойством гибкости (структурной, технологической) и обеспечивать путем своевременного изменения технологического режима требуемый состав продуктов, т.е. требуемое значение селективности по целевым веществам. Переход с режима на режим осуществляется с помощью АСУТП. Задача АСУТП заключается в определении и поддержании на оптимальном уровне технологических переменных, обеспечивающих экстремум критерия оптимальности, который отражает технологические требования к режиму работы аппарата при соблюдении ограничений на состав реакционной смеси на его выходе.

Так, например, процесс оксиэтилирования спиртов осуществляют в реакторе типа “труба в трубе в трубе” [1], который с достаточной точностью может быть описан моделью идеального вытеснения. Кроме того, ввиду потенциальной взрыво- и пожароопасности необходимо обеспечить полное расходование окиси этилена в ходе реакции. С позиции ресурсосбережения, превращенные исходные реагенты и продукты реакции, более

легкие, чем целевые, должны возвращаться со стадии разделения на стадию синтеза (т.е мольные концентрации рециркулируемых более легких продуктов в реакционной массе в момент времени τ должны совпадать с концентрациями этих компонентов в исходной смеси).

Задача оптимизации может быть сформулирована следующим образом. Требуется подобрать состав веществ на входе в реактор и время пребывания в аппарате τ такими, чтобы обеспечить заданное соотношение массовых расходов целевых продуктов в получаемой реакционной массе при заданной нагрузке по реагенту В.

Математическая формулировка задачи имеет вид:

$$\psi(\tau, G_A^0, G_B^0, G_u^0) = (G_u^\tau + G_k^\tau - G_u^0) / G_B^0 \rightarrow \max, \quad (1)$$

$$[(G_{k-1}/G_k)^\tau - (G_{k-1}/G_k)^3]^2 = 0, \quad (2)$$

$$1 = \varpi_A^0 + \varpi_B^0 + \sum_{i=1}^{k-1} \varpi_i^0, \quad (3)$$

$$G_i^0 = G_i^\tau, G_A^\tau = 0, i = 1, u-1, \quad (4)$$

где: G_A^0, G_B^0, G_i^0 - массовые расходы веществ А, В и продуктов реакции на входе в реактор; $\varpi_A^0, \varpi_B^0, \varpi_i^0$ - массовые доли компонентов А, В и рециркулируемых продуктов на входе в реактор; i - номер продукта; u, k - номер легкого и тяжелого целевого продукта соответственно; $(G_{k-1}/G_k)^3, (G_{k-1}/G_k)^\tau$ - заданное и расчетное соотношение целевых продуктов, соответственно; $\psi(\tau, G_A^0, G_B^0, G_u^0)$ - критерий эффективности – выход целевых продуктов.

Выражение (3) определяет состав исходной смеси на входе в реактор, а соотношение (4) – требование ресурсосбережения.

Для анализа и оптимизации реакторных процессов было разработано математическое описание реактора. Модель (5) включает в себя уравнения материального баланса по компонентам; уравнение теплового баланса для реакционной смеси; уравнения теплового баланса для хладагента, перемещающегося по внешней и внутренней трубе; уравнение, учитывающее изменение плотности реакционной смеси по длине аппарата.

$$\frac{dy_i}{dz} = \frac{\pi(d_2^2 - d_1^2)\rho R_i}{4v} - \frac{y_i}{\rho} \frac{d\rho}{dz},$$

$$\frac{dT}{dz} = \frac{\pi(d_2^2 - d_1^2)R_A \Delta H}{4vCp} - \frac{\pi d_1 K_{t1}(T - T_1)}{vCp} - \frac{\pi d_2 K_{t2}(T - T_2)}{vCp},$$

$$\frac{dT_1}{dz} = \frac{\pi d_1 K_{t1} (T - T_1)}{v_1 C p_1}, \quad (5)$$

$$\frac{dT_2}{dz} = \frac{\pi d_2 K_{t2} (T - T_2)}{v_2 C p_2},$$

$$\frac{d\rho}{dz} = \sum_{i=1}^n M_i \frac{dy_i}{dz};$$

где: z -пространственная координата, направленная вдоль оси аппарата (длина аппарата), m ; d_1, d_2 -диаметр внутренней и внешней трубы с хладагентом, соответственно; y_i -концентрация i -го компонента реакционной смеси, кмоль/ m^3 ; T, T_1, T_2 -температура реакционной смеси, температура хладагента во внутренней трубе и температура хладагента во внешней трубе, K ; ρ -плотность реакционной смеси, kg/m^3 ; v_1, v_2, v_3 -массовый расход реакционной смеси и соответствующих хладагентов, kg/c ; R_i, R_A -скорость реакции по i -му компоненту и скорость расходования реагента A , соответственно, кмоль/($m^3 \cdot c$); ΔH -тепловой эффект реакции, $kJ/kmole$; K_{t1}, K_{t2} -коэффициенты теплопередачи, $Вт/(m^2 \cdot K)$; M_i -молярная масса i -го компонента реакционной смеси, $kg/kmole$; n -количество компонентов в реакционной смеси.

Начальные условия для решения системы уравнений (5) запишем в виде:

$$y_i(z=0) = y_i^0; T(z=0) = T^0; T_1(z=0) = T_1^0;$$

$$T_2(z=0) = T_2^0; \rho(z=0) = \rho^0$$

Разработан алгоритм решения задачи оптимизации, приведенной выше, и программное средство его реализации. С его помощью можно осуществлять переход с режима на режим (смена требуемого соотношения целевых продуктов, производительности по целевым продуктам, изменение состава целевых продуктов и др.).

Проведены исследования влияния различных технологических параметров на критерий эффективности (1). По результатам исследований, при условии отсутствия рецикла по легкому целевому продукту не всегда удастся обеспечить заданное соотношение целевых компонентов на выходе аппарата (2). Например, требуется достичь соотношение $(G_3/G_4)^3 = 5.0$. При выполнении всех ограничений, описанных выше, соотношение оказывается выше заданного (табл. 1). Для этого подбирают необходимую величину рецикла.

Исследована зависимость селективности по целевым продуктам в зависимости от переработанной окиси этилена (рис. 1). Селективность монотонно убывает с увеличением количества переработанной окиси этилена.

Таблица 1. Результаты расчетов

Направление потока на	Поток вещества, кг/ч							z, м	$(G_3/G_4)^3$
	G_A	G_B	G_1	G_2	G_3	G_4	G_5		
входе	600	500	1351	2305	0	0	0	137	7.477
выходе	0	359.8	1351	2305	646.87	86.5	7.5		
входе	700	500	1310	2237	0	0	0	142	6.286
выходе	0	337.4	1310	2237	733.9	116.8	12.27		
входе	800	500	1263	2164	0	0	0	151	5.353
выходе	0	315.5	1263	2164	813.24	151.9	19.27		

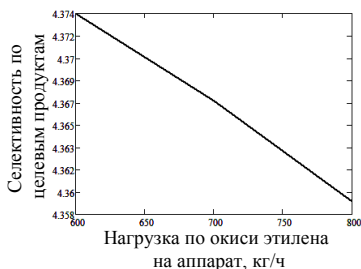
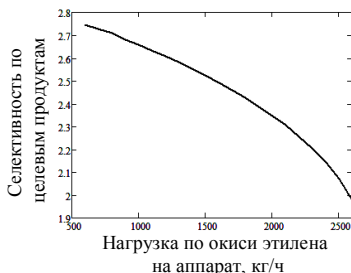


Рис. 1. Значение селективности по целевым продуктам в зависимости от нагрузки по окиси этилена, кг/ч на аппарат при $(G_3/G_4)^3$, равном 1.0 (слева) и 5.0 (справа)

На рис. 2 приведена зависимость выхода целевых продуктов от конверсии спирта в условиях рецикла легкого целевого компонента для достижения нужного соотношения продуктов на выходе реактора. Существует точка, где выход целевых продуктов достигает максимума. Правда, содержание высших побочных продуктов является достаточно высоким. Найденное оптимальное значение конверсии компонента В составляет 0.91, чему соответствует $G_A^0=2400$ кг/ч, $G_1^0=400$ кг/ч, $G_2^0=946$ кг/ч, $G_3^0=97.5$ кг/ч, $G_3^\tau=1152$ кг/ч, $G_4^\tau=938.04$ кг/ч, $G_5^\tau=866.84$ кг/ч, $z=358$ м.



Рис. 2. Зависимость выхода целевых продуктов от конверсии компонента В при $(G_3/G_4)^3 = 1.0$ при различных G_A^0 , кг/ч

Разработанное программное средство может использоваться в составе АСУТП для решения задач технологической оптимизации и управления в технических системах.

Библиографический список

1. Швец В.Ф. Разработка новых физико-химических принципов организации и управления реакционных процессов с участием а-оксидов // Сб. научн. трудов "Научные исследования высшей школы в области химии и химических продуктов". - М.: - 2001. Вып. 179.- С. 52-58.

*Э.И. Бусурманова; рук. К.Т. Тергемес к.т.н., доцент
(КГУТуИ, г. Актау)*

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В ПИТАТЕЛЬНЫХ КОТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОНАСОСАХ ТЭЦ ТОО «МАЗК-КАЗАТОМПРОМ»

В данной статье рассматривается возможность энергосбережения в питательных электронасосах путем внедрения энергосберегающей техники в котельные энергоблоки ТЭЦ, в частности высоковольтных преобразователей частоты. Показаны преимущества и экономический эффект от внедрения ВПЧ в питательные электронасосы.

В настоящее время потребность электроэнергии растет в Мангистауском регионе с каждым днем, и это связано с интенсивным развитием промышленности области. При этом, из доли электроэнергии на долю компрессоров, насосов и вентиляторов приходится около 60%. А на нужды электроприводов направляется около 60% всей вырабатываемой энергии во всем мире [1].

В наступившем XXI веке проблема энергосбережения, по сравнению с прошлым веком, приобрела несравненно более острый характер, и не обошла стороной Республику Казахстан. 2012 году подписан закон РК «Об энергосбережении и энергоэффективности», основными направлениями которого являются: рациональное и экономное использование топливно-энергетических ресурсов; внедрения энергосберегающих технологии, оборудование и материалы, позволяющие повысить эффективность использования топливно-энергетических ресурсов; развитие возобновляемых источников энергии (альтернативная энергетика). Согласно этому закону стала важнейшим условием

дальнейшего развития и повышения эффективности коммунального хозяйства, предприятий, населенных пунктов и всего государства в целом [2].

Существует множество пути энергосбережения в промышленных предприятиях. К ним можно отнести такие как: увеличение загрузки асинхронных двигателей, при малой нагрузке переключение обмоток со звезды на треугольник, замена асинхронных двигателей синхронными, использование частотных преобразователей для двигателей с переменной нагрузкой. Остановимся подробно на методе экономии электроэнергии за счет применения преобразователя частоты для насосной станции питательной воды [3].

Подача питательной воды в водяной тракт котлов энергоблоков ТЭС(1,2,3) ТОО «МАЭК-Казатомпром» производится питательными электрическими насосами (ПЭН) через регуляторы питания котла (РПК). Каждый блок ТЭС снабжен двумя питательными насосами, поддерживающими заданный уровень воды в барабане котла. Схема подачи питательной воды через РПК показана на рисунке 1.

Подача воды в барабан котла обеспечивается работой двух питательных насосных агрегатов с максимальной подачей 580 м³/час. Характеристики питательных насосов приведены в таблице 1. Рабочие колеса насосов приводятся в движение асинхронным электродвигателем номинальной мощностью 5 мВт. Характеристики электродвигателя приведены в таблице 2 .

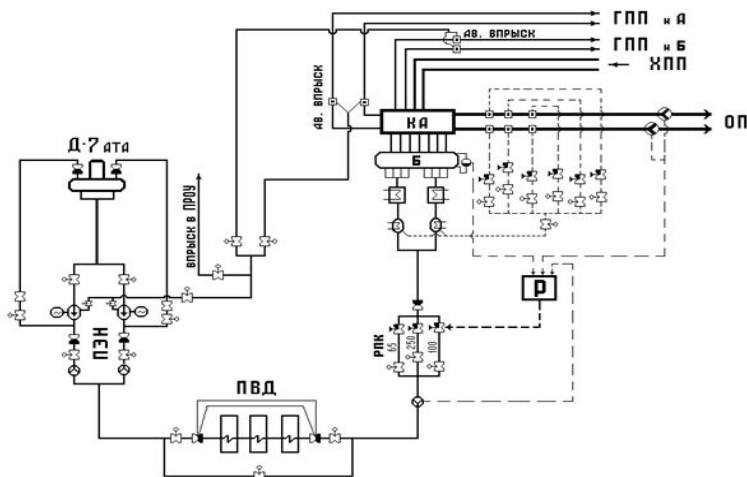


Рис. 1. Схема подачи питательной воды через РПК

Таблица 1. Паспортные данные насосного агрегата

Марка ЭН агрегата	ПЭ 580-185-3
Номинальная подача, м ³ /час	580
Давление, развиваемое ЭН, МПа	18,8
Номинальная мощность ЭН агрегата, кВт	3590
КПД ЭН агрегата, номинальный	0,785

Таблица 2. Паспортные данные электродвигателя

Марка электропривода	4АЗМ-5000/6000 УХЛ-4
Тип электропривода	АТД, с КЗ ротором
Номинальное частота вращения, об/мин	2985
Номинальное напряжение питающей сети, В	6000
Частота питающей сети, Гц	50
Мощность электропривода, кВт	5000
КПД электропривода	0,974

Регулирование уровня в барабане осуществляется регуляторами питания котла РПК- 65 (игольчатый), РПК-100 (шиберный) и РПК-250 (дисковый). Изменение расхода питательной воды на котёл производится дросселированием. Указанный способ имеет ряд недостатков:

- из-за отсутствия регулирования скорости вращения ЭД питательного насоса создается большой перепад давления на регуляторах узла питания котла, который может достигать величины 180 кгс/см², особенно в пусковых режимах энергоблоков, а нормальный перепад давления на регуляторах не должен превышать 20 кгс/см²;

- происходит интенсивный износ регулирующего клапана в результате повышенного перепада давления на участке перед и за РПК;

- происходит интенсивный износ участка трубопровода питательной воды за РПК, который приходится менять при капитальном или текущем ремонте энергоблоков;

- интенсивный износ электрического привода РПК из-за больших перестановочных усилий, обусловленных повышенным перепадом давления на регулирующей орган [4].

При дроссельном регулировании давления в сети с помощью регулирующих клапанов (иногда их роль выполняют напорные задвижки агрегатов) изменяется расход в сети, и его гидравлическая характеристика сети сдвигается влево. Как это видно из рисунка-2, с уменьшением расхода увеличивается давление в сети.

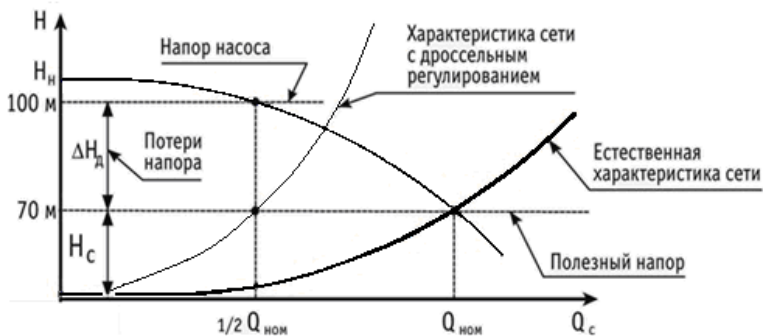


Рис. 2. Характеристики насосного агрегата и сети с дроссельным регулированием

Характеристика напора насоса соответствует напорной характеристике насосного агрегата, а естественная характеристика сети (характеристика сети с максимальным расходом) — гидравлической характеристике сети. Точка пересечения этих характеристик является идеальной расчетной точкой совместной работы насосного агрегата и сети.

Используемый метод дросселирование не экономичен, и требует излишних расхода электроэнергии на приводы насоса. Поэтому для решения задач, связанных с регулированием давления в сети, необходимо передать процесс регулирования давления насосному агрегату. Так как изменяя частоты вращения привода насоса, мы сможем изменять и напорные характеристики.

Изменение напорных характеристик насосного агрегата при изменении частоты вращения иллюстрирует рис. 3, на котором кривая 1 соответствует номинальной (при номинальной частоте вращения привода) напорной характеристике, а кривые 2-4 — напорным характеристикам при пониженной частоте вращения.

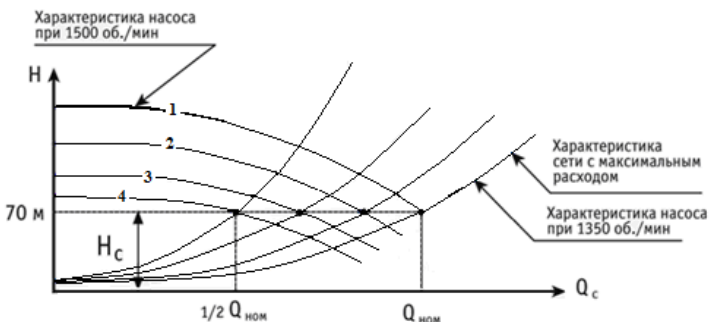


Рис. 3. Характеристики насосного агрегата и сети с частотным регулированием

При таком способе регулирования исключаются потери (нет дроссельных элементов), а значит, и потери гидравлической энергии [5].

ПЧ используется в теплоэнергетике как энергосберегающее оборудование для снижения затрат на собственные нужды на энергообеспечивающих предприятиях, главным образом на тепловых электростанциях. В системах водоснабжения, охлаждения, смазки, вентиляции тепловой станции насчитывается сегодня

несколько десятков нерегулируемых электроприводов. Суммарная мощность привода составляет порядка 1 – 2 мВт, единичные мощности отдельных приводов колеблются от 40 до 200 кВт и выше. Частотные преобразователи устанавливаются на тепловых электростанциях для управления приводом:

- питательных насосов,
- дымососов,
- дутьевых вентиляторов,
- компрессоров,
- сетевых и подпиточных насосов.

Применение частотного регулирования привода насосного агрегата позволяет повысить КПД самого насоса и таким образом получить экономический эффект.

Результаты проведенные зарубежными странами по внедрению ПЧ на насосные страны показали, что экономический эффект после внедрения не только повышение КПД, а еще увеличение срока службы насосного агрегата, а также минимизация затрат на насосные трубопроводы.

В настоящее время следующие зарубежные известные страны, занимающиеся изготовлением и выпуском высоковольтных электроприводов, отличающиеся по дизайну, по надежности и стоимости: Siemens (Германия), АВВ (Австрия), ShneiderElektrik (Франция), Mitsubishi электрик (Япония), Веспер (канада), Приводная техника (Россия), НПП Уралэлектра (Россия, Екатеринбург) и т.д.

Библиографический список

1. **ЗАО «Комбарко»**. Внедрение преобразователей частоты на насосных станциях, технико-экономическое обоснование. Москва, 2008.
2. **Закон РК «Об энергосбережении»**, № 210-І (с изменениями и дополнениями по состоянию на 10.01.2006 г.)
3. **Краснов И.Ю., Похилкин А.А.** Статья на тему «Автоматизация технологического процесса насосной». Томск: Томский политехнический университет. 2010.
4. **Тергемес К.Т.** Отчет НИР «Исследование расходных характеристик основных и подпорных насосных станций (НПС ГҮҮ, ГНПС Атырау)». Алматы, 2006.
5. **Лезнов Б.С.** Энергосбережение и регулируемый привод в насосных установках. М.: Энергоатом-издат. 2006.

*А.В. Дроганова, студ.; рук. Ю.В. Васильков, д.т.н., профессор
(ЯГТУ, г. Ярославль)*

СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГОЕМКОСТИ ПРОЦЕССА ПЛАВКИ ЧУГУНА В ВАГРАНКЕ ЗА СЧЕТ СОВЕРШЕНСТВА- НИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Металлургия и литейное производство являются одними из самых энерго- и материалоемких отраслей промышленности. Наиболее энергоемкий процесс в литейном производстве – плавка чугуна. Сокращение удельных энергозатрат на плавку металлов становится все более актуальной задачей в связи с постоянным ростом цен на энергоносители.

Известно высказывание, что «зарабатывать деньги можно только при высокой культуре производства». Действительно, в литейном деле рентабельность предприятия напрямую связана с эффективностью использования сырья и энергоресурсов. Экономия электроэнергии и воды, сокращение потребления металла с помощью отладки оборудования, снижения брака возможны благодаря внедрению современной системы автоматического управления технологического процесса.

В настоящее время более 90 % чугуна для литейного производства выплавляется в вагранках. Отсутствие в настоящее время на ОАО «Автодизель» (г. Ярославль) современной системы автоматизации технологического процесса плавки чугуна может свидетельствовать о том, что на данном участке присутствуют большие затраты энергетических ресурсов, завышенные затраты на обслуживание технологических установок в связи с необходимостью доведения состава и температуры чугуна в электродуговой печи.

Рассматриваемый нами процесс плавки должен иметь оптимальный режим, в том числе, оптимальный температурный режим, непосредственно влияющий на качество выплавляемого чугуна в вагранке. Автоматическое управление обеспечит оптимизацию и оперативность управления технологическим процессом. Таким образом, оперативное и оптимальное управление ваграночным процессом плавки чугуна обеспечит сокращение расхода кокса, необходимого для розжига и поддержания температурного режима плавки. Разработано первое приближение математической модели процесса плавки, которая позволит рассчитать оптимальный профиль температуры плавки по условно выделенным зонам (зона подогрева, плавления, перегрева, зона горна). Поэтому внедрение современной системы автоматиза-

ции позволит создать условия для оптимального использования энергетических ресурсов, контроль и минимизацию энергозатрат.

Выходящие из трубной части вагранки газы CO и CO₂ требуют дожигания их природным газом. Работа вагранки в оптимальном температурном режиме, обеспечивающем нормальный ход плавки чугуна, за счет автоматического регулирования позволит сократить расход природного газа, требующегося на дожигание.

Необходимо отметить, что выходящие из трубной части газы, являющиеся теплоносителями, в дальнейшем не используются. На сегодняшний день существуют проекты рекуперативных установок, позволяющих использовать тепловую энергию выходящих газов [1]. Данная энергия может использоваться для подогрева копильника с расплавом, что в свою очередь резко сократит расход энергоносителя, необходимого для подогрева. Также тепловая энергия выходящих газов может использоваться для подогрева дутьевого воздуха, подаваемого в вагранку через фурмы для поддержания горения кокса и регулирования объема выпуска выплавляемого чугуна, что в свою очередь позволит уменьшить расход подаваемого природного газа. Тепловая энергия выходящих газов может использоваться и для других промышленных целей. Внедрение данных рекуперативных установок может осуществиться гораздо быстрее с введением в эксплуатацию современной системы автоматизации технологического процесса плавки чугуна в вагранке. Также стоит отметить, что «теряемая» тепловая энергия в действительности не просто рассеивается в атмосфере, а служит источником загрязнений окружающей среды: образование пыли, вредных веществ, высокотемпературных газов и т.д. Для осуществления природоохранных мероприятий приходится затрачивать эквивалентное или большее количество энергии. Отсюда следует, что экономическая эффективность внедрения способов, сокращающих энергопотребление при плавке, с учетом экологических факторов еще более возрастает.

Использование системы автоматизации технологического процесса плавки чугуна, способствующее оптимальному ходу плавки, позволит экономно потреблять электроэнергию, используемую для работы вентилятора, предназначенного для подачи дутьевого воздуха в вагранку, осуществлять учет и контроль электроэнергии, требующуюся для работы конвейеров, виб-

росклизов, скиповых подъемников для транспортировки и подачи шихтовых материалов, кокса и известняка в загрузочное окно вагранки, в бункеры для хранения сырьевых материалов на шихтовом дворе позволит разработанная автоматическая система загрузки и транспортировки шихты. Мало того, что внедрение систем контроля упорядочивает потребление, приучая экономить электроэнергию, оно еще дает возможность выявить узкие места: утечки и нерациональное использование энергии. Существует множество направлений решения проблемы энергосбережения. Такими направлениями являются: установка частотных преобразователей в системе управления подачей дутьевого воздуха, устройств плавного пуска электродвигателей, регуляторов температуры, расхода газа, воды, кокса и других средств автоматизации. В разработанной системе автоматизации технологического процесса плавки чугуна в вагранке предусмотрено регулирование температуры расплава в вагранке и копильнике за счет контроля расхода подаваемого кокса, расхода подаваемого дутьевого воздуха, расхода потребляемого природного газа. Точное дозирование кокса осуществляется благодаря автоматической системе загрузки шихты и кокса.

Разработанные автоматические системы сигнализации и блокировок вовремя позволят прекратить подачу природного газа и электроэнергии, необходимые для работы вагранки и сопутствующих технологических процессов, описанных выше, что в свою очередь приведет к снижению расходов потребляемых энергоносителей. Данные меры, направленные на экономию энергии, способствуют также повышению надежности систем электро- и водоснабжения предприятия.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что в целом внедрение современной системы автоматизации технологического процесса плавки чугуна в вагранке направлено не только на повышение качества выпускаемой продукции, но и на снижение потребления, расхода энергоносителей, повышение эффективности их использования в технологических процессах производства, что в свою очередь влечет уменьшение себестоимости выпускаемой продукции на предприятии.

Библиографический список

1. Гиршович Н.Г. Справочник по чугунному литью. Л.: Машиностроение. 1978.

В.П. Скворцов, А.А. Кольцов, студ.; рук. И.В. Тетеревков, ст. преп.

(ИГЭУ, г. Иваново)

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НА БАЗЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ В ПТК КВИНТ

Повсеместное внедрение микропроцессорных средств дает отличные возможности для существенного расширения применяемых методов управления теплоэнергетическими объектами. Если для аналоговой техники в подавляющем случае для регулирования применялись жесткие законы, то на современном этапе все большее внимание уделяется адаптивным, оптимальным системам и системам на базе нечеткой логики.

Нечеткое управление оказывается особенно полезным, когда технологические процессы являются слишком сложными для анализа с помощью общепринятых количественных методов или когда доступные источники информации интерпретируются некачественно, неточно или неопределенно. Системы с нечеткой логикой целесообразно применять [1] для сложных процессов, когда нет четкой математической модели; если экспертные знания об объекте или о процессе можно сформулировать только в лингвистической форме. Нечеткая логика (fuzzy-logic), на которой основано нечеткое управление, ближе по духу к человеческому мышлению и естественным языкам, чем традиционные логические системы. Нечеткая логика обеспечивает эффективные средства отображения неопределенностей и неточностей реального мира. Наличие математических средств отражения нечеткости исходной информации позволяет построить модель, адекватную реальности.

Основные особенности нечеткой логики:

- в нечеткой логике точные рассуждения рассматриваются как частный случай нечетких рассуждений;
- в нечеткой логике нечто является чем-то определенным только в какой-то степени;
- в нечеткой логике значения интерпретируются как набор гибких или нечетких ограничений на наборе нечетких переменных;
- вывод рассматривается как процесс распространения нечетких ограничений;
- любая логика может быть фаззифицирована.

Нечеткий регулятор является нелинейным, его особенностью является отсутствие динамики в самом регуляторе. Функциональная схема системы управления на базе нечеткой логики показана на рис. 1. Система состоит из устройства сравнения, нечеткого регулятора, объекта управления и цепи обратной связи. Предварительно необходимо сформировать набор лингвистических переменных (например, {ошибка управления, производная ошибки}) и задаться множеством термов, т.е. возможных значений лингвистических переменных (например, {малая, средняя, большая}).

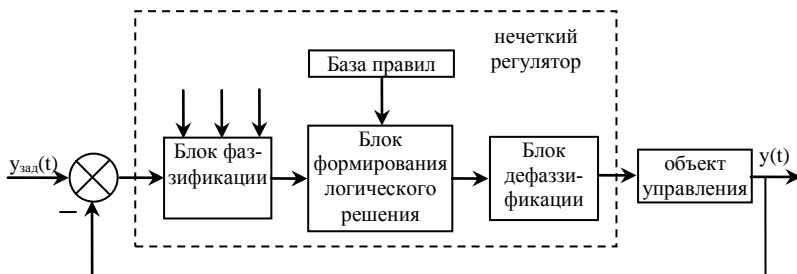


Рис.1. Структура системы управления на базе нечеткого регулятора.

Нечеткий регулятор осуществляет логический вывод за четыре этапа:

1. Определение нечеткости (фаззификация). Четкие значения (измеренные или вычисленные) для каждой лингвистической переменной $x_i^* \in [x_{ни}, x_{ви}]$ пересчитываются в элементы $u^* \in [0,1]$ как $u_i^* = x_i^* - x_{ни} / x_{ви} - x_{ни}$. На едином универсальном пространстве для термов входных лингвистических переменных задаются функции принадлежности (ФП) и для конкретных значений переменных по этим функциям определяются степени истинности каждой предпосылки каждого правила. Функция принадлежности $\mu^i(u_i)$ характеризует субъективную меру уверенности эксперта в том, что четкое значение переменной u^* соответствует i -му нечеткому терму. На рис. 2 показан пример работы нечеткого регулятора для трех лингвистических переменных, двух термов и использовании треугольных ФП.

2. Логический вывод. Вычисленные значения истинности применяются к выводам каждого правила. В качестве правил логического вывода обычно используются только операции \min (минимум) или prod (умножение). В логическом выводе "min" функция принадлежности вывода "отсекается" по высоте, соответствующей вычисленной степени истинности предпосылки правила (нечеткая логика "И"). В логическом выводе "prod" ФП вывода масшта-

бируются вычисленными величинами произведений степеней истинности предпосылок каждого правила. В наиболее распространенном методе Мамдани [1] используется операция \min . Для трех переменных и двух термов ФП управляющего воздействия $\mu_{1c}(u)$ к первому нечеткому множеству ограничена сверху значением $A = \min[\mu_1(u^*_1), \mu_1(u^*_2), \mu_1(u^*_3)]$, а ФП управляющего воздействия $\mu_{2c}(u)$ ко второму нечеткому множеству ограничена сверху значением $B = \min[\mu_2(u^*_1), \mu_2(u^*_2), \mu_2(u^*_3)]$.

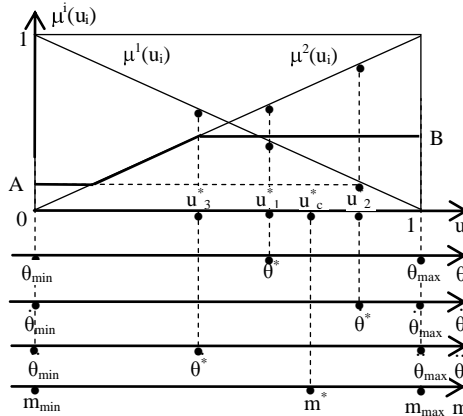


Рис.2. Пример нечеткого вывода при использовании ФП треугольной формы

3. Композиция. Полученные нечеткие подмножества объединяются вместе для формирования одного нечеткого подмножества (результатирующей функции принадлежности) для переменной вывода. Для объединения обычно используются операции \max или sum . При композиции “ \max ” результирующее нечеткое подмножество конструируется как поточечный максимум по всем полученным нечетким подмножествам. При композиции “ sum ” результирующее нечеткое подмножество конструируется как поточечная сумма по всем полученным нечетким подмножествам. В методе Мамдани

$$\mu_c(u) = \max[\mu_{1c}(u), \mu_{2c}(u)],$$

т. е. результирующая ФП для управляющего воздействия получается формированием максимума (жирная линия на рис. 2)

4. Приведение к четкости (дефаззификация). Нечеткий вывод преобразуется в четкое число. Производится поиск абсциссы “центра тяжести” результирующей фигуры

$$u_c^* = \frac{\int_{U_1}^{U_2} u \mu_c(u) du}{\int_{U_1}^{U_2} \mu_c(u) du}$$

и полученное значение u_c^* преобразуется в значение управляющего воздействия на объект управления

$$m^* = m_{\min} + (m_{\min} - m_{\max}) u_c^*$$

Параметры x_{ni}, x_{vi} и m_{ni}, m_{vi} являются настроечными параметрами нечеткого регулятора и должны, так же как и ФП, задаваться экспертом.

Системы управления на базе нечеткой логики были реализованы авторами в ПТК КВИНТ. При этом рассматривались различные виды лингвистических переменных, разное количество и возможные множества значений термов и стандартные виды функций принадлежности (треугольные, экспоненциальные, колоколообразные и гауссовские).

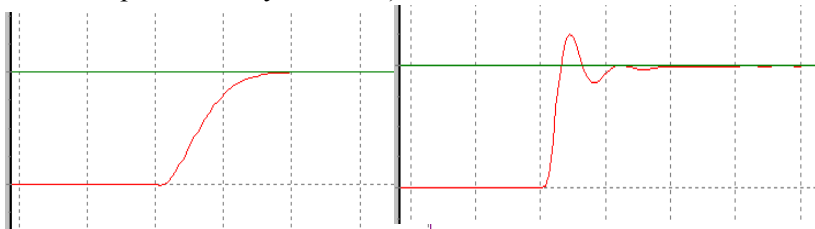


Рис.3. Переходные процессы в системе с нечетким (слева) и обычным ПИ-регулятором при ступенчатом возмущении сигналом задания



Рис.4. Переходные процессы в системе с нечетким (слева) и обычным ПИ-регулятором при параметрическом возмущении (резкое изменение коэффициента усиления объекта)

Анализ созданных схем показал, что системы с нечетким регулятором дают лучшие показатели качества, чем схемы с жестким ПИ-законом (рис. 3). Кроме того, главным достоинством систем нечеткой логики является большая робастность. При параметрических изменениях свойств объекта управления в нечеткой системе устойчивость сохраняется, а в системе с ПИ-регулятором – нет (рис. 4).

Библиографический список

1. Гостев В.И. Нечеткие регуляторы в системах автоматического управления. - К.: "Техника", 1990.-280 с.

В.П. Скворцов, А.А. Кольцов, студ.;
рук. И.В. Тетеревков, ст. препод.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ

Изучение теоретических положений современной теории управления должно сопровождаться подтверждением возможности их практической применимости не только при использовании элементарных моделей, но и для реальных объектов теплоэнергетики. На практике технологические объекты часто имеют нестационарные свойства, а также имеют многомерную структуру. Целью работы является подтверждение возможности применения систем нечеткой логики для управления котельным агрегатом.

В [1] приведена передаточная функция котла ТГМП-204 по каналу “возмущение впрыском – температура перегретого пара”, построенная в виде нестационарного колебательного звена с запаздыванием:

$$G(s) = \frac{\alpha_0}{s^2 + bs + a} e^{-\tau s},$$

параметры которой зависят от мощности энергоблока (см. табл. 1).

Таблица 1. Параметры передаточной функции

Режим	Мощность, МВт	τ , с	α_0	b	a
1	400	36	$5,66 \cdot 10^{-4}$	$2,95 \cdot 10^{-2}$	$2,71 \cdot 10^{-4}$
2	600	16	$3,53 \cdot 10^{-4}$	$3,28 \cdot 10^{-2}$	$3,54 \cdot 10^{-4}$
3	800	0	$4,06 \cdot 10^{-4}$	$3,85 \cdot 10^{-2}$	$4,53 \cdot 10^{-4}$

При изменении нагрузки энергоблока в пределах от 400 до 800 МВт зависимость параметров передаточной функции от мощности энергоблока можно представить следующими полиномами:

$$\tau(P) = 88 - 0.15P + 5 \cdot 10^{-5} P^2;$$

$$b(P) = 2.971 - 1.225 \cdot 10^{-3} P + 2.9 \cdot 10^{-6} P^2 \cdot 10^{-2};$$

$$a(P) = 1.479 + 2.315 \cdot 10^{-3} P + 1.9 \cdot 10^{-6} P^2 \cdot 10^{-4};$$

$$a_0(P) = 17.884 - 4.386 \cdot 10^{-2} P + 3.32 \cdot 10^{-5} P^2 \cdot 10^{-4}.$$

Для управления рассмотренным объектом была применена система нечеткой логики с использованием лингвистических переменных “ошибка управления”, “скорость изменения ошибки”, и “ускорение ошибки”. В качестве термов использовались значения “положительная” и “отрицательная”, функции принадлежности соответствовали экспоненциальному типу. На-

строенная система показала хорошее качество работы при любой нагрузке энергоблока (рис. 1).

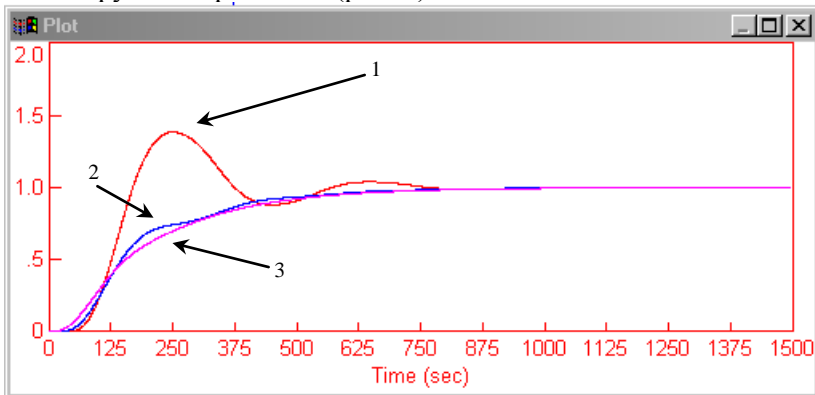


Рис. 1. Переходные процессы при возмущении заданием в системе нечеткого управления пароперегревателем при различной нагрузке энергоблока
1 – нагрузка 400 МВт, 2 – нагрузка 600 МВт, 3 – нагрузка 800 МВт.

Серьезным недостатком одномерных систем автоматического управления параметрами многомерного объекта является влияние управления одним параметром на другие параметры объекта управления. Например, управление давлением пара в испарителе котла влияет на температуру пара на выходе нагревателя, и наоборот.

Для анализа работы систем нечеткого управления с многомерными объектами в работе использована модель прямоточного котла [2], описывающая двухмерный объект (см. рис. 2) с выходными переменными $\Delta P_{\text{пар}}$ (давление пара в испарителе, бар) и $\Delta T_{\text{пар}}$ (температура пара на выходе нагревателя, °C). Управляющими переменными являются расход топлива $\Delta G_{\text{т}}$ и расход воды $\Delta m_{\text{в}}$, приведенные к относительным значениям и выраженные в процентах. Передаточные функции:

$$\text{нагреватель } G_{11}(s) = \frac{\Delta T_{\text{пар}}(s)}{\Delta m_{\text{в}}(s)} = -\frac{(1 + 13.81s)^2(1 + 18.4s)}{(1 + 59s)^5};$$

$$\text{испаритель } G_{22}(s) = \frac{\Delta P_{\text{пар}}(s)}{\Delta G_{\text{т}}(s)} = \frac{0.96}{695s(1 + 15s)};$$

$$\text{связи нагреватель-испаритель } G_{12}(s) = \frac{\Delta P_{\text{пар}}(s)}{\Delta m_{\text{в}}(s)} = \frac{0.0605}{695s}$$

и испаритель-нагреватель

$$G_{21}(s) = \frac{\Delta T_{\text{пар}}(s)}{\Delta G_{\text{т}}(s)} = \frac{1,771}{(1 + 153.5s)(1 + 24s)(1 + 15s)}.$$

Под $G_1(s)$ и $G_2(s)$ понимаются передаточные функции исполнительных механизмов.

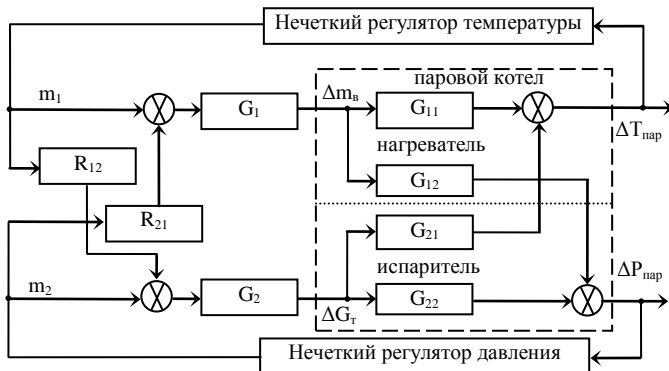


Рис. 2. Структура системы нечеткого управления с двухмерным объектом

В работе выполнен синтез нечетких регуляторов с экспоненциальными функциями принадлежности, настройка которых проводилась автономно (т. е. при отключенном втором регуляторе), а затем исследовалась совместная работа нечетких регуляторов при отработке возмущений заданиями. Процессы по отклонению давления в испарителе и отклонению температуры за нагревателем при возмущении сигналом задания для регулятора давления (в момент $t = 0$ с) и сигналом задания для регулятора температуры (в момент $t = 2500$ с) показаны на рис. 3.

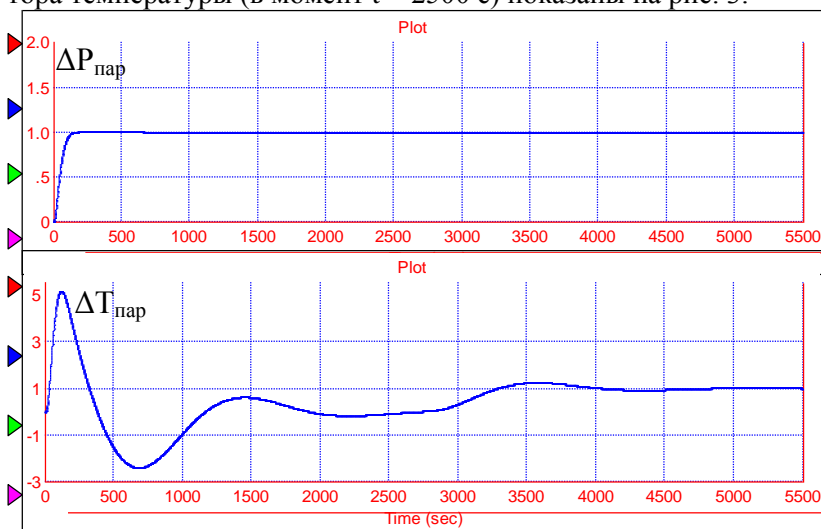


Рис. 3. Процессы в двухмерной системе нечеткого управления

В целом система хорошо справляется с отработкой возмущений. Максимальное отклонение положения регулирующего ор-

гана топлива составляет 15%, поэтому динамическую ошибку по температуре в 5,2 °С считаем приемлемой. Тем не менее, возникает желание снизить это отклонение. Для этого применяем идеи принципа автономности, позволяющие “развязать” контура управления с помощью перекрестных связей

$$R_{12}(s) = \frac{-G_{12}(s)}{G_{22}(s)}; R_{21}(s) = \frac{-G_{21}(s)}{G_{11}(s)}.$$

Попытка “развязать” контура в оба направления привела к существенному увеличению колебательности, поэтому принято решение применить только корректирующее устройство R_{21} . В результате качество работы существенно повысилось. На рис. 4 показаны процессы по отклонению давления в испарителе и отклонению температуры за нагревателем при возмущении сигналом задания для регулятора давления (в момент $t = 0$ с) и сигналом задания для регулятора температуры (в момент $t = 1500$ с) при использовании R_{21} . Динамическая ошибка в процессе изменения температуры составила всего 0,5 °С.

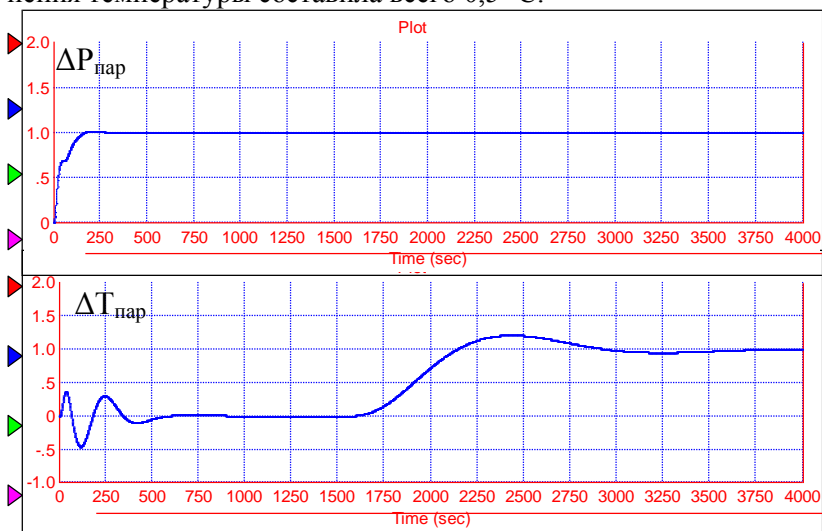


Рис. 4. Процессы в системе с учетом работы устройства коррекции

Библиографический список

1. Мань Н.В. Оптимизация настройки робастных регуляторов с помощью "оврагоперешагового" алгоритма нелинейной минимизации // Теплоэнергетика, - 1995.- №10.- С58-65
2. Гостев В.И., Крайнев В.В. Фаззи-система управления параметрами прямоточного котла дубли-блока 300 МВт // Вестник Хмельницкого ТУ -2004, №2, Ч.1,Т.1(60).-С.50-52.

Г.Г.Савелов, Д.В.Смирнов, студ.;
рук. И.В. Тетеревков, ст. преподаватель

(ИГЭУ, г.Иваново)

РАЗРАБОТКА СИСТЕМ, ОПТИМАЛЬНЫХ ПО БЫСТРОДЕЙСТВИЮ, В ПТК КВИНТ

Необходимость в росте эффективности производства тепловой и электрической энергии приводит к изменению подходов к проектированию систем автоматического управления: наряду с использованием стандартных регуляторов, реализующих жесткие законы, все большее внимание уделяется проектированию и эксплуатации так называемых оптимальных систем управления.

Оптимальное управление может быть получено в двух видах: в виде оптимальной программы и оптимальной стратегии. В первом случае управление является функцией времени, система является разомкнутой и неточности в модели объекта управления и неконтролируемые возмущения приводят к тому, что реальная траектория движения может отличаться от оптимальной. Во втором варианте оптимальное управление задается как функция фазовых координат и входного сигнала и система управления является замкнутой, что сохраняет все достоинства систем, построенных по принципу обратной связи.

Критерии оптимальности в различных системах отличаются в зависимости от особенностей конкретной системы и требований к качеству управления. В качестве самостоятельного подкласса оптимальных систем выделяются системы, оптимальные по быстродействию. Необходимость в применении подобных систем возникает в том случае, если главным показателем качества становится время регулирования и крайне важно добиться повышения быстродействия системы.

Среди методов построения оптимальных систем можно выделить следующие: метод фазового пространства, динамическое программирование и вариационное исчисление. Другим перспективным методом, позволяющим получить z -передаточную функцию оптимального регулятора, является метод переменного коэффициента усиления [1]

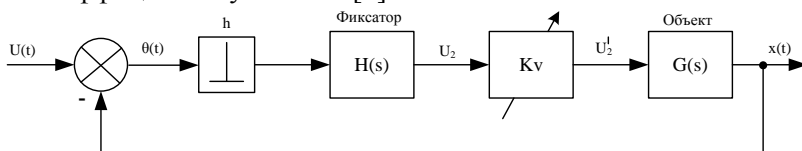


Рис. 1. Структурная схема оптимальной системы

Структура системы, оптимальной по быстродействию, показана на рис. 1. Система содержит мгновенный ключ с шагом

квантования h , фиксатор нулевого порядка с передаточной функцией $H(S)$, объект регулирования (непрерывную часть) с передаточной функцией $G(S)$ и цифровой регулятор, формирующий последовательность импульсов, позволяющих за количество тактов, не превышающее порядок передаточной функции объекта, перевести объект из начального состояния в заданное.

Реализованный метод основывается на том, что цифровой регулятор рассматривается как усилитель с переменным коэффициентом усиления K_v , принимающем различные значения на разных интервалах прерывания мгновенного ключа. Для получения максимального быстродействия при входном воздействии типа ступенчатой функции и нулевых начальных условиях необходимо, чтобы при $t > N \cdot h$ (N – порядок дифференциального уравнения объекта регулирования;

h – шаг квантования мгновенного ключа) ошибка системы равнялась нулю, и движение в системе завершилось. Используя метод переменного коэффициента усиления, можно для различных передаточных функций линейных объектов регулирования получить аналитические выражения для коэффициентов передаточной функции цифрового регулятора.

Определим передаточную функцию $W(z)$ оптимального цифрового регулятора для системы, имеющей объект регулирования с передаточной функцией $G(s) = \alpha[s(s+b)]^{-1}$. Рассматривая внутренние координаты $\dot{x}_1 = x_2$, $\dot{x}_2 = -bx_2 - \alpha U_2'$ и вектор $v^T = U_1, x_1, x_2, U_2$, имеем

$$\dot{v} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -b & \alpha \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} v; \quad v(vh^+) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 \end{bmatrix} v(vh),$$

что, с учетом усилителя с переменным коэффициентом усиления, позволяет найти дискретную матрицу перехода (так как выход нашего регулятора изменяется ступенчато):

$$\Phi(h, K_v) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & Q & \alpha P K_v \\ 0 & 0 & B & \alpha Q K_v \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad \text{где } B = e^{-bh}; Q = \frac{1}{b}(1 - B);$$

$$P = \frac{1}{b^2}(bh - 1 + B).$$

Теперь последовательно вычисляем

$$v^T(h^+) = [1; \alpha PK_0; \alpha QK_0; 1 - \alpha PK_0];$$

$$v(2h) = \Phi(h, K_1)v(h^+) = \begin{bmatrix} 1 \\ \alpha PK_0 + \alpha Q^2 K_0 + (1 - \alpha PK_0)\alpha PK_1 \\ \alpha QBK_0 + \alpha Q(1 - \alpha PK_0)K_1 \\ 1 - \alpha PK_0 \end{bmatrix}$$

Последнее выражение показывает, что в конечное состояние равновесия систему можно перевести за два периода прерывания мгновенного ключа. Для этого необходимо совместное выполнение двух условий:

$$\begin{cases} x_1(2h) = \alpha(P + Q^2)K_0 + \alpha P(1 - \alpha PK_0)K_1 = 1; \\ x_2(2h) = \alpha QBK_0 + \alpha Q(1 - \alpha PK_0)K_1 = 0, \end{cases}$$

откуда

$$\begin{cases} K_0 = \frac{1}{\alpha[P + Q^2 - BP]} = \frac{b}{ah(1-b)}; \\ K_1 = -1 - \frac{BK_0}{1 - \alpha PK_0} = -\frac{b^2 B}{a(1 - B(1 + bh))}. \end{cases}$$

Тогда передаточная функция цифрового регулятора

$$W(z) = \frac{\sum_{v=0}^{\infty} K_v U_2(vh^+) z^{-v}}{\sum_{v=0}^{\infty} U_2(vh^+) z^{-v}} = \frac{K_0 U_2(0^+) + K_1 U_2(h^+) z^{-1}}{U_2(0^+) + U_2(h^+) z^{-1}} = K_0 \frac{1 + b_1 z^{-1}}{1 + a_1 z^{-1}},$$

где $a_1 = 1 - \alpha PK_0 = \frac{1 - B(1 + bh)}{bh(1 - B)}$; $b_1 = -B$; $B = e^{-bh}$.

Оптимальный цифровой регулятор (при единичном ступенчатом воздействии на входе системы) формирует следующие управляющие воздействия на входе объекта регулирования:

$$m_0 = U_2'(0^+) = K_0; m_1 = U_2'(h^+) = K_1 U_2(h^+) = -BK_0$$

Из полученных выражений видно, что коэффициенты передаточной функции цифрового регулятора можно определить непосредственно через параметры передаточной функции объекта регулирования и величину шага квантования [2].

Рассмотренный метод применим для получения передаточных функций оптимальных регуляторов практически для любых видов линейных объектов. В работе реализованы схемы регули-

рования как для объектов, имеющих в своем составе интегрирующие звенья, так и для объектов аperiodического типа высоких порядков. Потребность учета реальных ограничений по величине управляющих импульсов привела к необходимости создания собственного мгновенного ключа и фиксатора, что позволило осуществлять квантование процессов в системе с шагом, отличным от шага квантования контроллера. В практической реализации ограничения на диапазоны и шаг изменения внутренних сигналов контроллера потребовали для избежания появления дополнительных малых импульсов ввести в структуру регулятора нелинейность в виде зоны нечувствительности. Пример работы созданной системы показан на рис. 2. Для наглядности совмещены процессы в системе, оптимальной по быстродействию, и системе с обычным ПИ-регулятором. Время регулирования в системах отличается в 14 раз.

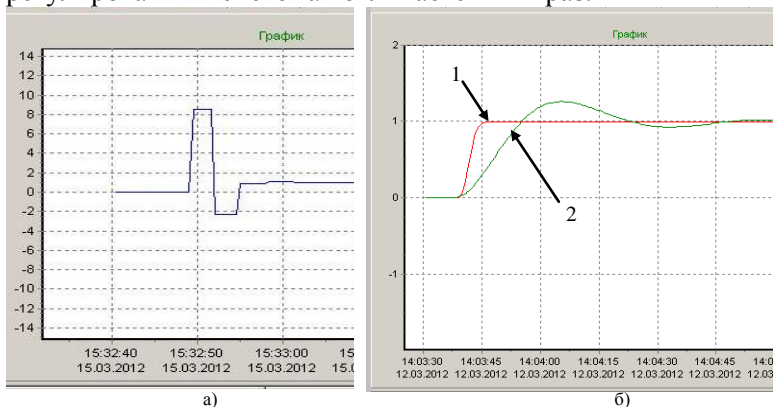


Рис.2. Управляющее воздействие оптимального регулятора (а) и выход объекта регулирования (б) в системе, оптимальной по быстродействию (1), и с обычным ПИ-регулятором (2)

Анализируя работу созданной системы, отметим, что поставленная задача решена: практическая реализация подтверждает справедливость приведенных теоретических выкладок. Но в процессе работы была отмечена чувствительность системы к точкам приложения и свойствам возмущений. Более общая постановка задачи при применении рассмотренного метода позволит справиться и с этой проблемой.

Библиографический список

1. Ту Ю. Современная теория управления. - М.: Машиностроение, 1971.- 472с.
2. Гостев В.И. Системы управления с цифровыми регуляторами. Справочник. - К.: Техника, 1990.-280 с.

В.О. Веремьев, И.А. Зименков студ.; рук. В.М. Пушков ст.пр.
(ИГЭУ, г. Иваново)

КОНТРОЛЛЕР ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ СМЕШЕНИЯ В ТЕПЛОВОЙ СЕТИ

В двухтрубных тепловых сетях с нагрузками отопления и горячего водоснабжения в весенне-осенние периоды происходит «перетоп», то есть подача на отопление количества тепла значительно большего, чем необходимо при данной температуре наружного воздуха, так как требуется обеспечить подачу горячей воды с температурой 60-70 °С, что приводит к существенному перерасходу топлива и ухудшению гигиенических условий в отапливаемых зданиях.

Для устранения «перетопа» возможно применение на абонентских вводах схем с перемычкой и рециркуляционным насосом с применением частотного регулирования насоса и регулируемого клапана на перемычке. При этом образуются два узла смешения и соответственно два контура регулирования. Регулируемым параметрам для каждого контура является коэффициент смешения, который вычисляется по трем температурам.



Рис. 1. Внешний вид контроллера

В первом контуре аналоговый ПИД регулятор управляет частотным приводом рециркуляционного насоса. Во втором контуре аналоговый ПИД регулятор управляет электромагнитным клапаном на перемычке. Задача решается с помощью микропроцессорного контроллера, к которому предъявляются следующие требования: не менее шести входов для подключения термометров сопротивления, не менее двух аналоговых входов для подключения преобразователей давления, не менее двух аналоговых выходов, наличие небольшого дисплея для отображения информации, программирование с помощью ФБД, небольшая стоимость. Этим требованиям соответствует контроллер Segnetics SMH2Gi, внешний вид которого показан на рис. 1.

*М.С. Данилова, студ.; рук. А.В. Кондрашин, к.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СОВРЕМЕННЫХ ПТК

Рост числа внедрений АСУ ТП на базе современных программно-технических комплексов (ПТК) связан с возможностью повышения качества управления, что в свою очередь ведет к повышению экономичности, надежности и долговечности работы оборудования.

Рынок предложений современных ПТК формируется как отечественными, так и иностранными производителями, но, несмотря на тот факт, что отечественные ПТК позволяют реализовать все функции управления оборудованием с сохранением достаточного уровня надежности, иностранные компании в настоящее время имеют наибольшее влияние на рынке.

В последнее время наметился рост спроса на отечественные ПТК. Основными причинами этого является конкурентоспособная стоимость, доступность технической документации и дружелюбный интерфейс пользователя.

В данной работе будут рассмотрены основные возможности и характеристики ПТК ведущих отечественных и иностранных производителей, являющимися лидерами среди компаний, внедряющих АСУ ТП, таких как: ТЕКОН, КВИНТ, Tornado, Siemens и Emerson.

ПТК ТЕКОН отличается беспрецедентной компактностью и высоким уровнем надежности, который реализуется за счет применения следующих принципов и технологий:

- дублирование наиболее ответственных входных и выходных сигналов;
- применение резервированных контроллеров;
- использование в качестве резервного питания контроллеров напряжения 220 VDC от аккумуляторной батареи;
- использование резервированных серверов оперативной базы данных;
- применение дублированных сетей и сетевого оборудования;
- применение встроенной диагностики во всех модулях контроллера с отображением подробной диагностической информации на верхнем уровне.

Базовое программное обеспечение ПТК ТЕКОН собственной разработки представляет собой SCADA систему с единой базой данных, с развитой библиотекой алгоблоков, ориентированных на задачи АСУ

ТП энергетических объектов и широко использующую объектный подход, что обеспечивает высокую производительность при разработке, необходимую при создании крупных систем.

ПТК КВИНТ – это универсальный полнофункциональный программно-технический комплекс. Квинт СИ – открытая система, использующая метод интеграции с другими техническими средствами – ОРС технологию. Этот метод получил международное признание и поддерживается многими производителями. Модульное построение аппаратных средств и объектно-ориентированное программное обеспечение позволяют поэтапно наращивать и модернизировать системы на базе Квинта СИ с сохранением общей концепции и всей методологии использования. Важнейшим свойством Квинта СИ является сочетание алгоритмической мощности и высокой надежности со сравнительно низкой стоимостью и простотой обслуживания.

ПТК Emerson представляет собой распределенную систему управления технологическими процессами. Овация (Ovation) - это продукт, который интегрировал архитектуру открытых систем в управление технологическими процессами, одновременно с этим обеспечивая абсолютную безопасность производства. Будучи единственной промышленной системой, разработанной в полном соответствии со стандартами открытых систем ANSI, Овация использует коммерчески доступные аппаратные средства, операционные системы и сетевые технологии.

ПТК Tornado-M представляет собой ПТК с одноуровневой архитектурой на базе сети Ethernet. Идея использования коммутируемой сети Ethernet для подключения к системе модулей ввода-вывода является инновационной – объединение единой цифровой сетью всех элементов системы изменяет само понятие «контроллер». В связи с этим:

- возникает возможность реализации устройства обработки данных, обрабатывающего алгоритмы управления объектом автоматизации различными способами (вплоть до виртуального) в виде программы, работающей на любом из компьютеров системы;
- каждое устройство обработки получает прямой доступ к данным любого модуля ввода-вывода, при этом взаимодействие осуществляется только в соответствии с запросом программы управления;
- структура и состав контроллеров становятся программно конфигурируемыми, в результате чего отпадает одна из задач традиционного процесса проектирования ПТК – компоновка контроллеров;
- отменяются ограничения на создание устойчивых структур с необходимой «глубиной резервирования».

ПТК Siemens характеризуется удобством и надежностью конструкции, простотой монтажа и эксплуатации, высокой производительностью

стью, мощными коммуникационными возможностями, способностью поддерживать обмен данными через Интернет, PROFIBUS, Industrial Ethernet и MPI, что делает технические устройства незаменимыми при решении задач автоматизации разных уровней сложности. А большой выбор модулей контроллеров позволяет максимально адаптировать любую аппаратуру для решения любой производственной задачи.

*Н.С. Карасев, студ.; рук. А.В. Кондрашин, к.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА ВИРТУАЛЬНОГО КОНТРОЛЛЕРА НА БАЗЕ ПТК ТЕКОН

В связи с ростом масштабов внедрения АСУ ТП на базе программно-технического комплекса (ПТК) ТЕКОН возникает потребность обучения оперативного персонала на эмуляторах позволяющих максимально подробно воспроизвести технологический процесс в отсутствии реального оборудования.

Использование виртуальных технологий позволяет подготовить обслуживающий персонал станции к работе с реальным оборудованием, что ведет к сокращению количества ошибочных действий со стороны оператора в процессе эксплуатации ПТК, что в свою очередь приводит к снижению экономических потерь со стороны предприятия-заказчика. Кроме того виртуальные технологии позволяют существенно упростить процедуру проверки алгоритмов ПТК в процессе проектирования и наладки.

Выше перечисленные обстоятельства привели к созданию виртуального контроллера на базе ПТК ТЕКОН в составе СКАДА-системы ТЕКОН.

Виртуальный контроллер является средой исполнения технологических программ, обладающей всеми возможностями присущими реальному оборудованию, такими как:

- передача инициативных сообщений;
- сохранение переменных;
- зеркализация контроллеров (работа в кластере);
- сетевое резервирование;
- межконтроллерный обмен (МКО);
- срезы (сохранение состояния контроллера в определенный момент времени).

Виртуальный контроллер и компилятор разработаны на базе платформы Microsoft.NET Framework, поддерживающей создание программ, написанных на разных языках программирования. Основой платформы является исполняющая среда Common Language Runtime (CLR), способная выполнять как обычные программы, так и серверные веб-приложения.

Принцип взаимодействия виртуального контроллера со средой моделирования и СКАДА-системы ТЕКОН представлен на рисунке 1.

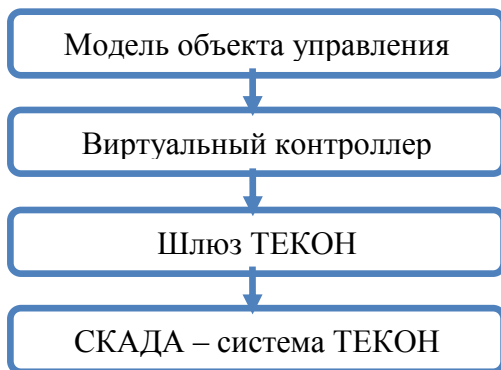


Рис. 1. Принцип взаимодействия виртуального контроллера со средой моделирования и СКАДА-системы ТЕКОН.

Простота создания проектов с использованием виртуального контроллера и дружелюбный интерфейс пользователя позволяют максимально минимизировать время, затрачиваемое при создании виртуальных систем управления технологическим процессом, а так же трудовые и финансовые издержки.

Использование виртуального контроллера на базе ПТК ТЕКОН возможно и в учебном процессе, что открывает перспективу создания современных обучающих систем и тренажеров, обеспечивающих возможность ознакомления студентов с методами проектирования и наладки современных АСУ ТП.

*Д.И. Новиков, студ.; рук. А.М. Демин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПРИМЕНЕНИЕ ПЕРЕМЕННОЙ ЗОНЫ НЕЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ РЕГУЛЯТОРОВ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЕРЕГРЕТОГО ПАРА

При определении параметров настройки регуляторов определяют значения величин, формирующих закон регулирования. Однако следует отметить, что на качество работы систем влияют также дополнительные параметры настройки, в т.ч. зона нечувствительности.

Целью работы является обоснование целесообразности при изменении свойств объекта совместного изменения основных параметров настройки регулятора и связанной с ними величины зоны нечувствительности. Актуальность рассматриваемой проблемы определяется разработкой и внедрением на электростанциях адаптивных систем.

В соответствии с [1] адаптивной считается система, способная изменяться для сохранения своих эксплуатационных показателей в заданных пределах при изменениях внешней среды.

Задачей данной работы является анализ изменения свойств нелинейного объекта и оценка соответствующего изменения параметров АСР для обеспечения требуемого качества регулирования.

Новизна проведенных исследований заключается в развитии ранее полученного результата: на примере анализа изменения свойств объекта в зависимости от нагрузки для регуляторов температуры (РТ) перегретого пара выбран способ изменения параметров настройки регуляторов и дифференциаторов [2]. При этом лично автором выполнен анализ свойств объекта и параметров АСР.

В соответствии с классификацией можно выделить системы прямого и непрямого адаптивного управления. Данная АСР реализует способ непрямого адаптивного управления. Он характерен для изменения параметров настройки самонастраивающихся систем с разомкнутыми параметрическими контурами. Такие системы характеризуют следующие достоинства:

- простота (формируются требуемые постоянные зависимости);
- некритичность к вычислительным ресурсам технического средства, реализующего алгоритм управления и меньшая критичность к сетевым ресурсам системы;

- отсутствие необходимости использования в алгоритме адаптации дискретных сигналов (например, от путевых выключателей по исчерпанию диапазонов перемещения регулирующих клапанов);
- экономичность разработки.

АСР температуры перегретого пара должна гарантировать в регулируемом диапазоне работы котла протекание переходных процессов, вызываемых скачкообразным изменением заданного значения нагрузки на 10% (при исходной номинальной нагрузке), с максимальным отклонением температуры острого пара на выходе из котла $8\text{ }^{\circ}\text{C}$, для пара промежуточного перегрева на выходе из котла $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ и значениями интегрального квадратичного критерия соответственно 5000 и $10000\text{ }(^{\circ}\text{C})^2\cdot\text{с}$. Таким образом, требования к динамической точности работы регуляторов температуры пара в выходных ступенях пароперегрева котла разная, соответственно и статическая точность не только выходных, но и предвключенных ступеней тоже разная. При этом величина зоны нечувствительности должна быть не хуже требуемой.

На рис. 1 представлена структурная схема АСР с переменной зоной нечувствительности РТ1 для предвключенной ступени. Возможно аналогичное решение для РТ2 выходной ступени пароперегревателя при условии непротиворечивости показателей качества ее работы предъявляемым требованиям. Перспективами использования полученных результатов является промышленное внедрение предложенных решений и возможность дальнейшего их совершенствования.

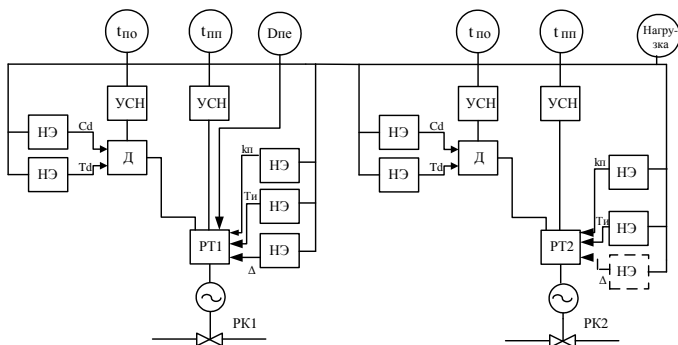


Рис. 1. АСР температуры перегретого пара с переменными зонами нечувствительности регуляторов

Библиографический список

1. ГОСТ 34.003-90. Информационная технология. Автоматизированные системы. Термины и определения. – Введ. 1992-01-01. – М.: Стандартинформ, 2009 (с Поправкой ИУС № 1, 2003).
2. Анкина И.А. Самонастраивающаяся система регулирования температуры пара в выходной ступени пароперегревателя / 5 регион. науч.-техн. конф. «Энергия – 2010». – Иваново: ИГЭУ, 2010. – С. 59–60.

*Н.В. Рябова, студ.; рук. Е.К. Торопова, ст. преп.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СКУ БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ АЭС НА ПТК TELEPERM XS

Современное проектирование СКУ безопасности для АЭС подразумевает последовательную разработку заданий на автоматизацию функций безопасности, принятое российскими проектировщиками у немецких коллег фирмы «Siemens».

Технология разработки спецификации задач для цифровых СКУ делится на 4 уровня (LEFU) с постепенным нарастанием степени детализации в документации.

LEFU-1: Иерархия целей безопасности.

Состав первого уровня определяется концепцией глубоко эшелонированной защиты атомной станции, которая предполагает реализацию в проекте АЭС соответствующих инженерных средств (защитных, локализирующих и обеспечивающих систем безопасности) и СКУ безопасности для достижения основных целей безопасности.

Предметом первого уровня являются цели и функции безопасности, обеспечивающие достижение основных целей и направленные на предотвращение аварий или их ограничение.

LEFU-2: Назначение и систематизация функций СКУ для достижения целей безопасности.

Второй уровень предполагает разработку функций СКУ, необходимых для включения в работу инженерных средств безопасности для выполнения соответствующих функций безопасности.

Важную роль при разработке перечня функций СКУ играет их классификация в зависимости от степени влияния функции управления на безопасность станции. При разработке второго уровня важно указать для каждой функции СКУ соответствующую категорию, поскольку она будет определять дальнейшую разработку данной функции СКУ в части надежности, требований к квалификации, верификации и валидации.

LEFU-3: Формирование изображения (при помощи логических символов) алгоритма функции СКУ с кратким ее описанием.

На основании LEFU-1, 2 разработки спецификации задач для цифровых СКУ на третьем уровне разрабатываются алгоритмы функций СКУ безопасности с учетом принципов построения системы Teleperm XS. Каждая функция имеет уникальный код, состоящий из

двух букв и двух цифр, которые отражают ее положение в иерархии функций безопасности. Задание на каждую функцию состоит из текстовой описательной части и графической диаграммы алгоритма управления.

LEFU-4: Детализированная модульная структура функций СКУ, включая структуру системы.

В соответствии с LEFU-3, на четвертом уровне формируется заключительное детальное описание задачи, на основе которого можно произвести разработку функциональных диаграмм, которые потребуются для разработки кодов прикладного программного обеспечения в САПР SPACE.

Графическое представление всех связей, требуемых для обработки информации в рамках ICF (СКУ), модулей и submodule формируется на данном этапе. Уровни технического задания для проектирования СКУ безопасности представлены на рис. 1.



Рис.1. Уровни технического задания

При проектировании СКУ безопасности отдельно выделяют пятый уровень *LEFU-5 – разработка кодов прикладного программного обеспечения в САПР SPACE.*

Система проектирования SPACE (SPecification And Coding Environment – Технические требования и Среда Кодирования) используется для конфигурации цифровых частей системы защиты. Эта система инструментов состоит главным образом из графического редактора, генераторов кода, а также инструментов тестирования, которые дают возможность разработки непротиворечивых технических требований и последующей автоматической генерации исполняемых программ для компьютеров обработки данных.

Рассмотренная технология была применена автором при разработке функции АС23 – Предупредительная защита «Ускоренное снижение мощности реактора» для проекта Нововоронежской АЭС-2 энергоблока №1.

*Н.С. Карасёв, студ.: рук. А.М. Демин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ВЫБОР СХЕМЫ РЕГУЛЯТОРА НЕПРЕРЫВНОЙ ПРОДУВКИ

Одним из условий надежной работы парогенераторов ТЭС является обеспечение требуемого качества котловой воды, т.к. вынос растворенных в воде солей в поверхности пароперегрева приводит к их пережогу. Для барабанных котлов по правилам технической эксплуатации устанавливаются нормы продувки в зависимости от давления в барабане [1]. Величина продувки определяет потери теплоты в циркуляционном контуре, т.е. экономичность работы энергоблока. Применение энергосберегающих технологий в теплоэнергетике и теплотехнике путём формирования требуемых свойств объектов управления соответственно требует уменьшить расход воды на продувку.

Непрерывная продувка осуществляется из соленых отсеков циркуляционного контура и предназначена для удаления из воды растворенных солей. Периодическая продувка осуществляется из нижних коллекторов и обеспечивает удаление механических примесей (шлама).

Целью работы является сравнение различных вариантов структурных схем регуляторов непрерывной продувки (РНП) [2 и др.] и определение их достоинств и недостатков. Решение данной проблемы требует проведения комплексного анализа, связанного с оценкой изменения свойств объекта в режимах дистанционного и автоматического управления его работой, взаимодействия регуляторов котла, требований к статической и динамической точности работы системы, а также, как отмечено выше, к надежности и экономичности работы оборудования. Все это делает рассматриваемую проблему актуальной не только с практической, но особенно актуальной с методической точки зрения (в учебных целях). Этими же признаками определяется и новизна комплекса проведенных автором аналитических исследований.

Необходимо иметь в виду, что при регулировании содержания можно использовать способы прямого измерения и косвенной оценки содержания. При прямом способе применяют датчик содержания NaCl (рис. 1). При косвенном способе датчик содержания отсутствует, содержание определяется соотношением расхода во-

ды на непрерывную продувку $W_{пр}$ и нагрузки, например – расхода перегретого пара $D_{пе}$ (рис. 2).

Объектом управления является циркуляционный контур, в котором обеспечивается поддержание требуемого солесодержания котловой воды путём изменения расхода продувочной воды.

Необходимым условием работы РНП является стабилизация уровня воды в барабане (количества воды в циркуляционной системе). При этом астатический объект, каковым является барабан с циркуляционной системой, в т.ч. по каналу зависимости солесодержания котловой воды от расхода продувочной воды при отсутствии стабилизации уровня воды в барабане, становится статическим. Взаимодействие регуляторов питания и непрерывной продувки должно обеспечивать формирование требуемых статических и динамических свойств в режиме автоматического управления объектом.

Требуемое качество котловой воды при постоянных и переменных нагрузках поддерживает РНП. Причем, поскольку качество работы РНП определяется работой регулятора питания, то параметры настройки РНП должны обеспечивать его некоторую инерционность по отношению к быстрдействию регулятора питания.

Рассмотрим свойства схем РНП и формируемые ими статические характеристики автоматизированного объекта (табл. 1, рис. 1 – 4).

Одноконтурная схема обеспечивает стабилизацию солесодержания (рис. 1). Её достоинством является то, что она стабилизирует требуемое качество котловой воды в заданном режиме работы котла. Недостатком является оптимальная работа установки по критериям зависимости от солесодержания только при постоянной заданной нагрузке.

Достоинством схемы изменения расхода воды на продувку $W_{пр}$ в зависимости от паропроизводительности $D_{пе}$ (рис. 2) является возможность косвенного регулирования солесодержания путем изменения соотношения этих параметров по результатам испытаний.

Эти простейшие схемы применимы для котлов малой и средней мощности при отсутствии требований к оптимизации процесса регулирования продувки с позиций энергосбережения.

Более сложными являются каскадные схемы (рис. 3, 4) со стабилизирующим и корректирующим регуляторами (СР и КР). Достоинством этих схем является улучшение динамической точности в переходных режимах. Это, как отмечено выше, не всегда является обязательным требованием, но для котлов большой мощности, работающих в регулирующих режимах, может принести как дополнительный экономический эффект, так и за счет динамической точности повысить надежность.

Таблица 1. Схемы регуляторов непрерывной продукции

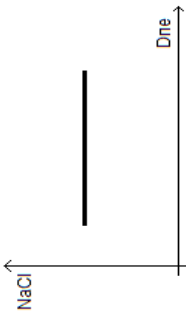
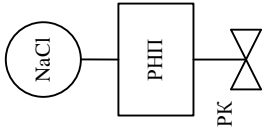
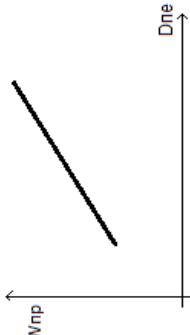
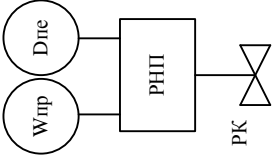
 <p>NaCl</p> <p>Dne</p> <p>Рис. 1 и 3</p>	<p>Рис. 1</p> 
 <p>Wnp</p> <p>Dne</p> <p>Рис. 2 и 4 (СР)</p>	<p>Рис. 2</p> 

Рис. 3

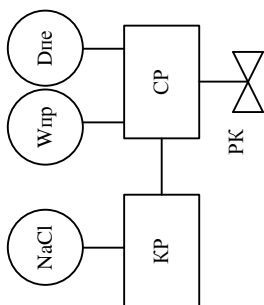
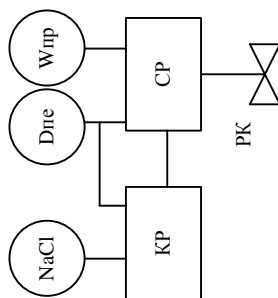


Рис. 4



Можно отметить, что стабилизация соледержания корректирующим регулятором (рис. 3) в конечном итоге сохраняет недостаток схемы 1, т.к. в условиях технологических ограничений может нарушаться требование правил эксплуатации о поддержании соотношения расхода воды на продувку в зависимости от нагрузки.

Если на КР дополнительно завести сигнал по расходу пара, то можно сформировать статическую зависимость соледержания от нагрузки (рис. 4). Добавив в эту связь нелинейный элемент можно обеспечить и требуемую динамическую точность во внутреннем контуре за счет CP, и можно более точно формировать требуемую статическую зависимость соледержания от нагрузки на КР с соблюдением всех требований правил технической эксплуатации. Поэтому такая схема и ее вариации для разных котлов в зависимости от постановки задачи регулирования позволяют обеспечивать путем формирования требуемых статических и динамических характеристик автоматизированного объекта и экономичность, и надёжность, и соотношение этих показателей работы оборудования.

Причем, перестроение структуры можно производить путем обнуления чувствительностей в тех или информационных каналах, т.е. путем параметрического синтеза в универсальной структуре при некоторой избыточности состава элементов системы, что для современных микропроцессорных средств управления не является критическим.

Таким образом, исходя из представленного анализа схем РНП, можно выбрать одну из них, соответствующую задаче энергосбережения при структурно-параметрическом синтезе системы.

Перспективы использования представленных результатов:

1) возможность применения в проектах автоматизации барабанных котлов универсального решения (рис. 4) с выбором в реальных условиях наилучшего по выбранным критериям;

2) возможность применения особенностей изложенного подхода к выбору схемы РНП также и к другим системам регулирования.

Библиографический список

1. **Тепловые** и атомные электрические станции: Справочник / Под ред. В.А. Григорьева, В.М. Зорина. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – с. 91–92.
2. **Плетнев Г.П.** Автоматизированное управление объектами тепловых электростанций: Учеб. пособие. – М.: Энергоиздат, 1981. – с. 250–253.

*С.В. Таланов асп.; рук. В.Д. Таланов к.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ЛИНЕАРИЗАЦИЯ РАСХОДНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО КЛАПАНА EV 260B

С целью экспериментальной проверки работы системы коррекции расходной характеристики регулирующего органа [1] на проточном стенде, схема которого приведена на рис.1, был установлен электромагнитный клапан типа EV 260B. Клапан предназначен для бесступенчатого регулирования расхода среды посредством плавного изменения тока обмоток катушки, которое обеспечивает регулирование втягивающей силы электромагнитной системы. Клапан с катушкой типа VL управляется нормированным токовым сигналом 4...20 мА. Зависимость между величиной управляющего тока и степенью от-

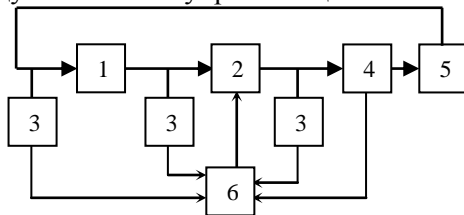


Рис. 1. Схема стенда: 1- центробежный насос, 2- клапан, 3- преобразователи давления, 4- ультразвуковой расходомер, 5- нагрузка (теплообменник), 6- контроллер ТКМ410 с ПК.

крытия клапана строго линейная.

Расходная характеристика электромагнитного клапана без

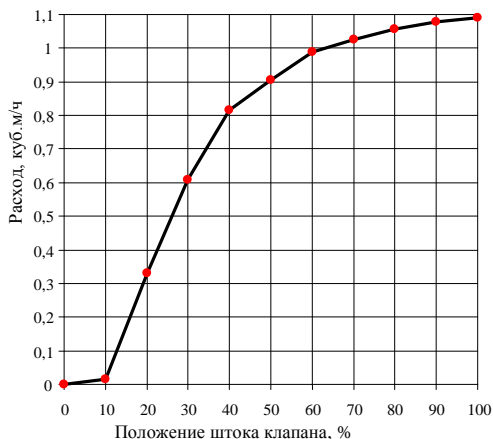


Рис. 2. Расходная характеристика электромагнитного клапана

системы коррекции показана на рис.2.

Расходная характеристика электромагнитного клапана с системой коррекции показана на рис.3.

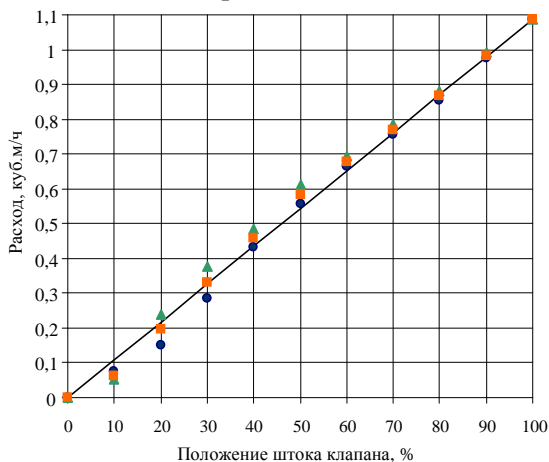


Рис. 3. Расходная характеристика клапана с системой коррекции

● прямой ход ▲ электромагнитный ○ среднее значение

Как видно из рисунков система коррекции обеспечивает линейризацию расходной характеристики электромагнитного клапана.

Библиографический список

1. **Таланов С.В.** Патент на полезную модель № 113033 от 25.01.2012. Система коррекции пропускной характеристики регулирующего органа с исполнительным механизмом постоянной скорости.

Секция 3. ТЕХНОЛОГИЯ ВОДЫ И ТОПЛИВА

Председатель секции зав. кафедрой «Химии и химических технологий в энергетике» д.т.н., проф. Б.М. ЛАРИН
Секретарь секции к.т.н., доцент Н.А. ЕРЕМИНА

А. Ш. Юнусов, студ.; рук. В. Н. Савельев, к.т.н. проф.
(КГТУиИ им. Ш. Есенова г. Актау, Казахстан)

ЭНЕРГЕТИКА: ОТ НАСТОЯЩЕГО К БУДУЩЕМУ ЧЕРЕЗ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНО-ИННОВАЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ

Топливо-энергетический комплекс Республики Казахстан охватывает получение, передачу, преобразование и использование различных видов энергии и энергетических ресурсов. Казахстан сегодня - крупное индустриальное государство, базирующее свое развитие на собственных топливно-энергетических ресурсах. Образованы уникальные по параметрам и протяженностью системы: электроэнергетическая, газо-нефтеснабжения, функционируют системы централизованного теплоснабжения и теплофикации, формируется ядерно-энер-

гетическая система. Это преимущество экономики Казахстана и важная предпосылка ее устойчивого роста.

Энергетика в настоящее время многофункциональное производство и является важнейшей частью экономики Казахстана, обеспечивающей жилищно – коммунальный сектор и все промышленное хозяйство страны тепловой и электрической энергией. Энергетика Казахстана базируется на собственном угле, нефти и гидроэнергетике. Республика располагает крупными ГЭС на Иртыше (Усть–Каменогорская, Бухтарминская), Сырдарье (Чардаринская), или (Капчагайская), крупнейшими тепловыми электрическими станциями, работающими на угле (Караганда, Темиртау, Петропавловск, Алматы) на природном газе в Таразе.

Ведущей составляющей энергетической отрасли промышленности является электроэнергетика, обеспечивающая электрификацию экономики страны. В минувшем году исполнилось 75 лет старейшей Алма-Атинской ТЭС (ныне ТЭЦ-1) – первенца электроэнергетики Казахстана. Если в 1940 году в Казахстане произведено всего 0,6 млрд. кВт/ч. электроэнергии, то технически возможный потенциал отрасли в 2010 году составил 84-85 млрд. кВт/ч. Для удовлетворения растущего спроса на электроэнергию в Республике необходимо значительное развитие генерирующих мощностей.

Речь идет о расширении действующих электростанций, строительстве новых, в том числе: модуль Южно-Казахстанской ГРЭС, Мойнакской ГЭС на реке Чарын и Кербулакской ГЭС на реке Или в Алма-Атинской области, Семипалатинской ГЭС и Булакской ГЭС на реке Иртыш. Сегодня резервы действующих станций практически исчерпаны, в связи с чем возникают препятствия для дальнейшего производственного роста предприятий, строительства и введения в строй новых производственных мощностей, диверсификации экономики и повышения уровня жизни населения республики. При этом запуск первых энергогенерирующих мощностей, оказывающих существенное влияние на баланс производства и потребления электроэнергии по Казахстану возможен не ранее 2012 года.

Уже в настоящее время начинает ощущаться дефицит электроэнергии на западе страны, есть проблемы и в северных регионах республики. В 2014 году объемы производства электроэнергии в Казахстане должны вырасти до 100 млрд. кВт/ч. Этого, как считают в министерстве индустрии и новых технологий РК, достаточно, чтобы обеспечить электроэнергией новые производства, новые проекты, реализуемые в рамках форсированного индустриально-инновационного раз-

вития. Общая стоимость модернизации существующих мощностей и введение новых составляет 740 млрд. тенге.

Современное развитие электроэнергетики связано не только с восстановлением и развитием традиционных генерирующих активов, но и с развитием альтернативных источников энергии, эффективным использованием энергии, решением экологических проблем. Однако, чистая энергия, вырабатываемая из возобновляемых источников, таких, как вода, ветер и солнечный свет, обходится значительно дороже, чем добытая традиционным способом. Так, один киловатт электроэнергии, вырабатываемый из воды, стоит в два раза дешевле, чем из угля. Использование солнечной энергии могло бы внести свою долю в разработку технологий нетрадиционных ресурсов. Водой, солнцем и ветром Казахстан богат. По оценкам экспертов, потенциал Казахстана в этой сфере составляет 1 трлн. кВт/ч. в год. Использование солнечной энергии особенно важно для отдаленных и изолированных частей страны.

Согласно плану устойчивого развития Республики Казахстан доля альтернативных источников энергии в топливно-энергетическом балансе страны должна достигнуть 1% к 2015 году и 5% к 2024 году. Для сравнения, в Германии доля электроэнергии, получаемой от возобновляемых источников энергии, в 2020 году составит 22%. Привлечение инвестиций – одна из главных задач, от которых зависит, как будет функционировать в Казахстане добыча энергии из возобновляемых источников. С этой целью для реализации масштабных проектов в электроэнергетической отрасли планируется создать привлекательную инвестиционную среду.

В недалеком прошлом в областном акимате проходило совещание по развитию энергетики в Мангистауской области, с участием вице-министра индустрии и новых технологий РК. На совещании было подчеркнуто, что «увеличение темпов роста населения области, реализация страновых инвестиционных проектов, динамичное развитие региональной экономики привели к резкому приросту потребления энергоресурсов. Это, в первую очередь, связано с тем, что в Мангистауской области реализуются крупные проекты, имеющие огромное значение для развития не только региона, но и всего Казахстана. Об этом свидетельствует тот факт, что в карту индустриализации страны по Мангистауской области включены 12 проектов, пять из которых - в республиканскую карту. О динамичном развитии промышленного производства нашей области свидетельствует и тот факт, что к концу года объем промышленного производства области достиг практический 1,4 трлн. тенге, что составляет примерно 16,4% по республике.

Объекты энергетики – основа любой инфраструктуры. Развитию г. Актау, нового Мунайлинского района и многих промышленных объектов препятствует недостаток инженерных сооружений и сетей электроснабжения. Об этом свидетельствует не так давно ушедшее необычайно жаркое лето 2010 года. Как никогда в это лето наблюдались проблемы с энергоснабжением областного центра. Причина банальна: увеличение нагрузки на городские электрические сети, 68% которых выработали свой срок службы, отрицательно сказались на работе оборудования трансформаторных подстанций и силовых трансформаторов.

Существующие головные подстанции перегружены. Поэтому бесперебойное обеспечение потребителей Мангистауского региона электроэнергией невозможно без опережающего развития энергогенерирующих источников и электросетевых объектов. При невыполнении мероприятий по обеспечению замены выбывающих мощностей, а также по их наращиванию уже, к 2015-2016 годам будет ощущаться нехватка генерирующих мощностей, что отрицательно скажется на всех аспектах жизнедеятельности нашего региона.

В настоящее время большинство государств (США, Россия, Германия, Великобритания и др.) решение нарастающих энергетических проблем видят в развитии атомной энергетики. В Казахстане разработана программа развития энергетических отраслей, в которой урановая промышленность поставлена в один ряд с угольной, газовой и нефтяной. В республике имеются объективные предпосылки развития атомной энергетики: по запасам урана Казахстан занимает второе место в мире, по добыче урана-третье; имеется инфраструктура для фундаментальных и прикладных исследований в области экспериментальной ядерной энергетики, опыт эксплуатации атомного реактора на быстрых нейтронах БН-350. С учетом прогнозируемого энергодефицита в регионе, связанного в первую очередь, с выводом из эксплуатации отработавшего срок службы основного оборудования ТОО "МАЭК-Казатомпром" - единственного энергопроизводящего предприятия региона, приоритетом был выдвинут проект строительства атомной электростанции мощностью 600МВт. Для реализации этого проекта в октябре 2006 года было учреждено СПАО казахстанско-российская компания «Атомные станции», на которое возлагалась разработка проекта технической документации атомных реакторов. Компанией были разработаны технико-экономические обоснования строительства новой АЭС на ректорах ВБЭР-300, организовано широкое обсуждение целесообразности и экономической безопасности строительства подобной станции в г. Актау среди широких слоев общественности горо-

да и региона. С ее вводом планировалось также покрытие дефицита электроэнергии в северо-западных регионах Казахстана. Но, на сегодняшний день реализация проекта по некоторым причинам приостановлена.

Реализацию объективных реалий развития промышленности и, в частности, энергетики в Казахстане должны обеспечивать кадры. Первостепенную роль кадров и, в первую очередь, молодых кадров отметил Президент в своем выступлении перед студентами и профессорско-преподавательским составом «Назарбаев университета» 7 декабря 2010 года. Глава государства обозначил конкретные задачи по формированию интеллектуальной нации, по воспитанию казахстанцев новой формации, превращению республики в страну с конкурентоспособным человеческим капиталом. «Назарбаев университет» должен стать одним из центров высоких технологий, аккумулирующим самые современные достижения в сфере образования и науки. Говоря о перспективах развития университета, носящего его имя, Н.А. Назарбаев отметил необходимость создания и организации «Энергетического центра» при университете, в котором должны быть сконцентрированы все усилия на исследовании энергосберегающих и экологически чистых технологий, а также на использование нетрадиционной и возобновляемой энергии.

Обращаясь к студентам нового университета Н.А. Назарбаев отметил, что стране нужны талантливые молодые ученые, работающие в самых передовых научных областях. Интеллектуальный прорыв в будущее возможен только с помощью талантливой, интеллектуальной молодежи. Именно такова суть, подчеркнул Президент, проекта «Интеллектуальная нация 2020», направленного на формирование новой генерации казахстанцев.

Свой вклад в дело подготовки специалистов нового поколения, вносит и Каспийский технологический университет им. Ш. Есенова, отмечающий в текущем году свое 35-летия. Подготовка кадров в КГУТиИ им. Ш. Есенова ведется по широкому спектру специальностей, востребованных экономикой региона, в том числе и специалистов энергетического профиля. Подготовка кадров вводится трехуровневой системе: бакалавр-магистр-доктор PhD, в соответствии с новым классификатором специальностей высшего и послевузовского образования.

На кафедре «Энергетика» готовят бакалавров по специальностям «Теплоэнергетика» и «Электроэнергетика». Кафедра имеет филиал при ТОО "МАЭК-Казатомпром", оснащенным современными учебными

классами и оборудованием, что значительно расширяет возможности образовательного процесса подготовки специалистов - энергетиков.

Филиал Кафедры, расположенный на территории ТОО "МАЭК-Казатомпром", располагает хорошо оснащенными аудиториями, лабораториями, мастерскими, обеспечивающими качественное проведение, как учебного процесса, так и научно – исследовательских работ.

Профессорско-преподавательский состав филиала кафедры укомплектован из числа ведущих научных сотрудников и специалистов МАЭК, имеющих большой производственный и научный опыт работы. Среди них – кандидаты наук Быстрицкий О.В., Муралев Е.Д., Скориков Н.В., Троценко Г.М. и др.

Материально-техническая база, обеспеченность учебно-педагогической и справочной литературы, квалификация профессорско-преподавательского состава позволяют кафедре готовить специалистов – энергетиков для народного хозяйства, отвечающим современным требованиям.

*А. Ш. Юнусов, студ.; рук. В. Н. Савельев, к.т.н. проф.
(КГТУиИ им. Ш. Есенова г. Актау, Казахстан)*

МОДЕРНИЗАЦИЯ ОПРЕСНИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК ДОУ-7 НА ПЛЕНОЧНЫЙ РЕЖИМ ИСПАРЕНИЯ МОРСКОЙ ВОДЫ КАСПИЯ

Опреснительные комплексы Мангистауского Атомноэнергетического комбината г. Актау (Казахстан), оснащены, в основном, десятикорпусными дистилляционными опреснительными установками (ДОУ).

Эти установки исправно обеспечивали и обеспечивают производство требуемого количества опресненной воды для удовлетворения потребности промышленных объектов и населения в пресной воде. Основной проблемой при их эксплуатации является интенсивный кавитационно-эрозионный износ лопастей осевых циркуляционных насосов типа ОХ 2Д-110 и ОХГН 15-110, приводящий к снижению производительности установок по дистилляту, заставляющий осуществлять частый трудоемкий ремонт или замену лопастной системы насосов.

В свое время, при создании этих установок, в отечественной практике единственным надежным способом борьбы с накипеобразованием был метод затравочных кристаллов. Его применение продиктовало использование в дистилляционных опреснительных установках испарителей с естественной и/или принудительной циркуляцией раствора и вынесенной зоной его вскипания.

В настоящее время разработан и на практике эффективно используется метод борьбы с накипеобразованием с помощью дозировки в морскую воду малых количеств антинакипиновых комплексонов.

В мировой практике имеется широкий набор антинакипиновых комплексонов производства разных стран. Но в испарителях с большим растворным объемом жидкости, характерным для испарителей десятикорпусных дистилляционных установок, как показали испытания антинакипина "Belgard EV" фирмы «Сибга-Гейга», на одной из десятикорпусных установок в г. Актау его применение оказалось не эффективным. В то же время в аппаратах с падающей пленкой жидкости и в горизонтальнотрубных пленочных аппаратах, имеющих малые растворные объемы, согласно мировому и отечественному опыту, антинакипины вполне работоспособны и эффективны и обеспечивают беспромывочный пробег опреснительных установок продолжительностью в один год и более.

В связи с этим было предложено [1] испарители десятикорпусных опреснительных установок реконструировать в аппараты с падающей пленкой жидкости и эксплуатировать их с использованием антинакипиновых комплексонов для предотвращения накипеобразования на теплообменных поверхностях оборудования.

Дистилляционная опреснительная установка ДОУ-7 предназначена для получения опреснённой воды для подпитки котлов ТЭЦ, обеспечения промышленных предприятий региона и г. Актау питьевой и хозяйственной водой. Используемой технологией на этих установках является термическое дистилляционное опреснение морской воды, реализуемой в десяти последовательно работающих вертикально – трубных выпарных аппаратах

с принудительной циркуляцией жидкости по растворному контуру, с вынесенной из греющих теплообменных труб зоной кипения. В качестве системы ограничения накипеобразования в этих аппаратах применяется метод «затравки»-циркуляция затравочных кристаллов меловой пульпы по контуру выпарных аппаратов.

Основным оборудованием ДОУ-7 являются выпарные аппараты ВА (9 штук) с принудительной циркуляцией раствора и вынесенной из теплообменных труб зоной вскипания, имеющие каждый величину поверхности теплообмена по 1760 м², подогреватели П1...П9 с величиной поверхности теплообмена каждого по 500 м², деаэратор морской воды ДВ, насосы НПИ-1 подачи исходной морской воды из выпарного аппарата ВА-10 через подогреватели П1...П9 в сепаратор первого выпарного аппарата ВА-1.

Греющим паром для ВА-10 является вторичный пар выпарного аппарата ВА-9. Вторичный пар десятого выпарного аппарата направляется на конденсацию в основной конденсатор (ОК) и в деаэратор (Д) в качестве вентиляционного пара с целью удаления основной части коррозионноагрессивных газов из исходной морской воды. Из деаэратора Д вентиляционный пар направляется во вспомогательный конденсатор (ВК). Конденсат греющего пара и дистиллят, образующийся при конденсации вторичных паров выпарных аппаратов, является готовым продуктом, отправляемым потребителям.

Для испытания выпарного аппарата ВА-10 в пленочном режиме испарения морской воды в схему обвязки (рис. 1) выпарного аппарата ВА-10 и в конструкцию аппарата внесены изменения:

- в нижнюю часть всасывающего патрубка циркуляционного насоса ОХГНК-15-10 смонтирована дополнительная труба – перемычка к существующей трубе отвода деаэрированной морской воды на насос НПИ;
- на трубопроводе исходной морской воды Ду 400 перед деаэратором Д установлен дополнительный вентиль В;
- смонтирован дополнительный трубопровод Ду 400 для подачи исходной морской воды в сепаратор ВА-10 от трубопровода исходной морской воды Ду 400 на деаэратор Д(ниже дополнительного вентиля В);
- на дополнительном трубопроводе Ду 400 установлен манометр М для измерения давления морской воды, подаваемой в сепаратор ВА-10 на вновь монтируемое оросительное устройство.

Схема модернизированного аппарата ВА-10 представлена на рис.2

Равномерная раздача жидкости по внутренней поверхности теплообменных труб является обязательным условием осуществления эффективной работы выпарных аппаратов с падающей пленкой жидкости [2]. Для достижения этой цели звездообразно установлены девять струйно-центробежных форсунок

3 (рис.2), состоящих из лопастного завихрителя жидкости 4 и камеры закручивания потока 5. Жидкость, выходящая из форсунок, имеет полноконический факел распыла с углом раскрытия 90° , что и обеспечивает равномерное распределение жидкости по всей площади верхней трубной решетки, с которой морская вода через края обрезанных заподлицо с трубной решеткой теплообменных труб тонкой пленкой поступает на внутреннюю поверхность этих труб.

Модернизованная установка эксплуатировалась с 25 июля по 03 октября 2010г. На основании снятия теплотехнических характеристик работы ВА-10 и ДОУ проведен расчет коэффициентов теплопередачи ВА-10 до и после изменения его конструкции (рис.3). Теплотехнические расчеты проводили в соответствии с методиками [3-5]. Величины коэффициентов теплопередачи Ва-10 после перевода его работы в пленочный режим были в 1,5 – 1,6 раза выше, чем при его работе с принудительной циркуляцией что, естественно, привело к увеличению производительности (рис 4).

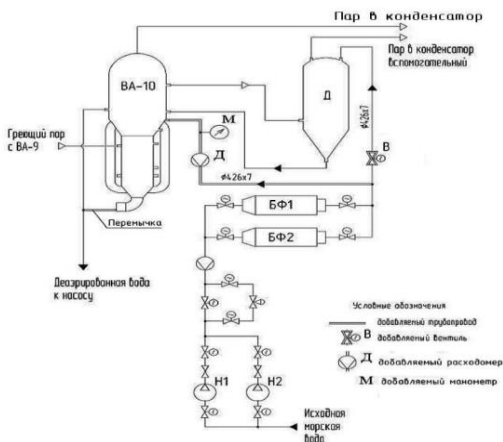


Рис.1 Технологическая схема обвязки модернизированного выпарного аппарата ВА-10

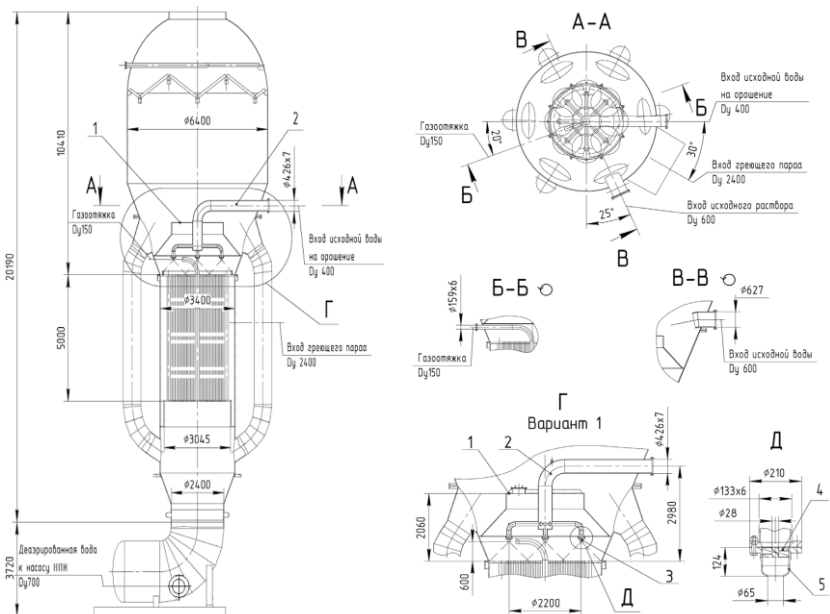


Рис. 2 Схема модернизированного выпарного аппарата ВА-10

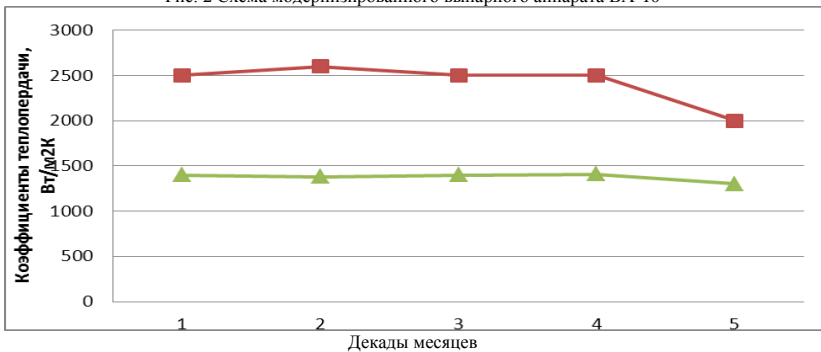


Рис.3 Изменение коэффициента теплопередачи ВА-10 во времени: 1 – до модернизации; 2 – после модернизации

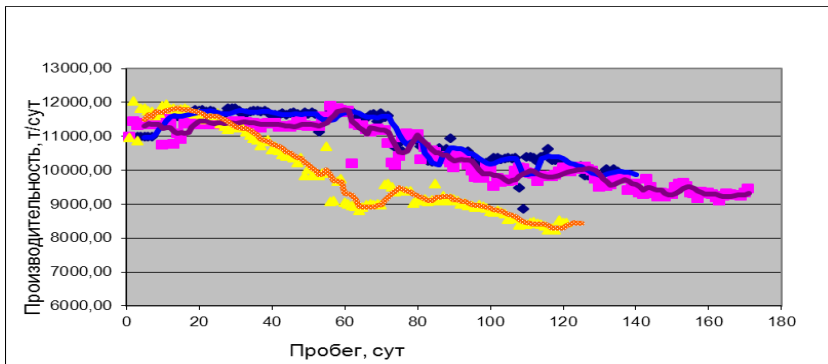


Рис.4 Изменение производительности ДОУ-7. 1 – до модернизации; 2 – после модернизации

Полученные положительные экспериментальные данные позволяют сделать вывод о целесообразности осуществления подобной реконструкции других выпарных аппаратов с принудительной циркуляцией раствора действующих опреснительных установок.

В действительности результаты, полученные после модернизации ВА-10, оказались лучше, чем ожидалось, поэтому положительный эффект от перевода выпарных аппаратов с принудительной циркуляцией на пленочное испарение будет выше предполагаемого в техническом предложении [1].

Вырезанные в крышке подъемной трубы три окна и раскрытый люк, предназначенные для выхода части пара, образующегося в теплообменных трубах, позволили снизить газодинамическое сопротивление движению этого пара по тракту вниз: теплообменные трубы – выход из них – вход в циркуляционные трубы – движение по этим трубам – выход из них в сепаратор за счет уменьшения скорости пара и, как следствие, привели к повышению производительности ДОУ-7 примерно на 30,0 т/ч. Поэтому необходимо, продолжить экспериментальный поиск рациональной площади для выхода пара вверх через подъемную трубу из условия снижения газодинамического сопротивления движению пара вниз (положительный фактор) и возможного отрицательного влияния поднимающегося по теплообменным

трубам пара на коэффициент теплопередачи и на вынос морской воды через вырезанные окна в сепаратор.

В целом, проведенные испытания на ВА-10 ДОУ-7 подтвердили целесообразность перевода выпарных аппаратов с принудительной циркуляцией раствора на пленочный режим испарения морской воды.

Библиографический список

1. ООО «ГЕНЕРАЦИЯ», ФГУП «ВНИПИПромтехнологии». Десятикорпусная дистилляционная опреснительная установка. Предложение по реконструкции. 2008. 40с.
2. Ю.В. Картовский, В.П. Величутина, В.С. Черноскутов, Е.Н. Старков. «Испытания распределительных устройств для выпарных аппаратов с падающей пленкой», Цветные металлы : -1981№ 5,с. 34-37.
3. МИ 2412-98 Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. Водяные системы теплоснабжения. Уравнения измерений тепловой энергии и количества теплоносителя.
4. МИ 2412-97 Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. Водяные системы теплоснабжения. Уравнения измерений тепловой энергии и количества теплоносителя.
5. А.А. Александров, Б.А. Григорьев, Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара, М.: МЭИ, 1999.

*А.А. Коровкин, асп.; рук. Н.Д. Чичирова, д.х.н., проф.;
(КГЭУ, г. Казань)*

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ВОДЫ В СХЕМЕ ВОДОПОДГОТОВКИ ЗАИНСКОЙ ГРЭС

Мембранные технологии очистки воды от взвешенных, коллоидных и растворенных примесей имеют более чем 40 летнюю историю широкого применения в различных отраслях народного хозяйства. Использование этих технологий в энергетике позволяет при минимальном использовании химических реагентов удалять из обрабатываемой воды растворенные в ней соли, взвешенные, коллоидные и органические вещества [1].

При работе мембранных установок происходит постепенное снижение их производительности, обусловленное загрязнением мембран, образовавшимися на поверхности отложениями малорастворимых солей и микрочастиц, особенно при нарушении расчетного режима эксплуатации мембранной установки или системы предочистки. Плотные осадки на поверхности мембран создают барьер, препятствующий подводу обрабатываемой воды к полупроницаемой мембране, уменьшая фильтрующую поверхность и приводя к снижению производительности мембран.

Обрабатываемые воды могут в разных количествах содержать взвешенные вещества различной дисперсности, соединения железа, соли кальция, магния, других элементов, фито- и зоопланктон, которые

при обессоливании могут образовывать отложения на поверхности полупроницаемых мембран, а также загрязнять другие элементы аппаратов. Все отложения в аппаратах можно разделить на три большие группы, различающиеся как по химическому составу, структуре и размеру частиц осадка, так и по механизму их образования.

К первой группе относятся осадки коллоидных и взвешенных частиц, в образовании которых принимают участие микроорганизмы, активно воздействующие на мембрану. Однако основная масса осадков этой группы состоит из частиц органического и неорганического происхождения, находящихся в исходной воде, а также образующихся в процессе ее обработки перед обратным осмосом, при ее взаимодействии с атмосферой и элементами установки.

Вторую группу образуют труднорастворимые соединения, а третью - отложения высокомолекулярных органических веществ.

Серьезную задачу представляет прогноз поведения мембранной системы с течением времени при работе на воде данного состава. Для этого разрабатываются критерии оценки качества воды, или «индексы».

В основе разработки индексов лежат представления о механизме загрязнения мембран, и по мере развития этих представлений меняются сами разработки [2]. Ниже приведены краткие характеристики распространенных индексов загрязнения мембран:

- для контроля кристаллических осадков карбоната кальция используют индекс Ланжелье, индекс Стиф и Девис;
- для контроля взвешенных веществ – индекс SDI (Silt Density Index), модифицированный индекс загрязнений MFI (Modified Fouling Index);
- для контроля биологических осадков применяют AOC-test (oxygen consumption), SOCR (Specific Oxygen Consumption Rate).

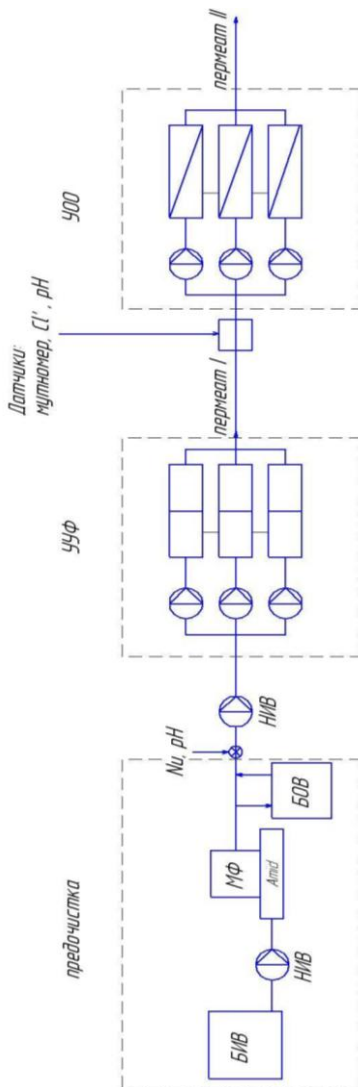


Рис.1 Схема водоподготовительной установки Занисской ГРЭС с приборами автоматизированного контроля качества воды. Б/В – бак исходной воды; Н/В – насос исходной воды; МФ – механический фильтр; БОВ – бак осветленной воды; УУФ – установка ультрафильтрации; УОО – установка обратного осмоса; Nu – датчик мутности (мутномер); pH – pH-метр; Cl – датчик активного хлора

В качестве объекта исследования выбрана водоподготовительная установка Заинской ГРЭС, которая представляет собой последовательность ультрафильтрационных и обратноосмотических модулей.

С целью увеличения срока службы обратноосмотических мембран для поддержания и мониторинга этих показателей была разработана схема автоматизированного контроля (см рис.1).

Источником мутности исходной воды для УОО могут являться процессы биоразмножения в БОВ (баке осветленной воды). Повышенная кислотность и остаточный активный хлор в исходной воде могут появиться после промывки мембран на УУФ. Соединения железа и алюминия как правило находятся в коллоидной форме. Поэтому можно считать, что соединения железа и алюминия и другие коллоиды (коллоидный индекс), а также взвешенные вещества и нефтепродукты (нерастворимые) обуславливают мутность (непрозрачность) исходной воды. По определению, мутность воды вызвана присутствием тонкодисперсных примесей, обусловленных нерастворимыми или коллоидными неорганическими и органическими веществами различного происхождения.

Таким образом, минимальный набор приборов автоматического контроля для определения ограничений по исходной воде для УОО – мутномер, анализатор активного хлора и рН-метр.

За ноябрь-декабрь 2010 года были получены значения величин мутности, содержания активного хлора и рН воды, подаваемой на установку обратного осмоса ЗГРЭС. Значения величин мутности, содержания активного хлора и рН воды, подаваемой на установку обратного осмоса ЗГРЭС в ноябре-декабре 2010г (показания приборов поста автоматического контроля) отображены в виде графиков на рис.2: а, б, в.

Анализ результатов показывает, что активный хлор иногда фиксируется в исходной воде (2 раза за месяц). Но уровень этих значений составляет 0,01-0,02 мг/л, что значительно ниже установленного минимума (не более 0,1 мг/л).

Мутность исходной воды, согласно показаниям мутномера, меняется в достаточно широких пределах от 1 до ~10 ЕМ/л. Одной из причин превышения норматива по мутности является завышенное значение рН исходной воды

Кроме того, при рН ~ 6 достигается наиболее полное осаждение Al^{3+} , соединение которого также вносят вклад в мутность. Также, более низкое значение рН позволяет поддерживать соединение Fe^{3+} в истиннорастворенном, а не в коллоидном состоянии.

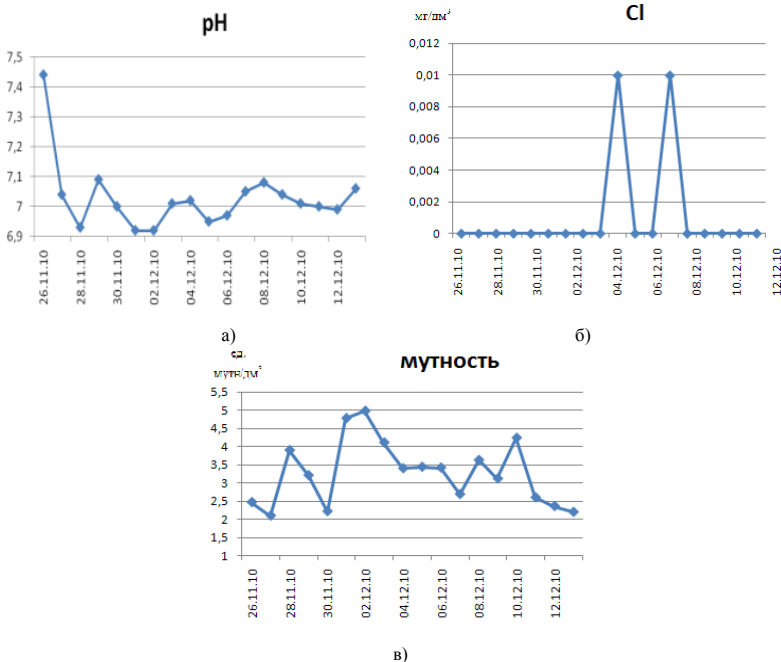


Рис. 2 а) График изменений pH среды; б) График изменений содержания активного хлора в среде; в) График изменений мутности среды

Таким образом, загрязнение аппаратов оказывает влияние практически на все элементы и процессы, протекающие при обессоливании воды обратным осмосом, вызывая, в конечном счете, снижение полезной производительности аппаратов и ухудшение качества фильтрата. Для снижения степени загрязнения перед мембраной устанавливают систему предварительной очистки воды, а для предотвращения загрязнения и для контроля качества воды предлагается организовывать автоматизированный мониторинг в схеме водоподготовки.

Библиографический список

1. **Юрчевский Е.Б.** Исследование процессов формирования отложений в мембранных аппаратах с открытыми напорными клапанами/ Е.Б. Юрчевский, А.Г. Первов, А.П. Андрианова, М.А. Пичугина// Энергосбережение и водоподготовка. – 2008 - №4 – С.32-35
2. **Первов А.Г.** Новые тенденции в разработке современных нанофильтрационных систем для подготовки питьевой воды высокого качества// Критические технологии. Мембраны – 2005 - №1.

*А.Р. Шакиров, асп.; рук. Н.Д. Чичирова, д.х.н., проф.
(КГЭУ, г. Казань)*

АЛЬТЕРНАТИВА СУЩЕСТВУЮЩИМ ВОДНО- ХИМИЧЕСКИМ РЕЖИМАМ

Совершенствование технологий водно-химических мероприятий на тепловых и атомных электростанциях имеет важное значение для повышения эффективности, надежности и экономичности работы теплоэнергетических установок, и может внести существенный вклад в энерго- и ресурсосбережение, уменьшение вредного воздействия энергетических объектов на окружающую среду. Большой опыт эксплуатации парогенерирующих установок показал, что постепенное образование на теплообменных поверхностях отложений из продуктов коррозии конструкционных материалов контура и естественных примесей воды является неизбежным.

Мероприятия, связанные с защитой оборудования от коррозии и уменьшения количества отложений на теплопередающих поверхностях теплоэнергетического оборудования, являются весьма актуальными на сегодняшний день. Для предотвращения повышенной коррозии конструкционных материалов и образования отложений на теплообменных поверхностях в проточных частях турбоустановки в теплоэнергетике осуществляются водно-химические мероприятия с использованием различных химических реагентов (фосфатные и оксидные защитные пленки). Они могут применяться для кондиционирования рабочего тела водяных контуров электростанций с целью пассивации поверхности металла за счет создания защитной оксидной пленки, образующейся при термоллизе, удаления «на ходу» ранее образовавшихся отложений, создания хороших условий для консервации оборудования на длительный период.

В связи с этим актуальными являются задачи определения путей контроля коррозии металла котельных агрегатов, повышение эффективности используемых реагентов и методов очистки. Перспективными являются экспериментально-лабораторные методы, позволяющие сделать предварительную оценку эффективности применения реагентов для коррекционных водных режимов ТЭС с участием различных химических веществ.[1]

Выбор оптимального водно-химического режима для паровых стационарных котлов с естественной циркуляцией является весьма актуальной задачей. Применяемые традиционные техно-

логии ведения водно-химических режимов барабанных котлов, такие как обработка питательной воды гидразином и аммиаком и котловой воды фосфатами, имеют ряд существенных недостатков. К ним относятся: высокая токсичность гидразина-гидрата и аммиака, недостаточно эффективная защита от отложений и коррозии всего оборудования пароводяного тракта ТЭС, применение нескольких реагентов для коррекционной обработки теплоносителя, необходимость использования дополнительных реагентов для защиты от стояночной коррозии при ремонтах и простоях оборудования ТЭС.

На многих ТЭС Европы, а также, на ряде электростанций Белоруссии и Казахстана в качестве заменителя гидразина-гидрата и фосфатов довольно успешно используют препарат Хеламин.[2]

В России хеламин впервые стал применяться с 2000 года, а с мая 2009 года уже 33 предприятия России работают с данным реагентом, в том числе и Казанские ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2.

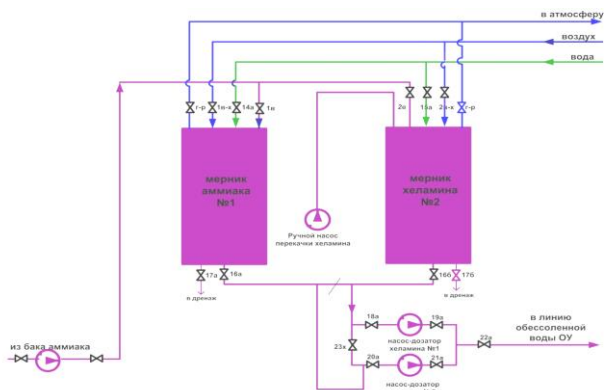


Рис. 1 Схема подачи аммиака и хелamina в обессоленную воду

Применение хелamina предполагает следующие преимущества:

- сочетание несколько выдающихся свойств в одном экологически чистом продукте;
- создает прочнейшую гидрофобную защитную пленку по всему паро- конденсатному тракту;
- очищает поверхности интенсивного теплообмена от старых коррозионно-накипных отложений;
- предотвращает выпадение новых минеральных отложений;
- оказывает сильное диспергирующее действие на частички грязи, минеральные соли и продукты коррозии;
- сокращает энергетические затраты из-за существенного улучшения теплопередачи;

- резко уменьшает количество необходимых продувок.

Недостатки применения хеламина:

- увеличение проводимости Н- катионированной пробы пара на блоках для обработки воды;

- слишком низкая величина рН котловой воды, в связи с чем необходим дополнительный ввод аммиака в обессоленную и щелочи (едкого натра) в котловую воду;

- усложнение ведения мониторинга ВХР;

- увеличение концентрации ионов меди.

На сегодняшний день нельзя однозначно сказать, насколько эффективен переход с аммиачно-гидразинно-фосфатного режима на хеламинный на Казанских ТЭЦ-1,2 поскольку процесс наладки оборудования на данный режим еще не закончен. Тому подтверждением является необходимость ввода дополнительных реагентов, помимо хеламина, в обессоленную воду с целью поддержания рН на уровне 9,0-9,5, а именно аммиака и щелочи (NaOH), а также неприемлемый рост концентраций ионов меди и железа.

Но, несмотря ни на что, хеламин – это тенденция к переходу на иной, более высокий уровень развития энергетики.

Библиографический список

1. Маргулова Т.Х. «Водные режимы тепловых и атомных электростанций» - М.: Высшая школа, 1978.
2. Иванова Н.В. Анализ эффективности образования пассивирующей пленки на поверхности углеродистой стали в гидразинсодержащей и кислородсодержащей средах // Теплоэнергетика. – 2001. - №8. – С.38-41.

***С.С.Паймин, асп.; Р.Р.Заялов, асп.;
рук. Н.Д.Чичирова, д.х.н., проф.; А.А.Чичиров, д.х.н., проф.
(КГЭУ, г. Казань)***

ЭЛЕКТРОДИАЛИЗНЫЕ КОНЦЕНТРАТОРЫ В СХЕМАХ ВОДОПОДГОТОВКИ ТЭС

В настоящее время вода становится всё более значимым объектом для обсуждения. Острая нехватка воды во многих регионах мира предопределяет вовлечение в оборот всех её видов: подземных, поверхностных, сточных и морских. Различие их составов очевидно, однако общие принципы водоподготовки остаются классическими и не претерпевают изменений, тем не менее, комбинаторика тех или иных технологических приёмов в последнее время широко развивается.

Во всём мире мембранные технологии доказали своё преимущество по сравнению с традиционными технологиями очистки, разделения, обессоливания и концентрирования жидких и газовых смесей. Среди мембранных технологий электродиализ -

единственная технология, которая при определённых условиях может осуществлять как процессы разделения (обессоливание, опреснение), так и процессы концентрирования растворов. По этой причине электродиализ является одним из перспективных направлений развития техники и технологий для многочисленных отраслей промышленности, таких как энергетика, включая ТЭЦ, АЭС, гидрометаллургия, фармацевтика и медицина, пищевая и химическая промышленность, подготовка воды питьевого назначения и т.д. [1]

В настоящее время на отдельно взятых российских тепловых электростанциях, в частности Заинской ГРЭС, для очистки добавочной воды используются обратноосмотические модули. Деминерализация исходной воды в обратноосмотическом модуле основана на принципе обратного осмоса – отделение деминерализованной воды от минерализованной через тонкопленочную полупроницаемую мембрану под давлением выше осмотического (баромембранный процесс). Подобные аппараты имеют высокую эффективность, но в процессе их использования примерно одна треть от всего количества исходной воды теряется с образовавшимся концентратом, что невыгодно при нынешних достаточно высоких ценах на исходную сырую воду. Решить данную проблему может применение электродиализных аппаратов концентраторов, содержащих чередующиеся камеры обессоливания и концентрирования, образованные катионообменными и анионообменными мембранами и заполненные растворами электролита. Внешнее электрическое поле вызывает направленный перенос катионов и анионов электролитов через ионоселективные мембраны из камер обессоливания в камеры концентрирования. Электродиализное концентрирование электролитов в модулях с гидравлически замкнутыми камерами концентрирования – электродиализаторах-концентраторах – практически не имеет ограничений на достижимую степень концентрирования [2]. В отдельных случаях в электродиализаторах-концентраторах удаётся достичь предела растворимости и, используя зависимость растворимости от температуры, переводить растворённые соли в твёрдое состояние без

использования термических испарителей. В этом смысле электродиализное концентрирование среди мембранных методов занимает монопольное положение. По нашим предварительным оценкам электродиализаторы-концентраторы способны преобразовать примерно до 80 % концентрата, образующегося в процессе работы обратноосмотических модулей, в пермеат, который будет использован в рабочем цикле электростанции. Применение ещё одной дополнительной ступени электродиализного концентрирования позволит получить дополнительное количество пермеата, а образовавшийся в ходе этого концентрат может быть выделен в виде сухого остатка, который удобен при утилизации. Проведя анализ имеющихся данных по применяемым в отечественной теплоэнергетике водоподготовительным системам, можно с уверенностью сказать, что на сегодняшний день подобные схемы водоподготовки на российских электростанциях не применяются.

В настоящее время на кафедре «Тепловые электрические станции» Казанского государственного энергетического университета начато проведение серии опытов с использованием экспериментальной электродиализной установки. Основной задачей этой работы является получение экспериментальных данных и последующая разработка на их основе новых схем подготовки добавочной воды тепловых электростанций, с использованием технологии электродиализного концентрирования солевых растворов, в том числе для работы в схемах, с использованием обратноосмотических модулей. На сегодняшний день проведена первая серия опытов, целью которых являлось определение влияния выходного напряжения на эффективность электродиализа модельного раствора NaCl. В настоящий момент проводится анализ полученных экспериментальных данных и планируется серия новых опытов с использованием воды, применяемой в качестве исходной на конкретных тепловых электростанциях, заинтересованных во внедрении у себя современных схем водоочистки.

Библиографический список

1. **Рябчиков Б.Е.**Современные методы подготовки воды для промышленного и бытового

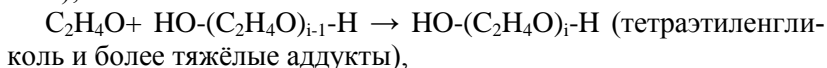
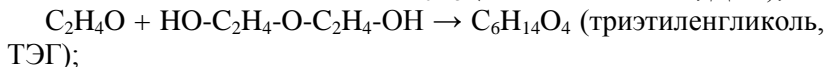
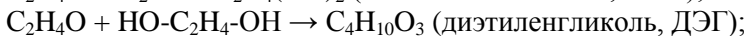
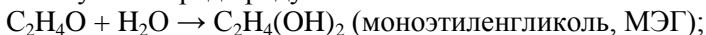
использования. – Дели принт. 2004. – 328 с.

2. Смагин В.Н. Обработка воды методом электродиализа. – М.: Стройиздат. 1986. – 172с.

*А. В. Сухарев, асп.; рук. Б. А. Головушкин к.т.н., доц.;
А. Н. Лабутин д.т.н., проф.
(ИГХТУ, г. Иваново)*

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА СТРУКТУРЫ РЕАКТОРНОГО УЗЛА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ РЕАКЦИИ ОКСИЭТИЛИРО- ВАНИЯ ВОДЫ

В химической технологии органического синтеза широко представлен класс последовательно-параллельных реакций [1, 2]. В данной работе последовательно-параллельные реакции рассматриваются на примере гомогенной жидкофазной реакции процесса некаталитической гидратации оксида этилена – производство этиленгликолей. В ходе реакции гидратации окиси этилена получается ряд продуктов по схеме:



где $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$, H_2O – концентрации исходных веществ (окись этилена и вода соответственно), i – номер стадии.

Многопродуктовость этого процесса делает его интересным с точки зрения гибкости для обеспечения энергоресурсосбережения.

Вопросам исследования влияния аппаратурного оформления на степень превращения исходных реагентов и на выход продуктов сложных многостадийных реакций посвящено большое число статей и монографий [2, 3]. При синтезе структуры гибкой реакторной схемы необходимо предусмотреть возможные способы регулирования селективности по тому или иному продукту, которые определяются характером влияния на нее основных режимно-технологических и конструктивных параметров.

Существующее производство, с точки зрения аппаратурно-технологического оформления, ориентировано на выпуск одного продукта с поддержанием раз и навсегда заданного соотно-

шения продуктов на выходе из реактора. Однако спрос на те или иные продукты реакции изменяется, и периодически возникает необходимость изменения состава получаемых продуктов, а также все ужесточающиеся требования экологической безопасности делают актуальной задачу повышения эффективности функционирования существующих многопродуктовых производств и создания новых гибких производств непрерывного типа, основной стадией которых является гибкая реакторная подсистема.

В работах [2, 3] показано, что при заданной температуре и объеме аппарата степень превращения исходных реагентов выше в реакторе идеального вытеснения (РИВ), чем в реакторе идеального смешения (РИС). Вместе с тем, в РИС выше выход более тяжелых продуктов, приходящийся на превращенный исходный реагент или выше селективность по тяжелым продуктам.

При одинаковых условиях проведения одной и той же реакции для достижения равной глубины превращения среднее время (ϕ_{cp}) пребывания реагентов в проточном РИС больше, чем в РИВ. Скорость реакции, согласно закону действующих масс, пропорциональна концентрации реагентов. Следовательно, в РИВ она всегда выше, чем в проточном РИС. А при большой скорости протекания реакции, для достижения той же глубины превращения, требуется меньшее время пребывания реагентов в реакторе. Следует отметить, что даже при равной степени превращения РИС имеет больший объем, чем реактор идеального вытеснения [4].

В работе [5] исследовалась структура реакторной системы для сложной многопродуктовой химической реакции протекающей в изотермическом режиме. Было показано, что реакторная подсистема должна включать как минимум два реакторных модуля: РИВ и РИС. Структура технологической схемы предусматривала различные варианты технологических связей между этими модулями, обеспечивающими возможность последовательного, параллельного, последовательно-параллельного включения реакторов. Реакторная система имела внутренние рециклы и байпасные потоки, а так же внешние рециклы.

В общем случае оптимальная структура гидродинамических потоков являет собой промежуточное состояние между идеальным смешением и идеальным вытеснением.

В источнике [6] отмечают, что распределение времени пребывания в системе с рециклом в пределе всегда стремится к экспоненциальной форме, когда при постоянной скорости питания Q степень рециркуляции R растет, стремясь к бесконечности. Система в этом случае описывается уравнением для плотности распределения времени пребывания

$$f(t) = \frac{Q}{V} \exp\left(\frac{-Q \cdot t}{V}\right) = \frac{1}{\tau_{cp}} e^{-t/\tau_{cp}}, \quad (1)$$

т. е. аналогично случаю идеального смешения. Это положение было проверено как экспериментально, так и теоретически для самых различных систем, однако общего математически строгого доказательства приведено не было.

Нами был проведен численный эксперимент (имитационное моделирование) гидродинамики РИВ с рециркуляционным потоком с выхода на вход аппарата, который показал, что гидродинамика РИВ с рециклом приближается к гидродинамике РИС, что не противоречит другим источникам.

В реальных реакторах, даже близких к идеальному вытеснению, существует какое-то распределение элементов потоков по времени пребывания в аппарате. В теории реакторов разработаны модели, позволяющие учесть не идеальность потока. Эти модели также основываются на допущениях, однако они значительно более точно описывают реальный процесс, чем модели РИС и РИВ. Как правило, применение ячеечной модели при количестве ячеек $N \geq 10$ позволяет удовлетворительно описывать реальный реактор [4].

Дифференциальная функция распределения (в терминах теории вероятности – функция распределения плотности вероятности) ячеечной модели имеет вид:

$$f(\tau) = \frac{N^N}{(N-1)!} \cdot \theta^{N-1} \cdot \exp(-N \cdot \tau) \quad (2)$$

При $N = 1$ уравнение (2) переходит в уравнения для реактора идеального смешения, а при $N \rightarrow \infty$ совпадает с функцией распределения реактора идеального вытеснения.

Структура реакторной системы, предложенная в работе [5], является очень сложной для внедрения в производство, так как имеет большое количество связей между элементами. Так же следует отметить, что данная структура рассматривается только для изотермического режима. На основании выше изложенного, нами была предложена следующая гипотетическая структура реакторного узла для реализации сложных многопродуктовых реакций, представленная на рис. 1.

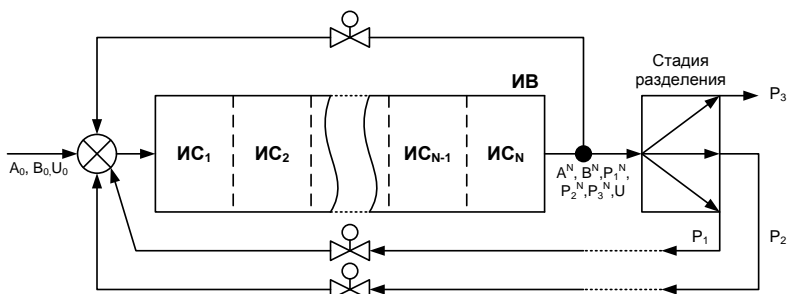


Рис. 1 Гипотетическая функционально-структурная схема реакторного узла
 $ИС_1 \dots ИС_N$ – аппроксимация реактора идеального вытеснения (ИБ) ячейками идеального смешения (ИС), A_0, B_0 – концентрации компонентов реакции на входе в реактор, $A^N, B^N, P_1^N, P_2^N, P_3^N$ – концентрации компонентов реакции на выходе, U_0, U – расход на входе и выходе реактора, ⊗, • – сумматор и делитель потоков

Данная структура состоит из реактора идеального вытеснения с рециклом общего потока, а так же рециклами по всем продуктам реакции, кроме самого тяжёлого. Рециклические потоки исходного сырья и промежуточных продуктов, согласно принципу супероптимальности Н.Ф. Нагиева [6], позволяют регулировать скорость той или иной стадии реакции, селективность по различным продуктам и производительность единицы реакционного объема. Также рецикл реакционной смеси влияет на время пребывания смеси в реакторном узле, а соотношение концентраций исходных реагентов A_0 и B_0 позволяет влиять на селективность по продуктам реакции. Предложенная структура была рассмотрена и смоделирована для адиабатического режи-

ма. Результаты моделирования показали эффективность её использования.

Библиографический список

1. Лебедев Н.Н. Химия и технология основного органического и нефтехимического синтеза. – М.: Химия, 1988. – 592 С.
2. Лебедев Н.Н. Теория технологических процессов основного органического и нефтехимического синтеза. / Н.Н. Лебедев, М.Н. Манаков, В.Ф. Швец – М.: Химия, 1975. – 477 С.
3. Левеншиль О. Инженерное оформление химических процессов. Пер. с англ. / Под ред. М.Г. Слинько. – М.: Химия, 1969. – 624 С.
4. Кутепов А.М. Общая химическая технология: учебник для техн. вузов / А.М. Кутепов, Т.И. Бондарева, М.Г. Беренгартен. – М.: ИКЦ "Академкнига", 2007. – 528 С.
5. Лабутин А.Н. Автореферат диссертации канд. техн. наук. – М.: МХТИ им. Д.И. Менделеева, 1978.
6. Кафаров В.В. Рециклические процессы в химической технологии. «Процессы и аппараты химической технологии». (Итоги науки и техники) / Кафаров В.В., Иваново В.А., Бродский С.Я., 1982, Т. 10, С. 3-87.

*А.О. Злобина, студ.; рук. Н.А. Еремина к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РЕКОНСТРУКЦИЯ ВПУ ПСКОВСКОЙ ГРЭС

Псковская ГРЭС расположена в районном центре Псковской области, на левом берегу реки Шелонь. Установленная мощность 430 МВт. ГРЭС состоит из двух энергоблоков по 215 МВт с котлом ТПЕ-208 и турбиной К-215-130-1, введенных в эксплуатацию в 1993 и 1996 годах.

Основной вид топлива – природный газ. Изначально энергоблоки были созданы для работы на фрезерном торфе; по проекту ВТИ они были реконструированы для сжигания природного газа.

Необходимость реконструкции ВПУ Псковской ГРЭС обусловлена несколькими причинами:

1) При проведении анализа в 2004 г. состояния металла и оценки остаточного ресурса радиационного пароперегревателя котла ТПЕ-208 ст.№1 были обнаружены коррозионные повреждения в виде широких разветвляющихся трещин внутри обезуглероженного слоя толщиной 0,2-0,6 мм, вызванных термоусталостью и наличием в пароводяном тракте коррозионно-агрессивных органических соединений [1].

Попадание коррозионно-агрессивных соединений в пароводяной тракт связано с высоким содержанием органических веществ в исходной воде р. Шелонь (перманганатная окисляемость до 42 мг-экв/дм³), а существующая схема предочистки (коагуляция серно-кислым алюминием в осветлителях ВТИ-160) не обеспечивает требуемого качества воды по содержанию органики. Значительная нагрузка по органике, поступающей на ионообменную обессоливающую установку приводит к преждевременному необратимому снижению обменной емкости анионитов и в первую очередь слабоосновного ионита, увеличению

эксплуатационных расходов на реагенты, ионообменные смолы, воды на собственные нужды, количеству сбросных вод и электроэнергии, а также протечке неполярной органики в котел, где под действием высоких температур разлагается до простых кислых продуктов, агрессивно воздействующих на все внутренние поверхности котлоагрегатов и проточные части турбин.

2) С выходом в 2009 году СТО [2] значительно ужесточены требования к качеству химически очищенной воды, которые существующая схема химводоочистки не обеспечивает.

3) Возможное расширение блока введением ПГУ 420МВт, в связи с чем требования к качеству обессоленной воды ужесточаются.

Таким образом, для предотвращения попадания в пароводяной тракт коррозионно-агрессивных соединений и продления срока службы оборудования необходимо провести реконструкцию химводоочистки, в результате которой должен обеспечиваться высокий уровень качества очищенной воды независимо от изменения качества исходной воды, вследствие чего повысится надежность работы теплотехнического оборудования, снизятся эксплуатационные затраты ХВО.

При проведении проектных работ необходимо рассмотреть и сравнить технико-экономические показатели нескольких возможных вариантов принципиальных схем реконструкции ХВО. Выбор оптимального варианта технологической схемы обработки воды был произведен после предпроектного обследования и получения результатов технико-экономических обоснований. Были рассмотрены следующие схемы:

- Предочистка – «UP.CO.RE.» – ФСД;
- Предочистка – обратный осмос – «UP.CO.RE.» – ФСД;
- Предочистка – нанофильтрация – «UP.CO.RE.» – ФСД;
- Ультрафильтрация – обратный осмос – «UP.CO.RE.» – ФСД;
- Ультрафильтрация – нанофильтрация – «UP.CO.RE.» – ФСД.

Один из возможных способов предотвращения доступа любого вида органики в подпиточную воду – это применение в качестве одной из стадий очистки исходной воды технологии обратного осмоса, а для стабильной работы обратного осмоса – применение предвключенной ультрафильтрации коагулированной воды.

На Псковской ГРЭС были проведены испытания опытной ультрафильтрационной установки, которые дали положительные результаты [3]:

- Качество фильтрата соответствует требованиям, предъявляемым к качеству воды, используемой в дальнейшей схеме обратноосмотического обессоливания;

- Произошло снижение количества органических соединений до 80 %;
- Концентрация железа снизилась на 94 %.

Замена традиционной предочисти на ультрафильтрацию приводит к увеличению фильтроцикла установки обратного осмоса, сокращению количества реагентов на регенерацию. Поэтому из рассмотренных схем наиболее экономически целесообразен вариант:

- Ультрафильтрация – обратный осмос – «UP.CO.RE.».

Предлагаемая схема имеет свои недостатки:

- увеличение расходов электроэнергии;
- большой объем сбрасываемого концентрата;
- увеличение расходов воды на собственные нужды;
- большие капитальные затраты;
- желательный непрерывный режим работы мембранных установок.

Но эти недостатки компенсируются положительными результатами применения данной схемы.

Реализация проекта на Псковской ГРЭС позволит:

- гарантировать необходимое качество обработанной воды (в том числе и по содержанию органических веществ);
- в 15-30 раз снизить эксплуатационные затраты на химические реагенты;
- в 5 раз снизить затраты на ионообменные смолы;
- автоматизировать практически всю цепочку обработки воды, снизить трудозатраты, снизить влияние «человеческого фактора», повысить надежность работы установки;
- уменьшить количество вредных сбросов сточных и плату за них;
- уменьшить расходы на декларирование опасного производственного объекта (склад хранения реагентов);
- реализовать строительство и ввести в работу новую схему в существующем фильтровальном зале, без ущерба работы существующего оборудования.

Реконструкция ХВО позволит повысить надежность работы существующего теплотехнического оборудования и даст возможность получить подпиточную воду необходимого качества, соответствующую СТО [2].

Библиографический список

1. **Заключение** ОАО «ВТИ» «Анализ состояния металла, оксидной плёнки и оценка остаточного ресурса радиационного пароперегревателя котла ТПЕ-208 ст.№1 Псковской ГРЭС».
2. **СТО 70238424.27.100.013-2009** «Водоподготовительные установки и водно-химический режим ТЭС. Условия создания. Нормы и требования».
3. **«Отчет** по пилотным испытаниям опытно-промышленной установки ультрафильтрации на Псковской ГРЭС» 2007 г. Jurby Watertech International.

А.Г. Фролова, студ.; рук. Е.В. Козюлина, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ЗАМЕНА ФИЛЬТРУЮЩЕЙ ЗАГРУЗКИ НА РЯЗАНСКОЙ ГРЭС

Филиал «ОГК-2» Рязанская ГРЭС – тепловая электростанция мощностью 3110 МВт расположена в Рязанской области в городе Новомичуринск. В настоящее время особое внимание уделяется работам по замене загруженных ионитов для снижения затрат на производство электроэнергии. Для подготовки воды на Рязанской ГРЭС применяется 3-х-ступенчатое химическое обессоливание по схеме:



В данный момент перед Рязанской ГРЭС стоит задача сократить расходы на себестоимость при производстве химочищенной воды. Одним из таких решений является замена фильтрующего материала. В настоящее время на шестой цепочке в качестве эксперимента был заменен катионит КУ-2-8 на Lewatit®S 1667.

Lewatit®S 1667– новый монодисперсный сильнокислотный катионит, предназначенный для использования в промышленных и бытовых установках умягчения воды. Единый размер гранул ионита обеспечивает равномерное распределение потока в слое смолы. Как следствие процессы насыщения, регенерации и отмывки протекают с очень высокой эффективностью. Слой ионита обладает низким гидравлическим сопротивлением благодаря практически полному отсутствию мелкой фракции (содержание гранул с $d < 0,4$ мм не более 0,4 % об). Высокая прочность полимерной матрицы ионита обеспечивает продолжительный срок эксплуатации материала.

Катионит КУ-2-8 – смола ионообменная в водоподготовке представляет собой нерастворимое высокомолекулярное вещество – катионит. Он состоит из нерастворимой твердой основы (матрицы) и представляет собой небольшие гранулы (около 1 мм в диаметре) от светло-желтого до темно-коричневого цвета. Способен к реакциям ионного обмена благодаря наличию специальных функциональных групп. Гидравлическое сопротивление ниже, чем у Lewatit®S 1667, т.к. доля мелких гранул меньше. Катиониты являются пожаро- и взрывобезопасными продуктами, не оказывают токсического воздействия на организм человека.

В таблице приведены данные для сравнения.

Таблица 1. Технические характеристики КУ-2-8 и Lewatit®S 1667

Показатель	Марка катионитов	
	КУ 2-8	Леватит S-1667 monoplus

Товарная форма	Н	Н
Химическая основа катионита и функциональные группы	Полимеризационный сополимер стирола и дивинилбензола, -SO ₃ H группа -OH	Полимеризационный сополимер стирола и дивинилбензола SO ₃ Na
Осмотр под микроскопом,(%) <ul style="list-style-type: none"> • Целые гранулы • Гранулы с трещинами • Кусочки 	90 8 2	98,6 0,8 0,6
Гранулометрический состав,(%) <ul style="list-style-type: none"> • 0,8-1,25 мм • 0,63-0,8 мм • 0,3-0,63 мм 	10 60 25	0,62 мм не менее 90%
Объемная доля рабочей фракции (0,315-1,25 мм)	99	99
Статическая обменная ёмкость ммоль/см ³	1,7	1,8
Рабочая обменная емкость г-экв/м ³ (интервал в зависимости от схемы катионирования)	520-600	700-950
Химическая стойкость	В растворе аммиака NH ₄ OH, стоек даже при кипячении: H ₂ SO ₄ -5Н, в NH ₄ OH-5Н, в перекиси водорода 10%	В растворе аммиака NH ₄ OH, стоек даже при кипячении: H ₂ SO ₄ -5Н, в NH ₄ OH-5Н, в перекиси водорода 10%
Рекомендуемая максимальная рабочая температура, 0 С	120	120
Рабочая скорость фильтрации, м/ч	5-60	100
Диапазон рН	0-14	0-14

Исходя из данных, приведенных в таблице, видно, что технические характеристики Lewatit®S 1667 лучше, следовательно его применение сократит расходы на себестоимость химочищенной воды. Но эти данные приведены в сопроводительной документации, поэтому следует провести серию сравнительных анализов по определению характеристик ионитов при работе непосредственно на воде Рязанской ГРЭС.

*А.В. Соснина, М. П. Спиридонова, студ;
рук. Е. В. Козюлина, к.т.н., доц., М. Ю. Опарин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПРИМЕНЕНИЕ УСТАНОВОК ОБРАТНОГО ОСМОСА

В настоящее время все чаще встает вопрос о применении высокоэффективных, малоотходных средств подготовки добавочной воды требуемого качества на электростанциях. На сегодняшний день обрат-

ный осмос является самой совершенной технологией очистки воды. Осмотические процессы характеризуются односторонней диффузией растворителя (молекул воды) через полупроницаемую перегородку и возникновением осмотического давления раствора. Определяющим при реализации мембранных методов является разработка и изготовление полупроницаемых мембран. Они характеризуются:

- высокой разделяющей способностью (селективностью);
- высокой удельной производительностью (проницаемостью);
- химической стойкостью к действию компонентов разделяемой системы;
- неизменностью характеристик в процессе эксплуатации;
- достаточной механической прочностью;
- низкой стоимостью.

Принципиальная схема обратноосмотического мембранного элемента приведена на рис. 1.

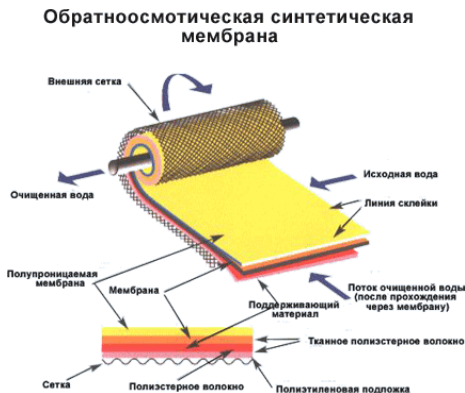


Рис. 1. Обратноосмотический мембранный элемент

Была рассмотрена возможность применения данной технологии для подготовки добавочной воды из р. Северная Двина.

В соответствии с условиями применения обратноосмотических элементов определен качественный и количественный состав оборудования для предварительной обработки воды с целью удаления грубодисперсных, коллоидных примесей и частиц шлама.

С помощью программы ROSA были рассчитаны показатели качества осветленной воды после ее очистки на установке обратного осмоса с применением мембраны BW-30-400 с использованием реагента H_2SO_4 для корректировки pH на входе в обратноосмотическую установку.

На рис. 2 приведен ввод данных о качестве исходной воды в программу и баланс ионного состава.

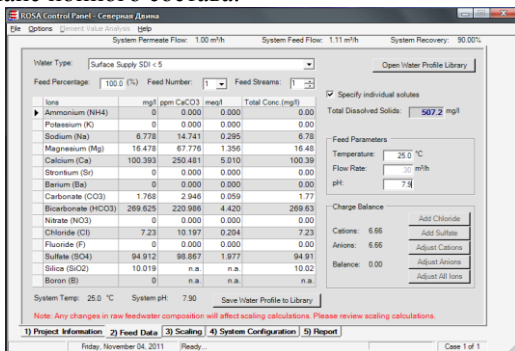


Рис. 2. Ввод данных

На рис. 3 представлен выбор конфигурации обратноосмотической установки, выбор типа мембранных элементов и параметров работы установки в расчете на один обратноосмотический элемент.

Определено количество и размещение обратноосмотических элементов в установке.

Также была рассмотрена возможность обработки воды на обратноосмотической установке без предварительной очистки с использованием различных реагентов (H_2SO_4 , HCl , $NaOH$).

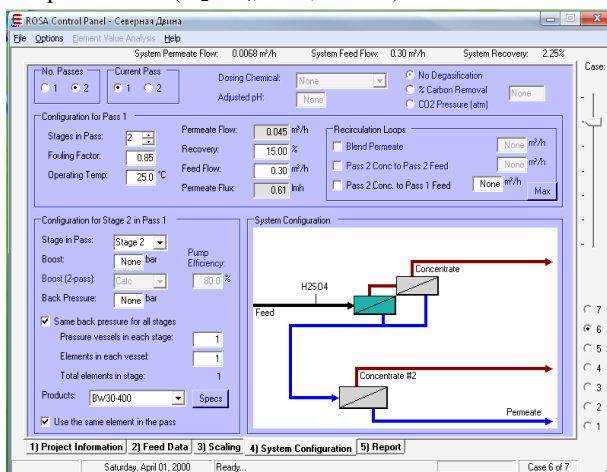


Рис. 3. Выбор конфигурации установки обратного осмоса

По результатам расчетов была установлена зависимость количества необходимого реагента от величины заданного рН на входе воды в установку и от общего расхода исходной воды.

С использованием программы ROSA были установлены следующие зависимости: соледержания, давления, рН, жесткости общей от процентного количества концентрата.

*А.А. Гомырова, студ.; Е.Н. Бушуев д.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ МЕМБРАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ТЭС И АЭС

В последнее десятилетие производится как строительство новых, так широкая реконструкция существующих водоподготовительных установок (ВПУ). Основным методом, используемым в настоящее время для обессоливания на большинстве ТЭС и АЭС, является ионный обмен. К недостаткам этой технологии относятся: значительное количество необходимого водоподготовительного оборудования, высокая потребность в привозной кислоте и щелочи, что приводит к необходимости ведения довольно сложного реагентного хозяйства, системы нейтрализации стоков и к образованию высокоминерализованных сточных вод, сброс которых ограничен. Причем расход реагентов на регенерацию, как правило, в 2–3 раза превышает стехиометрический, соответственно в такое же число раз увеличивается количество сбрасываемых солей. В итоге все это ведет к высоким капитальным и эксплуатационным затратам.

С целью снижения эксплуатационных затрат на водоподготовку, повышения качества обессоленной воды находят применение новые технологии обработки воды на противоточных ионитных фильтрах и установки на базе мембранных методов.

Новые ВПУ основанные на противоточных технология внедрены на Калининская АЭС, Дзержинская ТЭЦ, ТЭЦ-ЭВС-2 ОАО «Северсталь». В настоящее время накоплен первый опыт эксплуатации новых установок частично или полностью укомплектованных импортным оборудованием и фильтрующими материалами, не всегда учитывающих особенности примесей природных вод, иногда упрощенных в целях снижения капитальных затрат [1]. Противоточные технологии обессоливания несколько смягчают основные недостатки традиционного химического обессоливания.

Некоторые новые ВПУ, особенно на вновь строящихся энергоблоков с ПГУ, основаны на применении обратного осмоса для деминера-

лизации воды с использованием в качестве предочистки традиционных технологий (осветлителей). Примерами таковых являются ВПУ ТЭЦ-12 ОАО «Мосэнерго», ТЭЦ ОАО «Северсталь», Уфимская ТЭЦ-1, ОАО «Ивановские ПГУ» (рис. 1). Использование обратного осмоса дает возможность извлекать на одной ступени очистки до 96–98 % солей, что близко к эффективности одной ступени ионного обмена [2].

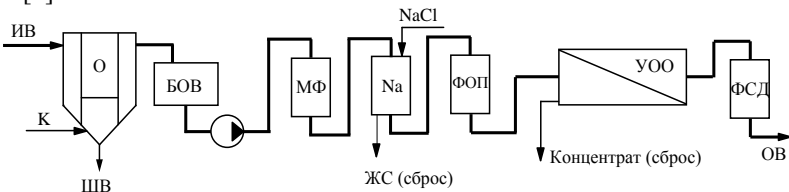


Рис. 1. Схема ВПУ ОАО «Ивановские ПГУ»:

ИВ – исходная вода; О – осветлитель; БОВ – бак осветленной воды; МФ – механический фильтр; Na – Na-катионитный фильтр; ФОП – фильтр-органопоглотитель; К – коагулянт; ШВ – шламовые воды; ЖС – жесткий сток; ОВ – обессоленная вода

Система доочистки ионообменным методом может состоять из ступени ионного обмена с одним катионитным и одним анионитным фильтрами, и (или) из фильтра смешанного действия (ФСД). Поскольку на такую ступень обработки поступает обессоленная вода, фильтрочикл фильтров значителен и достигает десятков и даже сотен тысяч кубических метров.

Сравнение экономической эффективности обессоливания воды ионным обменом и обратным осмосом показало [2], что при солесодержании более 150–300 мг/л обратный осмос экономичнее даже противоточного ионного обмена. Однако опыт показывает, что в таких схемах качество исходной воды УОО часто не отвечает требованиям по содержанию железа и окисляемости [1]. Решением этого может быть достигнуто применением ультрафильтрации на стадии предочистки.

Ультрафильтрация позволяет не только получать воду, практически свободную от механических примесей, но и совместно с коагуляцией удалять значительное количество органики (до 60 % от исходного количества), а также коллоидную кремниевую кислоту.

Совместное использование ультрафильтрации и обратного осмоса дает возможность создать малореагентную систему водоподготовки для получения фильтрата с удельной электропроводностью на уровне 1–5 мкСм/см. В таких схемах дальнейшее доведение качества воды до нормативных значений производится ионообменным (рис. 2) или электроионитным [3] (рис. 3) методами.

Надежность комбинированной мембранно-ионообменная установки (рис. 2) большая, поскольку даже при возможных нарушениях ра-

боты системы обратного осмоса, узел доочистки обеспечит заданное качество воды. Вместе с тем, сохраняется необходимость в использовании кислоты и щелочи, поэтому данная технология, хоть и в меньшей степени, имеет те же недостатки, что и традиционная. Такая технология применяется на Новочеркасской ГРЭС, Заинской ГРЭС, Орловской ТЭЦ и т.д.

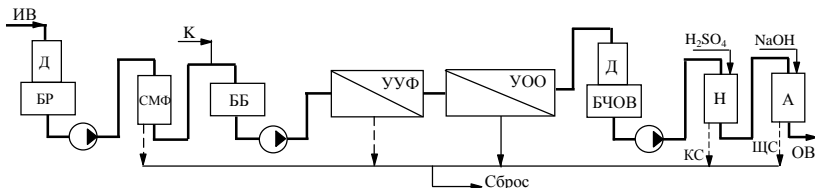


Рис. 2. Схема комбинированной установки для подготовки глубоко обессоленной воды с применением ионообменной доочистки:

Д – декарбонизатор; БР – емкость разрыва струи; СМФ – самопромывные механические фильтры; ББ – буферная емкость; УУФ – узел ультрафильтрации; БЧОВ – бак частично обессоленной воды; КС, ЩС – кислые и щелочные стоки

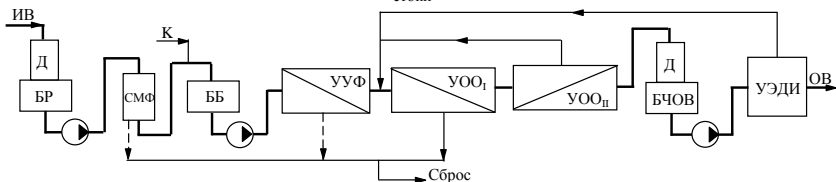


Рис. 3. Схема комплексной установки для подготовки глубоко обессоленной воды с применением доочистки электродеионизацией:

УЭДИ – узел доочистки электродеионизацией

Основным недостатком всех мембранных систем является достаточно низкий коэффициент использования исходной воды. Если в традиционной ионообменной схеме с коагуляцией и механической фильтрацией на выходе достигается производительность 85–90 % от расхода исходной воды, то для типичного сочетания ультрафильтрации и обратного осмоса этот показатель не превышает 50–60 %. Однако следует учитывать, что концентраты от установок ультрафильтрации и обратного осмоса по солесодержанию часто находятся в пределах нормируемых значений и могут быть беспрепятственно сброшены.

Комбинированные мембранно-ионообменные схемы, имеющие высокую степень экономической эффективности и надежности, являются оптимальным и рекомендуемым методом при реконструкции существующих ВПУ, где уже имеются ионообменные фильтры, реагентное хозяйство и системы сбора и нейтрализации стоков. Количество концентрированных сточных вод и расход реагентов в этом случае в десятки раз меньше, чем при чисто ионообменной схеме. Полученные

регенераты могут быть разбавлены до допустимых норм концентратом мембранных установок.

С точки зрения обеспечения минимального расхода реагентов и наивысшей экологичности при высоком качестве обессоленной воды наибольшую эффективность имеют комплексные ВПУ, состоящие исключительно из мембранных модулей различного назначения: ультра- и нанофильтрации, обратного осмоса, мембранной дегазации и электродеионизации, называемых в целом — интегрированные мембранные технологии (ИМТ) [3].

В комплексной мембранной установке (рис. 3) вода доочищается на узле электродеионизации. Электродеионизация (ЭДИ, EDI) — это процесс непрерывного обессоливания воды с использованием ионообменных смол, ионоселективных мембран и постоянного электрического поля [3]. Модуль электродеионизации содержит два электрода, пространство между которыми заполнено тонкими слоями ионообменных смол, разделенных ионоселективными мембранами. Такие мембраны представляют собой тонкоизмельченный катионит или анионит, спеченный с полиэтиленом в тонкую пленку.

При степени использования исходной воды 90–95 % очищенная вода имеет удельную электропроводность на уровне 0,07 мкСм/см, а также минимальные содержания соединений кремния и общего органического углерода. При этом солесодержание концентрата обычно ниже, чем солесодержание воды, подаваемой на установку обратного осмоса, поэтому он весь возвращается на вход этой установки на повторное использование (рис. 3).

Для повышения надежности работы комплексных мембранных систем водоподготовки на базе ИМТ требуется использование на стадии предварительного обессоливания двухступенчатого обратного осмоса.

Комплексная мембранная установка для подготовки глубоко обессоленной воды, выполненная в соответствии с данной схемой, обеспечивает минимальный объем отходов. Отпадает необходимость в кислотно-щелочном хозяйстве, снижаются эксплуатационные расходы и резко улучшаются экологические параметры. Стоимость установки электродеионизации меньше, чем ионообменной, а при учете цены кислотно-реагентного хозяйства — существенно меньше.

Такие установки наиболее целесообразны для вновь строящихся ТЭС. Особенно это актуально для труднодоступных районов, куда затруднен подвоз реагентов. Комплексная мембранная установка успешно эксплуатируется на Первомайской ТЭЦ-14 [3].

Библиографический список

1. Ларин Б.М. Опыт освоения новых технологий обработки воды на ТЭС / Б.М. Ларин, А.Н. Коротков, М.Ю. Опарин и др. // Теплоэнергетика. 2010. №8. С. 8–13.
2. Громов С.Л. Критические параметры обратного осмоса и противоточного ионного обмена // Энергосбережение и водоподготовка. 2004. №5. С. 13–14.

3. Жадан А.В., Бушуев Е.Н., Ларин А.Б. Опыт освоения новых технологий обработки воды на ТЭС // Материалы V Всерос. науч.-практ. конф. «Повышение эффективности энергетического оборудования». –Иваново: ГОУ ВПО «ИГЭУ», 2011. –С. 298–303.

*Е.С. Новикова, студ.; рук. Н.А.Ерёмина, к. т. н., доц.
(ИГЭУ, г.Иваново)*

КОНСЕРВАЦИЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ДЛИТЕЛЬНЫЙ СРОК

Ярославская ТЭЦ №1, как и большинство теплоэлектроцентралей страны является станцией с поперечными связями и без промежуточного перегрева пара. На данный момент электрическая мощность станции составляет 131 МВт, тепловая – 400 Гкал/час.

На ЯрТЭЦ-1 в котельном цехе установлено семь котлов трех типов: стационарные котлы №№ 6, 7, 8 – тип Е – 200 – 9,8 - 510 ГМВ; №№ 9, 12 – тип Е – 240 – 9,8 - 540 ГМВ; №№ 10, 11 – тип Е – 150 – 9,8 - 540 ГМВ. Все котлы имеют П-образную компоновку.

С сентября 2007 года на ЯрТЭЦ-1 стал актуальным вопрос о выводе котла №8 в резерв на длительный срок. Это связано с тем, что станция способна вырабатывать электрическую мощность в 131 МВт, не задействуя все оборудование.

Согласно ПТЭ [1] теплоэнергетическое оборудование ТЭС, которое выводится в резерв или ремонт в обязательном порядке должно быть законсервировано с целью защиты от атмосферной коррозии. Надежная защита от стояночной коррозии обеспечивает сохранность оборудования, сокращает затраты на ремонт и восстановление, поддержание технико-экономических показателей работы оборудования и сокращение издержек производства, поэтому вопрос надежной консервации принимает особую актуальность.

Применяемые в настоящее время на электростанциях технологии консервации барабанных и водогрейных котлов, предусмотренные действующими руководящими документами, в основном, включают в себя:

1. Обработку плёнкообразующими аминами, например, ОДА (октадециламином);
2. Сухой останков;
3. Поддержание избыточного давления при протоке воды;
4. Трилонную обработку.

Метод консервации плёнкообразующими аминами используется для защиты металла внутренних поверхностей котлов от стояночной коррозии при останове котла в длительный резерв или выводе ремонт на срок до одного года. Плёнкообразующие амины обладают способностью образовывать на поверхности металла молекулярную плёнку, защищающую металл от воздействия кислорода и углекислоты. Общая химическая формула плёнкообразующих аминов $C_nH_{2n+1}NH_2$, одним из представителей этого класса соединений является октадециламин $C_{18}H_{37}NH_2$.

Во время простоя оборудования после консервации амины продолжают разрыхлять и расклинивать слой отложений на теплообменных поверхностях. Учитывая данное обстоятельство, при пуске котла возможно интенсивное отслаивание отложений. Поэтому перед пуском котла в работу целесообразно провести его водную промывку до чистой воды из продувочных точек. Критерием эффективности работ считается наличие адсорбированного слоя реагента на поверхностях металла с содержанием не менее $0,3 \text{ мг/см}^2$, при этом наличие несмачиваемых водой поверхностей свидетельствует о надежной защите.

У данного метода существует ряд недостатков:

1. Октадециламин опасен при попадании в дыхательные пути или при адсорбции через кожные покровы, крайне опасен при контакте со слизистыми покровами, может вызвать ожоги.
2. Не растворяется в сточных водах, не является биоразлагаемым веществом.
3. Негативно воздействует на фильтрующий материал.

Консервация по схеме «Сухой останков» («СО») проводится при плановом останове котла в резерв, или ремонт на срок до 30 суток, а также при аварийном останове со сбросом воды из котла. Для котлов, имеющих вальцовочные соединения, категорически запрещается консервация по методу «СО», так

как из остановленного котла при наличии в нём вальцовочных соединений спуск воды разрешён только после снижения её до 80°C. В период консервации после полного остывания осуществляют периодический контроль за попаданием воды или пара в котел путем прощупывания участков возможного попадания их в районе запорной арматуры, кратковременного открытия дренажей нижних точек коллекторов и трубопроводов, вентилей пробоотборных точек.

Консервация по методу «Избыточное давление» («ИД») может проводиться при плановом останове котла в резерв, или ремонт на срок до 10 суток, а для котлов с вальцовочными соединениями труб с барабаном допускается применение способа «ИД» на срок до 30 суток. Поддержание в котле давления выше атмосферного предотвращает доступ в него кислорода из воздуха. Избыточное давление поддерживается в котле деаэрированной (питательной) водой. По окончании срока консервации через 10 суток, котёл включают в работу или переконсервируют.

Консервация по методу «Трилонная обработка» («ТО») может проводиться на котлах при плановом останове котла в резерв до 60 суток, или ремонт на срок до 6 месяцев с проведением «ТО» после ремонта. Пассивация поверхностей нагрева раствором трилона Б основана на термическом разложении предварительно образованных комплексонов железа. На первом этапе обработки при температуре среды около 150°C происходит подготовка поверхностей нагрева экономайзеров и экранов к созданию на них защитной плёнки за счёт комплексования железа из отложений и перевода их в раствор. На втором этапе при температуре среды более 250°C происходит термолиз части комплексонов железа с образованием защитной плёнки на поверхности металла.

В процессе разложения комплексонов железа выделяются газообразные продукты, в том числе водород и аммиак, которые удаляются с паром и пассивируют пароперегреватель. Для снижения перекосов температуры металла, уменьшения времени консервации, закачка раствора трилона Б в котёл и заполнение котла до растопочного уровня проводится непосредственно пе-

ред закладкой огня в топку. Котёл по возможности не расхоложивают. Обработка трилоном Б применима для всех типов барабанных котлов давлением выше 3,9 МПа независимо от режимов коррекционной обработки питательной воды (гидразино-аммиачной или аммиачной) и котловой воды (фосфатной или комплексонной). По окончании срока консервации, котёл включают в работу или проводят повторную консервацию.

Указанные технологии консервации (за исключением консервации пленкообразующими аминами) не эффективны при длительных простоях, т.к. рассчитаны на ограниченный срок останова котлоагрегата, что может привести к дополнительной переконсервации теплоэнергетического оборудования. Это связано с дополнительным расходом реагентов и трудозатрат, необходимостью предварительной очистки защищаемых поверхностей от отложений и продуктов коррозии, которые в свою очередь требуют проведения специальных мероприятий по обеспечению экологической безопасности.

В связи с этим на ЯрТЭЦ-1, несмотря на некоторые недостатки метода, предпочтение отдают консервации плёнкообразующими аминами, в частности, ОДА (октадециламином), потому что:

1. Она является экологически чистой и доступной;
2. Позволяет обеспечить надёжную защиту (коэффициент защиты 80-90%) металлов от коррозионного разрушения при одновременном разрыхлении твёрдых отложений (оксидов металлов, солей, других вредных соединений и элементов);
3. Позволяет выводить теплоэнергетическое оборудование на длительный простой;
4. Отсутствует необходимость расконсервации оборудования перед его пуском.

Библиографический список

1. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей. РД 34.20.501-95, утверждены РАО «ЕЭС России» 24.08.95, Фирма «ОРГРЭС», 1996.

***М.П.Савинов, студ.; рук. А.Б. Ларин к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)***
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОБРАБОТКИ

И АВТОМАТИЧЕСКОГО ХИМКОНТРОЛЯ ВОДНОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ II КОНТУРА АЭС С ВВЭР

Водно-химический режим второго контура должен обеспечивать:

1. Минимальное количество отложений на теплообменной поверхности парогенераторов, в проточной части турбины и в конденсатно питательном тракте;

2. Предотвращение коррозионных и коррозионно-эрозионных повреждений конструкционных материалов парогенераторов, оборудования и трубопроводов второго контура;

3. Для второго контура предусматривается поддержание ВХР с коррекционной обработкой рабочей среды. В данной работе выполнен анализ эксплуатационных значений показателей качества питательной и продувочной воды ПГ в период дозирования этаноламина. Особое внимание уделено концентрациям продуктов коррозии (железа и меди) в питательной воде ПГ, сравнению их с концентрациями при штатном ГАР второго контура и с ожидаемыми расчетными значениями.

Целью использование этаноламина в качестве корректирующего реагента для поддержания рН рабочей среды второго контура является минимизация скорости коррозионно-эрозионного износа оборудования второго контура и уменьшение выноса продуктов коррозии конструкционных материалов в парогенераторы.

Сообщения о нарушениях ВХР фиксируется, и их расследование производится в порядке, установленном для расследования нарушений в работе АЭС.

Система контроля и управления (СКУ) ВХР второго контура предназначена для оперативного контроля показателей качества рабочей среды энергоблока с реактором ВВЭР-1000.

Объем ХК должен быть разработан на стадии технического проектирования СКУ ВХР второго контура на основе объемов ХК, предусмотренных для РУ В-320/В-392.

Откуда следует, что основными автоматически измеряемыми показателями качества водного теплоносителя являются измерения электропроводности (χ , χ_H) и рН, а в объем лабораторного химконтроля питательной и продувочной воды парогенераторов входят: аммиак, натрий, сульфаты, хлориды.

В данной работе использован метод косвенного определения концентраций ионогенных (нормируемых и диагностических) показателей качества воды, разработанный в ИГЭУ. Метод может использоваться как для питательной, так и продувочной воды парогенераторов.

В качестве основы для косвенного определения нормируемых и диагностических показателей в водах типа конденсата выбрана измерительная система наиболее надежных измерений: удельной электропроводности прямой и Н-катионированной проб, а также показателя рН, определяемых практически одновременно из одной пробы охлажденного теплоносителя. Аналогичный подход принят за рубежом в производстве измерительных систем АХК нового поколения и реализован, в частности, в дифференциальном измерителе “FAM Deltacon рН” фирмы SWAN, Швейцария.

Одной из ключевых задач в организации АХК второго контура АЭС с ВВЭР является разработка систем контроля качества продувочной воды парогенераторов и качества очищенной на установке СВО-5 этой продувочной воды.

Проверка разработанной методики косвенного определения концентраций примесей по измерению χ и рН проводилась на действующей установке очистки продувочной воды парогенераторов (СВО-5) энергоблока АЭС с реакторами ВВЭР-1000.

Анализ полученных результатов осуществляется сравнением расчетных данных с аналитическими измерениями концентраций примесей, проводимыми как в моменты приборных измерений, так и в течение длительного периода эксплуатации СВО-5. Наряду с ионами натрия с концентрацией 100-300 мкг/кг в поступающей воде на СВО-5 определены катионы жесткости концентрацией 0-40 мкг/кг, что по верхнему пределу примерно вдвое превышает концентрацию ионов натрия. Усредненное значение гидрокарбонатов или щелочности в расчете на HCO_3^- составило около 20 мкг-экв/кг.

По усредненным опытным данным суммарная концентрация анионов сильных кислот составляла около 10 мкг/кг, т.е. в пересчете на концентрацию анионов хлора – 355 мкг/кг. В обработанной (обессоленной) воде концентрация хлоридов определяется на уровне 10-20 мкг/кг. Разовый анализ, проведенный ВНИИАЭС, дал следующие результаты: $[Cl^-] = 7.5$ мкг/кг и $[SO_4^{2-}] = 25.6$ мкг/кг для рабочего режима эксплуатации фильтров.

Таким образом, представленные расчетные данные в целом согласуются с усредненными и отдельными опытными данными химанализа примесей поступающей и обработанной воды на СВО-5. Это дает основание считать возможным применение разработанного метода для автоматического химконтроля качества поступающей и обработанной на СВО-5 воды.

*Р.О. Шатских, студ.; рук. Б.М. Ларин д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ УЧЕБНЫЙ КОМПЛЕКС
«ВОДНО-ХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ
I КОНТУРА АЭС С ВВЭР»**

В ИГЭУ смонтирован и введен в эксплуатацию полномасштабный тренажер блочного щита управления энергоблока АЭС с ВВЭР-1000. В рамках освоения тренажера авторским коллективом разработаны комплексные программы по обучению студентов ведению водно-химического режима 1 и 2 контура АЭС.

В объем АОС по поддержанию ВХР 1 и 2 контуров входят следующие разделы: разработка гипертекстового учебника (собственно АОС) с тестирующей частью и разработка лабораторных работ, позволяющая изучить процессы, происходящие в 1 и 2 контурах при различных условиях их работы.

АОС-1 состоит из двух частей: информационной и тестирующей. Информационная часть включает 3 раздела: характеристика и назначение ВХР-1, узлы дозирования реагентов, установки спецводоочистки. Тестирующая часть АОС-1 предназначена для контроля степени усвоения знаний студентом.

АОС-2 так же состоит из двух частей: информационной и тестирующей. Информационная часть включает 5 разделов: характеристика и назначение ВХР-2, узлы дозирования реагентов, установки спецводоочистки, установки деаэрации, БОУ.

В первом разделе рассматривается ВХР-2, его назначение, описание, так же рассматривается оборудование второго контура и его взаимосвязь с ВХР-2.

Второй раздел посвящен вопросам, касающимся приготовления и дозирования реагентов во 2 контур для поддержания ВХР-2. Рассматривается приготовление растворов регенерации, а так же оборудование для нейтрализации стоков.

В третьем разделе рассматривается установка очистки продувочной воды парогенератора СВО-5.

В четвертом разделе рассматривается оборудование деаэрации, описаны основные процессы, происходящие в деаэраторе.

В пятом разделе рассматривается блочная обессоливающая установка (БОУ), показана ее взаимосвязь с ВХР-2, рассмотрено основное оборудование.

Тестирующая часть АОС-2 предназначена для контроля степени усвоения знаний студентом. По окончании изучения студентом материала, ему предлагается тест, который содержит некоторое количество вопросов различных видов.

В лабораторных работах рассматриваются действия химического цеха при различных состояниях реактора. При этом затрагиваются именно водно-химические составляющие этого процесса. Лабораторные работы состоят из трех частей: теоретической, информационной и практической.

Теоретическая часть позволяет ознакомиться с основными моментами и особенностями работы. В ней содержатся теоретические знания, необходимые для успешного понимания выполняемой работы. В информационную часть входят вспомогательные материалы, которые могут пригодиться студенту при выполнении лабораторной работы. Практическая часть – это собственно лабораторная работа. Представлена схема со всеми нужными для проведения пуска объектами.

В настоящее время разработаны АОС по поддержанию ВХР 1 и 2 контуров, а так же лабораторные работы по управлению установками СВО-2 и СВО-1. Дальнейший этап развития будет создание лабораторных работ по поддержанию ВХР-2.

Программа создана для глубокого изучения студентами методов и средств ведения водно-химического режима 1 и 2 контура АЭС с ВВЭР.

Библиографический список

1. В.Н. Воронов, Б.М.Ларин, В.А. Сенина, Химико-технологические режимы АЭС с ВВЭР. М. Изд. Дом МЭИ, 2006.

Ю.А. Вацуро, К.В. Михайлова студ, рук. к.т.н., доц. Е.В. Козюлина (ИГЭУ г. Иваново)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТОПЛИВНЫХ ПЕЛЛЕТ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ

Как известно, потребность в энергии, обусловленная увеличением численности населения и развитием экономики, определяет процесс ее производства, а значит и дальнейший ход развития современной энергетики. Увеличение выработки электроэнергии и теплотенергии влечет к повышению количества потребленного топлива, которое относится к категории возобновляемого лишь условно. Ежегодно сжигается столько горючих ископаемых, сколько природа скапливала за миллионы лет. По одному из прогно-

зов, если сохранятся такие темпы роста использования ископаемого топлива, то запасов нефти хватит примерно на 30—40 лет, газа – 40—45 лет, угля – 70—80 лет.

Важным критерием в выборе источника тепла является экологический фактор. На сегодняшний день использование большинства видов топлива увеличивает выброс частиц золы, а так же кислотных и парниковых газов в атмосферу.

Мероприятия по сокращению выбросов загрязняющих веществ сводятся либо к приобретению улавливающего оборудования, требующего больших капиталовложений, либо к поиску альтернативных нетрадиционных источников энергии. К ним можно отнести: энергию ветра, энергию солнца, энергию приливов и отливов. Но такие источники энергии применимы не во всех случаях, а их использование вызывает ряд трудностей.

Одним из безопасных способов получения тепла является использование пеллет. Они представляют собой измельченную, высушенную древесину, спрессованную без добавок в цилиндрические гранулы диаметром 4-10 мм и длиной до 50 мм; имеют низкую влажность и высокую плотность, что дает возможность относительно компактного хранения: объём, занимаемый одной тонной пеллет, составляет 90х90х180см ($V=1,458$ куб.м.). Кроме того, топливные гранулы менее подвержены самовоспламенению, что облегчает их складирование и хранение. Пеллеты, обладая большей теплотворной способностью, находят замену щепе, стружке и другим отходам промышленных предприятий и сельского хозяйства. Исходя из полезного тепловыделения, конкуренцию им может составить электроэнергия, газовое топливо и продукты перегонки нефти (дизельное топливо, мазут). На рис. 1 показана выработка КПД котлов, работающих на различных видах топлива.

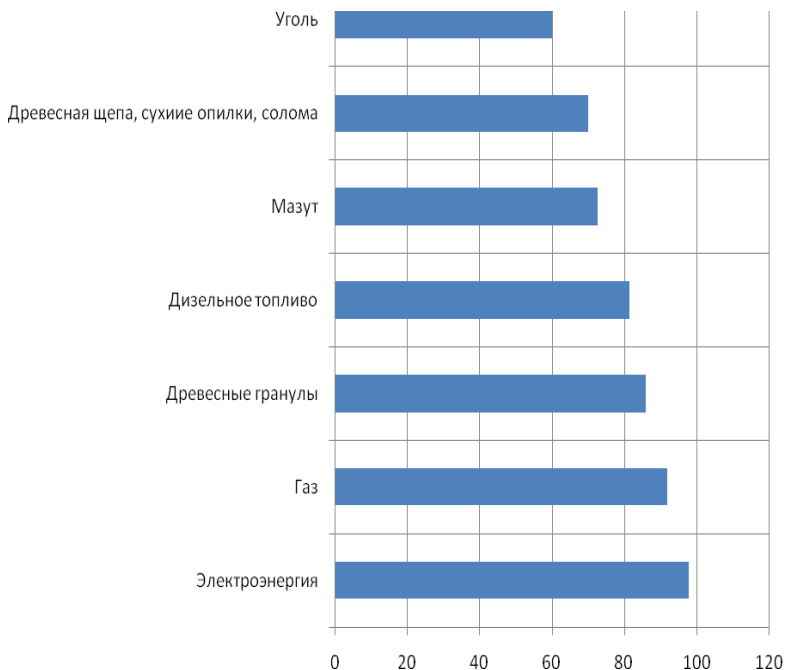


Рис. 1 Выработка КПД при использовании различного вида сырья (%)

Из рис. 1 видно, что самым высокоэффективным является получение тепла с помощью электроэнергии и газа. Электроэнергия имеет высокую стоимость. Использование газа так же связано с рядом неудобств, а именно: транспортировка, хранение, подвод к дому и т.д. Наиболее приемлемым вариантом являются древесные гранулы (топливные пеллеты). Они имеют сравнительно небольшую стоимость, достаточно высокий кпд (выше, чем при работе на других твердых топливах) и легкость в использовании.

На рис.2 представлена стоимость выработки тепловой энергии для каждого вида топлива. Наиболее выгодна электроэнергия. Наименьшей стоимостью обладает тепловая энергия, полученная при сжигании древесных щепы, сухих опилок и соломы. Древесные гранулы стоят в этом списке на третьем месте, уступая природному газу.

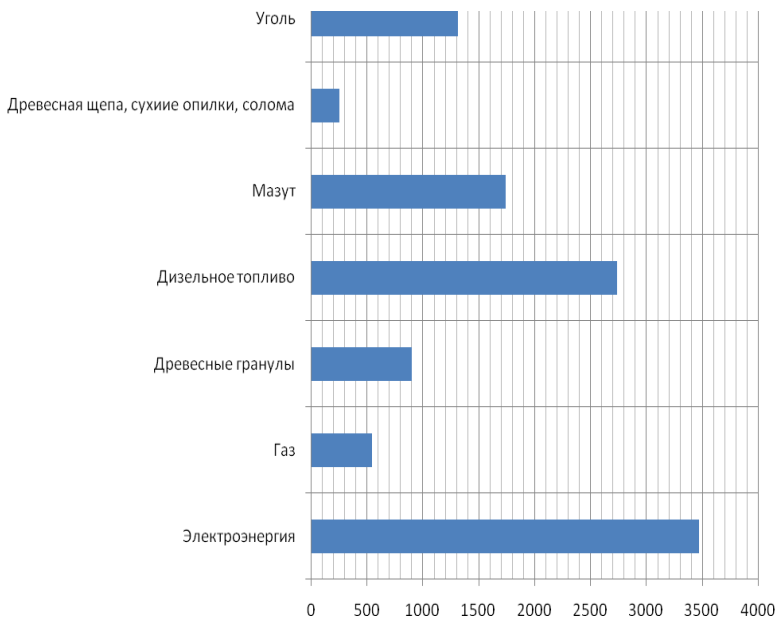


Рис.2 Стоимость выработки тепла для различных видов сырья (руб./Гкал)

Так как, цена на газ с каждым годом увеличивается, а его расход с внедрением энергосберегающих технологий уменьшается незначительно, в то время как расход щепы и сухих опилок велик на 1 Гкал тепла, то древесные гранулы оказываются наиболее выгодным топливом. Себестоимость выработки 1 Гкал тепла зависит от стоимости топлива, которая, в свою очередь, складывается из затрат на добычу, транспортировку, топливо приготовление, складирование и т.д. При этом стоимость щепы и опилок отличается от стоимости древесных пеллет лишь схемой приготовления топлива: у первых она более проста.

Одним из важных показателей, используемых в энергетике, является плавкость золы, оказывающая существенное влияние на горение и работу топки. Это свойство золы подвергается деформации и разжижению при нагревании до установленной температуры. Известно, что зола образует на поверхностях нагрева отложения, ухудшающие процесс теплопередачи. В результате повышается температура уходящих газов, что приводит к увеличению потерь, а значит и снижению КПД.

Минеральные вещества, главным образом калий, которые растения получают из почвы, имеют относительно низкую температуру плавления, поэтому уже при 800°C происходит размягчение, а затем и спекание шлака, который покрывает поверхность топки, нарушая ее нормальную работу и выводя котельное оборудование из строя.

В результате проведенных лабораторных анализов топливных пеллет, изготовленных из различного органического сырья: солома, сено, пшеница, было

установлено, что наибольшая температура начала деформации золы у пеллет, изготовленных из сена ($t_1=950^{\circ}\text{C}$); наименьшая – у соломы ($t_1=700^{\circ}\text{C}$). Для сравнения: каменный уголь – $t_1=1100^{\circ}\text{C}$, бурый уголь – $t_1=1200^{\circ}\text{C}$. Установлено, что в травянистых растениях золы больше, чем в древесных. Причем чем они моложе, тем богаче золой. Зольность древесины, как правило, составляет 0.5-1.5%, и начало плавления этой золы превышает 1500°C . Поэтому температуру в зоне горения можно поддерживать на достаточно высоком уровне без опасения расплавления золы и шлакования элементов топki.

Таким образом, исследования показали, что пеллеты являются перспективными для применения в малой энергетике, т.е. для ТЭЦ малой мощности, котельных, а так же для отопления зданий, теплиц. Они имеют относительно невысокую стоимость, не вызывают особых сложностей при использовании и складировании, не наносят существенный ущерб окружающей среде.

*Е.В. Чиждова, студ., рук. Е.В. Козюлина к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

О ВОЗМОЖНОСТИ ПЕРЕВОДА КОТЛОВ СО СЖИГАНИЯ ГАЗОВОГО ТОПЛИВА НА СЖИГАНИЕ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА

Главной проблемой в энергетике является использование природного газа как основного топлива для работы электростанции. Но большие запасы газа - еще не гарантия возможности его безграничного использования. Тенденция очевидна, т.к. потребление энергии будет расти, а газа же не хватает. В настоящее время в связи с ростом поставок газа за рубеж и повышением его цены следует рассмотреть вопрос о возврате к сжиганию угля. Не малая часть ТЭС нашей страны работает на твердом топливе. Его запасы очень велики в России, и по сравнению с газом, твердое топливо является дешевым и доступным. Геологические ресурсы угля оцениваются в 4450 миллиардов тонн. Немаловажным является и тот факт, что угольные поставки независимы от трубопроводных сетей и могут оперативно осуществляться в любую точку страны. Таким образом, у нас есть возможность использования огромных и доступных запасов угля, освоение которых практически не имеет ограничений при использовании современных технологий. Уголь сможет обеспечивать потребности нашей планеты энергии тогда, когда запасы нефти и газа будут уже иссякать. В этой ситуации уголь стано-

вится самым надежным энергоносителем, равно как и надежным в долгосрочном плане. Уголь удобнее и безопаснее при транспортировке, хранении, сжигании на станциях. Угольная промышленность страны сегодня-один из самых динамично развивающихся секторов экономики, и ресурсы развития у нее огромны. В целом же, российские угледобывающие компании к 2015 году способны увеличить добычу угля до 400-450 миллионов тонн. Причем инвестиции в увеличении угледобычи и в освоении новых угольных месторождений в пять - шесть меньше капиталовложений, необходимых для аналогичного роста добычи газа.

На Ярославской ТЭЦ-1 установлены 3 типа котлов: Е-200-9,8-510-ГМВ; Е-240-9,8-540-ГМВ; Е-150-9,8-540-ГМВ и 6 типов турбин: Т-25-29; ПТ-25-90/10, ПТ-25-90/10, Р-25-90/31, Р-6-90/31, ПТ-25/30-8,8/1,1-1. В настоящее время станция работает на природном газе, предлагается перевести котлы с природного газа на твердое топливо. Для этого необходима реконструкция котельных установок и замена схем топливоприготовления и топливоподачи. Чтобы сравнить два вида можно привести их характеристики (табл.1, 2).

Таблица 1. Характеристика природного газа

№	Наименование	Обозначение	размерность	значение
1	Низшая теплотворная способность	$Q_{н,р}$	Ккал/м ³	8550
2	Плотность природного газа	ρ_r	Кг/м ³	0,73
3	Плотность воздуха	$\rho_{в}$	Кг/м ³	1,293
4	Температура воспламенения	t	°С	645 - 700
5	Концентрационные границы воспламенения		%	01.05.15

Сравнивая теплоту сгорания видно, что у газа она выше, но это не самый главный показатель на который нужно опираться. В России строительство угольной станции оценивается в 1100-1400 долларов за один киловатт установленной мощности. В связи со строительством новых станций, работающих на угле необходимо реконструирование оборудования таких как: топливоподачи, система пылеприготовления, золошлакоудаление.

Таблица 2. Характеристика кузнецкого угля

№	Наименование	Обозначение	Размерность	Значение
1	Углерод	C ^P	%	66
2	Сера	S ^P	%	0,5
3	Водород	H ^P	%	4,7
4	Кислород	O ^P	%	7,5
5	Азот	N ^P	%	1,8
6	Влажность	W ^P	%	8,5
7	Зольность	A ^P	%	11
8	Низшая теплотворная способность	Q ^P _н	Ккал/кг	5430
9	Выход летучих на горючую массу	V ^r	%	42
10	Коэффициент размолоспособности	-	-	1,1 - 1,5
11	Характеристика нелетучего остатка	-	-	От порошкообразного до слабоспекшегося
12	Температура плавкости золы	T ₁ T ₂ T ₃	°C °C °C	1030-1260 1050-1300 1100-1400

Система пылеприготовления предназначена для регулируемой транспортировки твердого топлива и его подготовки к сжиганию в топке котла. Каждый котел должен быть оборудован тремя индивидуальными пылесистемами. В комплект системы пылеприготовления входит следующее оборудование: бункер сырого топлива, питатель сырого топлива, течка от ПТС к МВС, мельница МВС, сепаратор ЦКТИ.

Золошлакоудаление предотвращает загрязнение окружающей атмосферы и значительного уменьшения истирания рабочих колес дымососов золой, уносимой из топок котлов с уходящими газами. Все котлы должны быть оборудованы золошлакоудалением.

Таким образом, рассмотрена возможность замены природного газа на твердое топливо. Для этого необходимо провести реконструкцию котельных установок, а так же оценить экономическую эффективность предложенной реконструкции.

*Е.В. Сюткина, асп.; рук. Е.Н. Бушуев, д.т.н., доц.
(ИГЭУ, з. Иваново)*

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СОРБЦИИ ИОНОВ В СЛОЕ ИОНИТА

В состав математической модели описывающей процессы сорбции ионов в слое ионита, в условиях ионирования природной воды на ТЭС, входят следующие закономерности [1, 2].

Уравнение материального баланса веществ в элементарном слое

$$-v \frac{\partial C}{\partial x} = \frac{\partial C_0}{\partial t} + \varepsilon \frac{\partial C}{\partial t}, \quad (1)$$

где v – скорость потока; C – концентрация в растворе; x – длина; ε – доля свободного объема в слое ионита; t – время.

Уравнение кинетики процесса, связывающее величины C и C_0 :

$$\frac{\partial C_0}{\partial t} = \beta(C - C^*), \quad (2)$$

где β – коэффициент внешней диффузии; C^* – равновесная концентрация иона в растворе.

Уравнение статики процесса

$$a_i = \varphi(C^*_1, \dots, C^*_n), \quad (3)$$

где a_i – концентрация в ионите.

Уравнение изотермы (3) отражает связь между равновесными концентрациями в твердой и жидкой фазах и выражается законом действующих масс при катионном обмене в присутствии анионов сильных кислот, а также учитывает диссоциацию слабых электролитов в растворе при катионном и анионном обмене.

Уравнение внешней диффузии

$$\frac{\partial a}{\partial t} = \beta(C - C^*). \quad (4)$$

Уравнение внутренней диффузии

$$\frac{\partial(a \cdot r)}{\partial t} = D \frac{\partial^2}{\partial r^2}(a \cdot r), \quad (5)$$

где r – радиус зерна ионита; D – коэффициент внутренней диффузии.

При решении системы уравнений (1)–(5) может быть использован конечно-разностный метод [1].

Специфика каждой стадии процесса работы слоя ионита отражается видом уравнения кинетики, а также начальными и граничными условиями.

Принимаемые начальные и граничные условия:

а) при очистке воды на свежерегенерированном ионите в однородной форме:

$$C_i(0, x) = 0; \quad a_i(0, x) = 0; \quad C_i(t, 0) = C_{0i}.$$

Кинетика внешнедиффузионная;

б) при очистке воды на частично регенерированном ионите:

$C_i(0, x) = C_{0i}(x); \quad a_i(0, x) = a_{0i}(x); \quad C_i(t, 0) = C_{0i}.$
 в) при взрывлении, описывается уравнением кинетики

$$\frac{\partial a_i}{\partial t} = D_m \frac{\partial^2 a_i}{\partial x^2}, \quad (6)$$

где t – время перемешивания ионита; D_m – коэффициент перемешивания;

г) при пропуске регенерационного раствора

$$C_i(0, x) = C_{0i}(x); \quad a_i(0, x) = a_{0i}(x); \quad C_i(t, 0) = C_{01}.$$

Кинетика внутридиффузионная с влиянием продольного переноса;

д) при отмывке слоя ионита от продуктов регенерации

$$C_i(0, x) = C_{0i}(x); \quad a_i(0, x) = a_{0i}(x); \quad C_i(t, 0) = 0;$$

$$C_i(t, 0) = C_{0i}; \quad i = 2, \dots, n.$$

Смешение жидкостей разной плотности в надслоевом пространстве рассчитывали по уравнению (5), записанному для раствора.

При расчетах необходимы величины параметров математических моделей (константы обмена, кинетические и гидродинамические коэффициенты), а также информация о составе воды, поступающей на ионообменную очистку, производительности установки и требуемом качестве очищенной воды.

Представленная математическая модель отдельных стадий эксплуатации ионитного фильтра позволяет рассчитывать каждую отдельную стадию процесса, а также последовательность стадий, как в отдельном фильтре, так и в технологических схемах. Разработанный подход позволяет осуществлять имитационное моделирование сложных технологических схем, заключающееся в замене исследуемого процесса адекватной математической моделью, что особенно актуально при технологических расчетах современных противоточных технологий ионирования.

Библиографический список

1. **Основы** расчета и оптимизации ионообменных процессов / М.М. Сенявин [и др]. –М.: Наука, 1972. –172 с.
2. **Обработка** воды на ТЭС и АЭС / Б.М. Ларин [и др.] // ГОУВПО «ИГЭУ». –Иваново, 2010. –348 с.

Белков А.А. студ., А.В. Колегов, асп.; рук. А.Б. Ларин, к.т.н.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВХР БАРАБАННЫХ КОТЛОВ ИВТЭЦ-2

При современном уровне развития информационных технологий и приборостроения высокими темпами идет модернизация направления информационного обеспечения технологических процессов в энергетике. В частности большое значение для повышения надежности работы оборудования имеет внедрение систем химико-технологического мониторинга на тепловых электрических станциях с барабанными котлами высокого и сверх высокого давления.

На кафедре ХХТЭ Ивановского государственного энергетического университета им. В.И.Ленина (ИГЭУ) под руководством д.т.н., профессора Ларина Б.М. ведется работа по созданию алгоритмов и программ косвенного определения ряда нормируемых и диагностических показателей состояния водно-химического режима (ВХР) барабанных котлов высокого и сверхвысокого давления. К числу таких показателей относятся: концентрация аммиака в питательной воде, фосфатов – в котловой воде чистого и солевого отсеков, солесодержание и концентрация аммиака в паре [1-3].

В 2010-2011 году проводились опытно-промышленные испытания на паровом котле Ивановской ТЭЦ-3 на базе штатных приборов автоматического химконтроля, в основном, производства НПО «ВЗОР» (г. Нижний Новгород) при активном участии персонала ИвТЭЦ-3. По результатам испытаний, система автоматического химического контроля была рекомендована к дальнейшей эксплуатации в штатном режиме. Были получены акт промышленных испытаний и внедрения на котле №3 ИвТЭЦ-3.

На основании полученных результатов, было принято решение о создании аналогичной системы для барабанных котлов высокого давления ($p_6 = 9,8$ МПа).

В процессе исследований водно-химического режима барабанных котлов Ивановской ТЭЦ-2 принят следующий перечень измеряемых параметров качества водного теплоносителя энергетического котла для получения оперативной информации по нормируемым и диагностическим показателям в рамках системы химико-технологического мониторинга.

Измеряемые параметры теплоносителя на основных точках отбора проб:

- питательная вода – удельная электропроводность исходной и Н-катионированной пробы (χ и $\chi_{\text{Н}}$), рН, NH_3 , Ж_0 , Щ_0 ;
- солевой отсек - удельная электропроводность исходной и Н-катионированной пробы (χ и $\chi_{\text{Н}}$), рН, Ж_0 , Щ_0 , концентрация фосфатов [PO_4^{3-}];

- чистый отсек - удельная электропроводность исходной и Н-катионированной пробы (χ и χ_H), рН, Ж_о, Щ_о, концентрация фосфатов [PO₄³⁻].

С февраля 2012 года исследовательской группой кафедры ХХТЭ проводятся лабораторные и промышленные исследования качества теплоносителя по заявленному выше перечню измеряемых параметров. Проводится сравнительный анализ показателей качества ручного и автоматического химконтроля и адаптация математической модели к условиям повышенного соледержания питательной и котловой воды, т.к. в качестве добавочной воды котлов ИвТЭЦ-2 используется умягченная вода, имеющая более высокую электропроводность по сравнению с добавочной водой энергетических котлов сверхвысокого давления.

Применение систем автоматического химического контроля на базе приборов АХК позволяет:

- вовремя диагностировать быстротекущие нарушения ВХР;
- корректировать в режиме реального времени концентрации реактивов (гидразин, аммиак) дозируемых в контур для поддержания ВХР;
- регулировать количество воды сбрасываемой с продувками солевых отсеков, таким образом, уменьшая потери на нагрев и подготовку добавочной воды;
- уменьшить количество воды сбрасываемой в дренаж из пробоотборных линий из-за объема воды требуемого для приборов АХК;
- уменьшить заброс загрязненной воды в основной контур и как следствие уменьшить вероятность аварийных остановов оборудования и последующих затрат на ремонт.

Библиографический список

1. Ларин Б.М., Бушуев Е.Н., Тихомирова Ю.Ю., Квет С.В. Определение концентрации фосфатов в котловой воде путем измерения электропроводности//Теплоэнергетика. 2008. №7. С. 21-27.
2. Патент РФ №2389014. Способ определения концентрации фосфатов в котловой воде барабанных энергетических котлов. 2010.
3. Патент РФ №2402766. Анализатор солевых компонентов котловой воды и способ их определения. 2010.

**Секция 5. ЭКОЛОГИЯ ТЭС И ПРОМЫШЛЕННЫХ
ПРЕДПРИЯТИЙ**

*Председатель секции зав. кафедрой «Химии и химических
технологий в энергетике» д.т.н., проф. Б.М. ЛАРИН*

Секретарь секции к.т.н., доцент Н.А. ЕРЕМИНА

***О.В. Кравченко, студ.; Е.Н. Бушуев д.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)***

УТИЛИЗАЦИЯ ШЛАМОВЫХ ВОД ОСВЕТИТЕЛЕЙ НА ПЕЧОРСКОЙ ГРЭС

Одной из важных и актуальных проблем энергетических предприятий является проблема утилизации различного рода шламов (осадков), образующихся в технологиях подготовки воды и очистке сточных вод, а также в процессах промывки теплоэнергетического оборудования. Поскольку на ТЭС ежегодно образуются сотни тонн шламов, часто возникает проблема размещения данных отходов на своей территории, из-за заполненности шламовых карт. Острота данной проблемы обусловлена высокой влажностью шлама, что затрудняет его транспортировку, а также отсутствием рентабельных способов переработки производственных шламов и экологически безопасных методов их утилизации.

На Печорской ГРЭС шламовые воды образуются в процессе предварительной очистки исходной речной воды (реагентного осветления с применением коагулянта сульфата алюминия) в осветлителях цеха химводоочистки. Расход шламовой воды осветлителей составляет 0,5–1 м³/ч. Получаемый шлам содержит 3,2 % механических примесей, 3,4 % гидроксида алюминия и 93,4 % воды.

На филиале ОАО «ОГК-3» – Печорской ГРЭС принято решение по внедрению установки обезвоживания шламовых вод осветлителей на базе фильтр-прессов, с целью сокращения объема данных отходов и возврата фильтрата на производственные нужды.

В установках обезвоживания возможно применение двух видов фильтр-прессов: камерного и мембранного [1].

Камерный фильтр-пресс является наиболее широко распространенным видом фильтр-прессов, в которых используются камерные фильтровальные плиты. Камерные фильтр-пресса используются в случае, если в процессе необходимо только меха-

ническое разделение суспензии и не требуется снизить влажность осадка (менее 50 %).

Преимущества камерного фильтр-пресса:

- простая и надежная конструкция;
- прочность и высокие эксплуатационные характеристики;
- возможность использования при давлении до 30 бар.

Мембранный фильтр-пресс – аппарат, в котором используется либо смешанный пакет плит, состоящий из чередующихся камерных и мембранных плит (камерно-мембранный пакет) либо полностью мембранный пакет плит. Мембранные плиты имеют на своем корпусе две эластичные, непроницаемые мембраны, изготавливаемые из эластичных полимерных материалов. При подаче сжатого воздуха в пространство между корпусом плиты и мембраной последняя способна изгибаться и оказывать механическое давление на образовавшийся слой осадка. Таким образом, в отличие от камерных фильтр-прессов, данная конструкция предоставляет возможность проводить отжим осадка после процесса фильтрования, что способствует достижению меньшей влажности и более однородной структуры кека, а также создает условия для его более эффективной промывки и просушки.

Преимущества мембранного фильтр-пресса:

- широкая область применения;
- сокращение времени на фильтрацию;
- уменьшение затрат на промывку и просушку кека;
- низкая влажность (менее 50 %), однородная структура и высокое качество осадка.

Недостатком (по сравнению с камерным типом фильтровальных плит) является более высокие капитальные и эксплуатационные затраты.

К реализации на Печорской ГРЭС предлагается камерный фильтр-пресс. В соответствии с разработанной схемой шламовые воды от осветлителей поступают в шламонакопитель-отстойник. Такие воды могут содержать различное количество твердой фазы, в связи с этим предусматривается предварительное сгущение осадка перед закачкой шламовых вод на установку основанную на отстойниках с тонкослойными модулями, при этом жидкая составляющая после фильтрации (декантат) на-

правляется в промежуточные баки. Далее шлам обрабатывается суспензией перлита и флокулянта с автоматических установок приготовления и дозирования этих реагентов. Такая обработка необходима для повышения водоотдающих свойств шлама, увеличения скорости фильтрации и фильтроцикла. Подготовленный шлам подается на обезвоживание на камерные фильтр-прессы. В качестве основного технического решения предлагается спроектировать и внедрить установку обезвоживания шламовых вод от осветлителей на базе двух рабочих камерных фильтр-прессов. Под ними расположены ленточные транспортеры, которые удаляют обезвоженный кек на узел его пакетирования в "биг-беги". Далее кек, после накопления в количестве, достаточном для вывоза автотранспортом, удаляется. Образовавшийся фильтрат для достижения требуемого качества подается на двухступенчатую фильтрацию на механический песчаный фильтр и сорбционный угольный фильтр и далее отводится в промежуточные емкости для дальнейшего использования, что позволит уменьшить расход воды на собственные нужды.

Все оборудование, входящее в состав установки обезвоживания, работает в двух режимах: автоматическом и ручном.

Автоматическая система управления установкой обеспечивает максимальную надежность при минимальном вмешательстве персонала при пуске, останове и эксплуатации. Управление и контроль за работой оборудования установки осуществляется с местного щита. При этом предусмотрена возможность получения общего сигнала о неисправности на основном производстве по месту присутствия постоянного персонала.

Для оценки эффективности предлагаемой технологии обезвоживания, были проведены исследования по обезвоживанию реальных шламов близких по составу шламом получаемых на Печорской ГРЭС. Результаты исследований приведены в табл. .

Таблица. Данные по качеству воды до и после фильтр-пресса и очистки на механическом и адсорбционном лабораторных фильтрах

Показатель	Исходная шламовая вода	Фильтрат после очистки
Водородный показатель (рН)	7,18	7,03
ХПК, мгО ₂ /л	1920	250
Содержание алюминия, мг/л	540	0,27
Железо (Fe _{общ}), мг/л	30,0	0,2
Мутность, мг/л	1200	15,25

Жесткость, мг-экв/л	3,0	3,2
Взвешенные вещества, мг/л	5492	4,6

Применение установки обезвоживания шлама осветлителей на Печорской ГРЭС позволит решить проблему утилизации отходов предочистки, повторно использовать фильтрат в производственных нуждах, тем самым, снизив расход воды на собственные нужды станции.

Библиографический список

1. **Повышение** экологической безопасности тепловых электростанций: Учеб. пособие для вузов / А.И. Абрамов, Д.П. Елизаров, А.Н. Ремезов и др.; Под ред. А.С. Седлова. –М.: Издательство МЭИ, 2001. –378 с.

*Е.С. Кротова, студ.; рук. Е.В. Козюлина, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОЧИСТКА ВОЗВРАТНОГО КОНДЕНСАТА НА ЗАО «РЯЗАНСКИЙ НПК»

Для обеспечения технологических нужд на ЗАО «Рязанской НПК» используется пар собственной выработки и пар, вырабатываемый котлами Ново-Рязанской ТЭЦ. Конденсат с производства должен возвращаться также на ТЭЦ и на подпитку собственных паровых котлов. Качество возвращаемого конденсата должно удовлетворять следующим нормам:

- общая жесткость – до 50 мкг-экв/дм³;
- содержание соединений железа – до 100 мкг/дм³;
- содержание кремниевой кислоты – до 120 мкг/дм³;
- содержание нефтепродуктов – до 3 мкг/дм³;
- перманганатная окисляемость – до 5 мгО₂/дм³;
- солесодержание – до 4,5 мг/дм³;
- содержание соединений меди – до 20 мкг/дм³;
- рН – 8,5-9,5.

Для обеспечения требований к качеству возвращаемого конденсата в 2007 г. была введена в эксплуатацию установка очистки конденсата с расчетной производительностью 160 т/час. Технологическая схема конденсатоочистки включает несколько этапов и узел коррекционной обработки конденсата с целью связывания углекислоты и повышения рН.

Первоначальная стадия очистки заводского конденсата осуществляется в отстойниках, где происходит улавливание всплывающих (масел) и оседающих (продуктов коррозии в виде взвесей) соединений. Конденсат с производства по трем линиям поступает в баки-отстойники, объем которых обеспечивает время отстоя не менее 3 часов. На каждой линии предусмотрена установка бака-отстойника и баков чистого конденсата.

Очистка конденсата осуществляется по схеме (рис.1) последовательного перелива. Конденсат из баков-отстойников самотеком поступает в баки «чистого конденсата», установленные последовательно с баками-отстойниками.

В случае если конденсат в баках чистого конденсата удовлетворяет требуемому качеству, предусмотрена его прямая подача на ТЭЦ и на подпитку паровых котлов завода. Если же показатели качества конденсата не соответствуют нормируемым значениям, конденсат направляется на сорбционные фильтры.

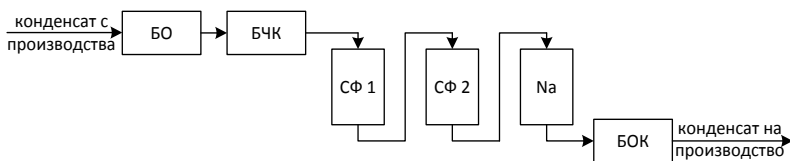


Рис.1. Технологическая схема конденсатоочистки:

БО – бак-отстойник; БЧК – бак чистого конденсата; СФ 1 – сорбционный фильтр первой ступени; СФ 2 – сорбционный фильтр второй ступени; Na – Na-катионитный фильтр; БОК – бак очищенного конденсата

Для более глубокого удаления нефтепродуктов и масел в схеме конденсатоочистки предусмотрены две ступени сорбционных фильтров, по 4 фильтра на каждой ступени. В качестве фильтрующего материала используется активированный уголь марки БАУ-20. Конденсат на первую ступень поступает по схеме «гребенка» параллельно на каждый фильтр из общего коллектора. На выходе из первой ступени конденсат также из общего коллектора поступает на сорбционные фильтры второй ступени.

Для снижения содержания катионов жесткости в конденсате предусмотрено его умягчение на натрий-катионитных фильтрах

(3 шт.). В случае повышенной жесткости в конденсате возможно переключение ионообменных фильтров в две ступени. Регенерация натрий–катионитных фильтров производится 8-10 % раствором поваренной соли.

После очистки конденсат поступает в баки очищенного конденсата и затем может подаваться на подпитку паровых котлов завода. Схемой предусмотрено, что конденсат может подаваться потребителям после любого этапа очистки, если его качество удовлетворяет нормам.

Для связывания остаточной углекислоты в конденсате и коррекции рН предусмотрен узел коррекционной обработки конденсата. В качестве реагента для коррекционной обработки конденсата применяется отечественный реагент АМИНАТ ПК-2, на основе трех нейтрализующих летучих аминов, выпускаемый ООО «НПФ Траверс».

*А.С.Сухарев, А.О.Коршак, студ.; рук. Е.В.Козюлина к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г.Иваново)*

ОЧИСТКА НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ СТОЧНЫХ ВОД ТЭС

Одной из проблем на ТЭС является очистка конденсата, возвращаемого с промышленных предприятий от соединений железа и нефтепродуктов. Такой конденсат не подлежит сбросу. Наиболее целесообразно очищать конденсат до нормируемых показателей и снова возвращать в цикл ТЭС.

Наиболее эффективным способом очистки является фильтрование воды через сорбционные материалы. Одним из них таких материалов является шунгит, который по своим физико-химическим свойствам близок к традиционным фильтрующим материалам. Шунгит – уникальный природный минерал, основу которого составляет углерод, значительная часть которого представлена молекулами сферической формы – фуллеренами. Фуллерены производят атомарный кислород, который окисляет сорбированные нефтепродукты до CO_2 и H_2O . Шунгит также проявляет хорошие сорбционные свойства к ионам тяжелых металлов.

В ИГЭУ на кафедре ХХТЭ проводились испытания по исследованию адсорбционных свойств шунгита по отношению к нефтепродуктам и маслу. Первоначально суть опытов заключалась в том, чтобы

оценить, как будет взаимодействовать шунгит с этими веществами. Наблюдения показали, что в статических условиях при распылении тонкоизмельчённого шунгита по поверхности воды, загрязнённой нефтью, шунгит образовывал устойчивую плёнку. В динамических условиях при перемешивании с водой шунгит находился также и во взвешенном состоянии.

Для более точной оценки остаточной концентрации нефтепродуктов в воде были проведены следующие опыты: в четыре стакана с одинаковым количеством воды добавлялось разное количество нефтепродуктов, но одинаковое количество шунгита. В последующих опытах массу распыляемого шунгита увеличивали. Результаты показали, что остаточная концентрация нефтепродуктов после добавления шунгита и пропускания через бумажный фильтр уменьшалась в несколько раз. Однако увеличение дозы шунгита выше определенного значения было нецелесообразно, поскольку концентрация нефтепродуктов уже не уменьшалась.

В дальнейшем опыты проводились с использованием шунгита в качестве загрузки в экспериментальной колонке, а качество воды, пропущенной через шунгит, сравнивалось с качеством воды, пропущенной через колонки, загруженными другими фильтрующими материалами: кварцевым песком и сульфуголём. Через три колонки пропускалась вода, по качеству имитирующая возвратный конденсат, со скоростью примерно 100 мл/мин.

Таблица 1. Качество воды, пропущенной через различные фильтрующие материалы

показатели	Исходная вода	Шунгит	Кварцевый песок	Сульфуголь
Нефтепродукты, мг/л	16	7	7	7
Fe, мг/л	0,77	0,40	0,34	0,43
Жо, мг-экв/л	0,05	0,12	0,05	0,05
pH	5,4	3,9	7,3	4,3
Ок	2	2	2	2

Результаты, представленные в таблице, показали, что концентрация железа уменьшалась примерно в 2-3 раза, нефтепродуктов – в 2-4 раза, причём на всех материалах одинаково. На этом основании можно сделать вывод, что для очистки сточных вод, загрязнённых нефтепродуктами, шунгит также можно использовать в качестве фильтрующего материала наряду с кварцевым песком и сульфуголём. Однако, в проведённых опытах вода, пропущенная через шунгит, имела кислую реакцию среды и повышенную по сравнению с исходной водой общую жесткость, что объясняется катионообменными свойствами шунгита.

Сохранение значения общей жесткости пропускаемой воды на исходном уровне позволило использование смешанной загрузки из шунгита и сульфюгля, который помещался в нижнюю часть колонки и занимал четверть всей загрузки. Результаты по концентрациям нефтепродуктов, железа и окисляемости оказались схожи с результатами воды, пропущенной через один шунгит.

Использование шунгита в качестве фильтрующего материала на ТЭС является малоизученным способом очистки воды от нефтепродуктов. Проведённые опыты показали, что шунгит может использоваться для этих целей, однако только оптимальное сочетание шунгита и другого фильтрующего материала способно дать воду требуемых показателей качества, что позволит использовать её снова в цикле ТЭС.

*Т.С. Малова, М.А. Гускина, рук. Н.А. Еремина к. т. н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОЧИСТКА ДЫМОВЫХ ГАЗОВ ОТ ОКСИДОВ АЗОТА

Уменьшение выбросов NO_x при сжигании топлива – одна из важнейших научно-практических экологических задач. В настоящее время в промышленно развитых странах разрабатываются в основном 3 схемы очистки дымовых газов:

1. Некаталитическое восстановление оксида азота аммиаком, называемое также высокотемпературным методом;
2. Каталитическое селективное восстановление с использованием аммиака;
3. Прямое поглощение оксида азота с одновременной адсорбцией SO_2 .

Обеспечить современные требования по выбросам оксидов азота с дымовыми газами наряду с режимно-технологическими мероприятиями возможно при использовании специальных химических методов очистки – селективного каталитического (СКВ) или некаталитического (СНКВ) восстановления. Капитальные затраты в строительство установок СНКВ примерно на порядок ниже, чем строительство СКВ-установок. Этим объясняется повышенный интерес в последние десятилетия к использованию технологии СНКВ.

В результате расчетно-теоретических и экспериментальных исследований и опытно-практических испытаний, проводимых РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, были определены основные закономерности процессов СНКВ при использовании в качестве восстановителя аммиака и карбамида. Принцип некаталитического высокотемпературно-

го восстановления NO_x заключается в избирательном взаимодействии с аммиаком или другими аминосодержащими соединениями в газовой фазе при температуре 900 – 1000 °С.

Для снижения выбросов NO_x в атмосферу в 1990 г. на нефтеперерабатывающем заводе в г. Хайфа была внедрена технология некаталитической очистки газов, разработанная специалистами РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина. В результате концентрация NO_x снизилась с 750 до 150 мг/м³. Впервые была достигнута эффективность очистки дымовых газов до 80-90%.

Применение аммиака в больших количествах экологически небезопасно, поэтому было предложено использовать карбамид, который не токсичен и пожаро- и взрывобезопасен. Главным недостатком этой технологии является узкий температурный интервал (900–1000 °С). Изменение температуры относительно оптимальных значений приводит к уменьшению степени очистки газов от NO_x . Однако большое количество процессов очистки дымовых газов происходит при более низких температурах (до 500 °С). Для осуществления процесса СНКВ при таких температурах необходимо использование специальных добавок к карбамиду.

Таким образом, процесс СНКВ может быть осуществлен с эффективностью 95–98 % при любой температуре дымовых газов в диапазоне 250–1000 °С и в силу своей уникальности не имеет ограничений, связанных с конструктивными или технологическими особенностями тепловых агрегатов.

***Н.Е. Воронова, студ.; рук. Е.В. Козюлина, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)***

К ВОПРОСУ О ПЕРЕРАБОТКЕ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

Проблема эколого-безопасного обращения с отходами приобрела в настоящее время глобальный характер. Исторически природоохранное законодательство практически во всех странах мира развивалось применительно к контролю и регулированию загрязнения атмосферного воздуха и поверхностных водоемов, и чем жестче было законодательство по контролю воды и воздуха, тем больше производилось твердых отходов.

Твердые отходы - это экологическая проблема, вызывающая наибольшую озабоченность жителей разных стран. В настоящее время в развитых странах, в том числе и в России производится от 1 до 3 кг бытовых отходов на душу населения в день, что составляет сотни миллионов тонн в год.

Безотходная деятельность человека нереальна.

В России порядок приоритетов обращения с отходами следующий:

- захоронение отходов;
- сжигание отходов без использования энергии сгорания;
- сжигание отходов с использованием энергии сгорания;
- вторичное использование отходов вне места их образования;
- вторичное использование отходов в производственных процессах;
- сокращение количества отходов;
- предотвращение образования отходов.

В последние годы появилась технология комплексной сортировки твердых бытовых отходов (ТБО) с получением высококалорийных топливных гранул. Пока эта технология связана с проблемой, где сжигать это не очень чистое в экологическом отношении топливо.

Выбор метода и типа сооружений в конкретном городе зависит от ряда условий:

- состава и свойств ТБО;
- климатических условий;
- потребности в органическом удобрении или тепловой энергии;
- экономических и экологических факторов.

Значительное распространение получили мусоросжигательные заводы особенно в странах с высокой плотностью населения и большим дефицитом свободных площадей (ФРГ, Япония, Швейцария, Бельгия и др.) [1]. Сжигание остается самым оптимальным способом утилизации ТБО на сегодняшний день [2].

Сегодня сбор отходов бумаги, пластмассы, стекла и др., а также их продажа на рынке вторичных ресурсов - очень выгодный бизнес [3].

Некоторые страны, обделенные в силу географического положения полезными ископаемыми, открыто зарабатывают на мусоре. Так поступает даже такая сильная страна, как Германия, – здесь ежегодно сжигают около 2 млн. тонн ввезенного из-за границы мусора [2]. Это наиболее удачная страна в сфере сортировки и утилизации мусора.

В Германии принят закон о кругообороте, основная цель которого состоит в сокращении объемов отходов за счет вторичного использования некоторых видов отходов или их устраниении без оказания вредного воздействия на окружающую среду.

Немецкие жители ответственно относятся к отходам: осуществляют их первичную сортировку, утилизируют в строго определенных для этого местах. Главной мотивацией такой серьезной гражданской ответственности является финансовая. За утилизацию отходов в не-санкционированных местах в Германии взимаются высокие штрафы.

Что касается селективного сбора мусора, то положительных результатов в этой сфере Германия добилась благодаря дифференциации тарифов на вывоз различных видов контейнеров. Так, например, вывоз коричневого контейнера с отходами органического происхождения - самый дешевый. Вывоз черного контейнера со смешанным мусором обходится жителям в два раза дороже. В связи с этим жители заинтересованы как можно меньше наполнять черные контейнеры, тем самым сортируя мусор. Высокие тарифы на вывоз черных контейнеров связаны прежде всего с высокими расходами на утилизацию смешанных бытовых отходов, которые включают в себя процесс сортировки с целью извлечения полезных фракций, их сушку, размельчение, сжигание и захоронение.

Сортировкой отходов и переработкой во вторичное сырье занимаются, как правило, специализированные - рециклинговые компании государственной, частной или смешанной форм собственности.[3]

Одна из немецких компаний занимается конструированием, проектированием и производством экологического и энергосберегающего оборудования для сортировки и утилизации ТБО, фильтрации отходов, а также процессов, связанных с образованием вредной пыли.[4]

С помощью методов сортировки из ТБО выделяют полезные продукты (макулатура, стекло, пластмассы, дерево, текстиль, металлы).

Раздельная, или селективная, система сбора отдельных составляющих ТБО обеспечивает получение относительно чистых вторичных ресурсов от населения и уменьшение количества вывозимых отходов.[5]

Предварительная сортировка мусора городским населением и коммунальными службами в России практически не проводится.

Отсутствует налаженная система транспортировки отходов к местам их переработки.[6]

Русский человек, покупая пиво или молоко, редко думает о том, можно ли переработать пустую емкость. Исключением являются разве что граждане, радеющие за чистоту природы или вступившие в Гринпис.

Чтобы сделать идею раздельного сбора мусора популярной, нужна хорошая социальная реклама. В Европе при внедрении сортировки отходов жителям даже рассылали брошюры, как сделать сбор мусора быстрым и удобным.[7]

Библиографический список

1. http://courses.edu.nstu.ru/getfile.php?curs=882&file_id=6635
2. <http://www.bid.ru/internal.php?id=1470>
3. <http://www.rg.ru/2011/09/13/musor.html>
4. <http://www.nestro.net/28.html>

5. <http://portaleco.ru/ekologija-goroda/sbor-udalenie-i-utilizacija-tbo.html>
6. <http://vyvezem.ru/pererabotka-otxodov-v-rossii-i-v-mire.html>
7. <http://www.lomovik.ru/articles/10/>

**А. О. Коршак, студ.; Е. В. Козюпина, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)**

УТИЛИЗАЦИЯ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ В РОССИИ

На городских свалках даже среднего города ежегодно скапливаются сотни тысяч тонн бытовых отходов. Разлагаясь, они отравляют воздух, почву, подземные воды и превращаются, таким образом, в серьезную опасность для окружающей среды и человека.

Применяемая в настоящее время традиционная схема сбора отходов (рис.1) требует кардинального изменения. Во всем мире важнейшим эффективным направлением в области обращения с ТБО является организация раздельного сбора утильных компонентов ТБО и их сортировка. Финансовые вложения и решение проблемы бытовых отходов должны быть ориентированы на создание наиболее прогрессивной модели управления отходами на основании научно обоснованной.

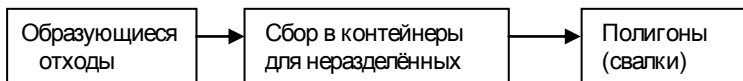


Рис.1. Схема сбора отходов

Выбор технологии обезвреживания отходов зависит от состава и свойств ТБО, а также факторов, среди которых определяющими должны быть охрана окружающей среды и здоровья населения, экономическая целесообразность.

По технологическому принципу методы переработки твердых отходов подразделяются на механические, биологические, химические, термические и смешанные.

Все больше и больше мусора вывозится на дальние расстояния в санитарные зоны сброса, где он сортируется для извлечения ценных материалов в целях дальнейшей переработки и сжигается в специальных печах. Сжигание позволяет примерно в 3 раза уменьшить вес отходов, устранить некоторые неприятные свойства: запах, выделение токсичных жидкостей, бактерий, а также получить дополнительную энергию, которую можно использовать в качестве получения дополнительного электричества и отопления. Для крупных городов с населением более 0,5 млн. жителей целесообразнее всего использовать термические методы обезвреживания ТБО.

Термические методы переработки и утилизации ТБО можно разделить на три способа:

- слоевое сжигание исходных (неподготовленных) отходов в мусоросжигательных котлоагрегатах (МСК);
- слоевое или камерное сжигание специально подготовленных отходов (освобожденных от багластных фракций) в энергетических котлах совместно с природным топливом или в цементных печах;
- пиролиз отходов, прошедших предварительную подготовку или без нее.

Сжигание отсортированных отходов в специальных печах можно считать энергетическим сырьём. Было подсчитано, что при сжигании одной тонны отходов можно получить 1300-1700 кВт/ч тепловой энергии или 300-550 кВт/ч электроэнергии.

В Москве наметилась достаточно активная тенденция по повышению теплотехнических характеристик ТБО с последующим использованием его для выработки электроэнергии. Примером такой тенденции может служить Московский Мусороперерабатывающий завод №2. Завод занимает площадь 2,1 га. В 2002 году после реконструкции в Москве осуществлён пуск в эксплуатацию первой очереди принципиально нового для России мусоросжигательного завода производительностью 300 тыс. т ТБО в год. Завод состоит из отдельной сортировки и подготовки ТБО, сжигания не утилизируемой части ТБО, очистки дымовых газов от вредных примесей, переработка золы и шлака, энергоблока и других вспомогательных отделений. Технологическая схема завода по переработке не утилизируемой части ТБО включает в себя три технологические линии с печью кипящего слоя, котлами производительностью 22–25 т/ч, газоочистным оборудованием и 2 трубы по 6 МВт каждая.

На заводе внедряется ручная и механическая сортировка ТБО и его дробление. Такая технологическая переработка ТБО позволяет: во-первых, отобрать ценное сырьё для его вторичной переработки; во-вторых, отобрать пищевую фракцию ТБО для его дальнейшего компостирования; в-третьих, отобрать сырьё, представляющее экологическую опасность при его сжигании; и наконец, это позволит повысить теплотехнические и экологические показатели сырья, предназначенного для сжигания. Благодаря такой подготовке низшая теплота сгорания ТБО, предназначенного для сжигания, достигнет 9 МДж/кг, а по содержанию золы, влаги, серы и азота характеристики ТБО практически соответствуют аналогичным характеристикам подмосковных бурых углей.

Таким образом, строительство мусороперерабатывающих заводов в России имеет ряд преимуществ:

- решение экологических проблем окружающей среды;
- получение дешевой тепловой и электрической энергии;
- уменьшение веса отходов.

Библиографический список

1. **В.С. Демьянова, Э.А. Овчаренков.** Процессы и аппараты переработки твёрдых бытовых отходов: учебное пособие.- Пенза: ПГУАС, 2007.- с.80
2. **В.А. Кузнецов, Н.М. Крапильская, Л.Ф. Юдина.** Экологические проблемы твёрдых бытовых отходов. Сбор. Ликвидация. Утилизация: учебное пособие.- М.:ИПЦ МИКХиС,2005.-53 с.

Секция 6. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕПЛО- ТЕХНИКИ

*Председатель секции зав. кафедрой «Теоретические основы
теплотехники», д.т.н., проф. В.В. БУХМИРОВ
Секретарь секции аспирант А.К. ГАСЬКОВ*

*В.Н. Артемов, асп.; рук. И.М. Мазурин д.т.н.
(ЭНИИ им. Г.М. Кржижановского, г. Москва)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАДАЧИ РЕЦИКЛА НЕВОДЯНЫХ РА- БОЧИХ ТЕЛ В ТУРБИННОМ ЦИКЛЕ С ИСПОЛЬЗОВА- НИЕМ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ РЕКТИФИКАЦИИ

Целью работы является изучение возможности восстановления первичных свойств (рециклирования) фторуглеродов в турбинном цикле.

Задача работы заключается в исследовании процесса ректификации фторуглеродов по параметрам флегмового числа и количеству теоретических тарелок для разделения модельной смеси и поддержания постоянства состава рабочего тела в цикле.

Энергосбережение как основная проблема сегодняшнего дня. Наиболее эффективными приёмами по сбережению энергии при её производстве являются, прежде всего:

- увеличение КПД существующих электрических станции, что позволит уменьшить расход энергетического сырья, из которого вырабатываются тепловая и электрическая энергия.

- использование возобновляемых источников энергии – Геотермальных ТЭС, ресурс которых сегодня в России используется менее чем 0,1%.

В России на этот счёт уже имелись серьёзные технические решения. Ещё в 60-е годы предлагалось использовать фторуглероды (C_nF_{2n+2}) и элегаз (SF_6) в качестве заменителей воды в паротурбинном цикле. При этом расчётная величина КПД становится на 5-8% выше, давление пара на 100-150 атмосфер ниже и температура на 150-200°C ниже, в сравнении с водяным циклом. Оборудование ТЭС с такими параметрами существенно дешевле и проще в изготовлении и обслуживании. Расход топлива существенно меньше. Причина эффективности фторуглеродов известна. Их молекулярная масса на порядок выше в сравнении с водой, а критическое давление на 100-150 атмосфер ниже. Термическая стабильность этих соединений на уровне 600 °C. Однако в то время фторуглероды и элегаз были ещё мало изучены и относительно дороги. Сырьевой фтор был необходим для атомной промышленности, что и затормозило быструю реализацию этой идеи. В России этими вопросами занимался в 50-60 годы проф. Д.П. Гохштейн с авторами [1], в Японии в 70-80 годы проф. Н. Исикава.

Использование фторуглеродов включает в себе ряд проблем. Главной является неизбежная деструкция рабочего тела в паротурбинном цикле. При этом происходит образование различных примесей. Это постепенно приводит к их накоплению и изменению свойств рабочего тела.

По оценочным расчётам, в паротурбинном цикле мощностью 100-500 МВт очень большой расход вещества около 10 тонн в секунду, так как цикл является не герметичным, то годовое натекание составляет 15-30 % от массы вещества в год. Бак конденсатора имеет объём 30 тонн. Максимальное годовое натекание примесей будет составлять 10т. Исходя из расхода вещества, равного 10т/сек и годового натекания примесей воздуха применяемого равным 10т/год=0,0190кг/мин, необходимо будет удалять ~ 1л/сек примесей, это примерно 1,2 – 1,5 г воздуха, основу которого составляет азот (N_2).

Образование фторидов связано с процессами деструкции фторуглеродов при нагреве в контакте с конструкционными сталями. По данным исследований наработка фторидов находится в диапазоне 0,001-0,01% для температур 550-600 при экспозиции 10^5 циклов. При цикле 20 секунд за год будет $1,55 \cdot 10^6$. Ожидаемая наработка примесей для диапазона температур 550-600°C в год составит 3-30 кг/год. Их место сбора – куб колонны.

Что бы очистить искомое вещество от примесей, в цикле выделяется отдельная регенеративная петля для удаления примесей, образовавшихся при эксплуатации. Производительность должна быть согласована с темпом наработки примесей. Для этого можно использовать различные виды очистки:

- Дистилляция.
- Мембранная технология
- Адсорбция
- Низкотемпературная ректификация

Целесообразно использовать низкотемпературную ректификацию. Выбор ректификации, как способа очистки искомого вещества от примесей, обусловлен следующими факторами:

- Высокая степень очистки
- Возможность использовать для большого массового расхода
- Можно обеспечить высокую автоматизацию процесса при высокой степени очистки
- Непрерывность процесса
- Высокая надёжность процесса ректификации

Адсорбцию в этом цикле можно использовать в качестве дополнительного процесса очистки газов в основном от влаги и масел, где её преимущества наиболее значимы.

В паротурбинном цикле после конденсатора установлен сборник конденсата, из которого будет забираться часть вещества для очистки в ректификационную колонну. Очищенное вещество направляется обратно в цикл. Пример схемы очистки фторуглерода от примесей с использованием ректификации, во втором контуре АЭС показан на рисунке 1.

Заменить воду фторуглеродами на действующих станциях вряд ли возможно. Эти решения необходимо использовать для

новых разработок. Главные критерий оценки при использовании фторуглеродов – это безопасность персонала и энергоэффективность.

Оценочные расчёты сделанные по методу Мак-Кэба и Тиле и диаграмме Брега-Льюйса подтвердили возможность очистки фторуглерода (с 99 до 99.8 %) от ближайшей исследованной примеси (например C_3F_6 , вероятность образования которой велика и для которой есть кривая насыщения), для заданного разделения необходимо в общей сложности 38 теоретических ступеней разделения, из которых 29 приходятся на исчерпывающую часть колонны, а 9 – на укрепляющую часть. При увеличении флегмового числа до 50 количество тарелок будет уменьшаться, как показано в таблице 1.

Расчёты были сделаны по худшему варианту. Массовый расход 36т/час, флегмовое число 5, температура конденсации - 28°C, давление 1,5атм. Они показывают, что диаметр колонны будет равняться 3,5 м, высота колонны 20м, гидравлическое сопротивление 2500Па, расход теплоты в дефлегматоре-конденсаторе 6000кВт.

Особенностью колонны будет состоять в том что в качестве насадки будет использоваться пористый никель.

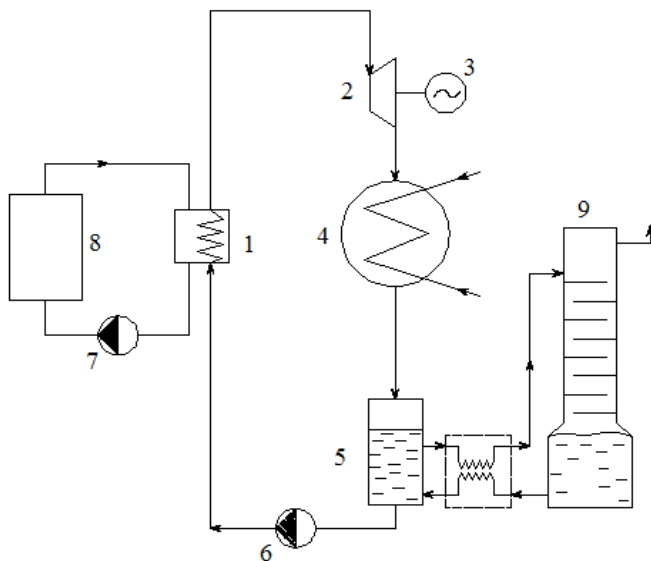


Рис. 1. Схема очистки фторуглерода от примесей, во втором контуре АЭС:

1-Парогенератор, 2-Турбина, 3 - Электродгенератор, 4 - Конденсатор, 5 - Питательный бак, 6 - Насос, 7- Насос, 8- Реактор, 9 - Ректификационная колонна

Таблица 1. Число теоретических ступеней разделения, требуемое для разделения смеси C_3F_8 - C_3F_6 , минимальное флегмовое число равно 2,3.

Рабочее флегмовое число	Число теоретических тарелок разделения	
	Исчерпывающая часть	Укрепляющая часть
2,5	35	22
5	29	9
10	28	7
20	27	6,5
50	26	6
∞	26	6

В данном случае разделения нет смысла увеличивать флегмовое число выше 5; увеличение числа ступеней свободы становится таким незначительным, что дальнейшее повышение флегмового числа себя не оправдывает.

Для более детального изучения эффективности очистки фторуглеродов от примесей в ректификационной колонне, был сделан макет (Рисунок 2) и проведены предварительные пуски на фреоне-11, которые подтвердили её работоспособность.

Макет автономен и имеет небольшие размеры. Основное вещество в цикле - C_3F_8 . Рабочее давление 1.3-1.5 атм.

Основные принятые параметры экспериментальной установки:

- Производительность – 0.3 – 0.5 кг/ч
- Флегмовое число – от 4 до 30
- Нагрузка конденсатора от 200 до 1500кДж
- Диаметр насадочной части колонны $d_H = 50\text{мм}$
- Объем куба $V_K = 10\text{л}$
- Объем конденсатора $V_D = 10\text{л}$

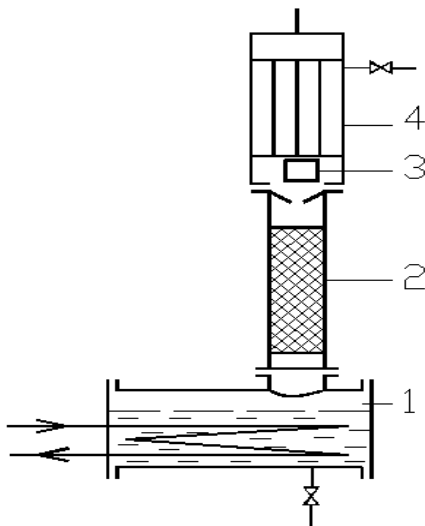


Рис. 2. Схема экспериментальной установки:

1 – Конденсатор (дефлегматор), 2 – Насадка, 3 – Счётчик флегмы, 4 – Куб

В качестве насадки используется пористый никель. Он обладает хорошей коррозионной стойкостью к агрессивным средам, в том числе и к фтористым соединениям. Его структура обладает одинаковыми по размеру и структуре отверстиями. Их диаметром порядка 3мм.

В экспериментальной установке разработан счётчик флегмы. Он представляет собой конус закреплённый таким образом, что при его наполнении, из-за изменения центра масс, происходит опрокидывание и выливается определённое количество воды. При этом происходит удар о стенку куба. По этому звуку мы можем контролировать наличие флегмы и соответственно протекание процесса.

Библиографический список

1. Гохштейн Д.П., Смирнов Г.Ф., Киров В.С. Некоторые особенности парогазовых схем с неводяными парами // Теплоэнергетика №5, 1966.
2. Гохштейн Д.П., Проблема повышения КПД паротурбинных станций. Госэнергоиздат, 1960.
3. Гохштейн Д.П., Верхивкер Г.П., Проблема использования неводяных паров в энергетике // Теплоэнергетика № 1, 1969.
4. Крель Э. Руководство по лабораторной перегонке, пер. с нем., Москва «Химия» 1980.

*Р.И. Паянен, асп.; рук. И.М. Мазурин д.т.н.
(ЭНИН им. Г.М. Кржижановского, г. Москва)*

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОМАССОБМЕНА SF₆ В ОБРАТНОМ ЦИКЛЕ РЕНКИНА С ФАЗОВЫМ ПЕРЕХОДОМ
«ЖИДКОСТЬ-ТВЁРДОЕ ТЕЛО»**

Работа посвящена технической задаче регенерации изолирующего газа высоковольтного оборудования (SF₆) как на высоковольтных подстанциях, так и для полевых условий. Поэтому простота технического решения является основным условием задачи.

Сегодня практически все высоковольтные электрические подстанции в Европе используют элегаз в качестве изоляции. На данный момент в России доля электрических подстанций на элегазе составляет всего лишь около 5%. Однако, сейчас в нашей стране проводится активная замена электрических подстанций с маслонаполненным высоковольтным оборудованием на подстанции на элегазе, т.к. элегаз в качестве дугогасящей среды и газа-изолятора обладает рядом преимуществ по сравнению с маслом: токсическая и пожарная безопасность; практически полная рекомбинация после высоковольтного пробоя; прекрасные изоляционные и дугогасящие свойства.

Несмотря на очевидные преимущества элегаз в течение длительной эксплуатации (за 5-10 лет) неизбежно загрязняется продуктами разложения элегаза и компонентами воздуха, которые неизбежно проникают во внутренние полости аппаратов из-за большой разницы парциальных давлений. В элегазе сегодня известно пять основных групп примесей:

1. Из состава воздуха: азот, кислород, углекислый газ, влага;

2. Фторсодержащие примеси: SOF_2 , SO_2F_2 , SOF_4 , SiF_4 , SF_4 , HF ;
3. Фторуглероды: CF_4 , C_3F_6 , C_2F_4 , C_5F_{12} и др.;
4. Минеральные масла: C_nH_m ;
5. Механические и прочие примеси FeF_3 , AlF_3 , SO_2 , CS_2 , COS .

По причине большого количества разнородных примесей универсального метода для очистки элегаза не найдено. Используется последовательность элементарных способов: гидролиз - каталитическая очистка – сорбция - ректификация - кристаллизация.

Для решения задачи очистки элегаза за основу была взята дистилляция, поскольку оценочные значения коэффициентов разделения элегаз-азот были известны. Кроме того, стали доступны для приобретения бесшмазочные компрессоры, без которых выполнение дистилляционной очистки было бы связано с большими потерями элегаза.

На начальном этапе исследований экспериментальным путём были определены коэффициенты растворимости азота в элегазе для диапазона концентраций от 0,12 %масс. до 0,72%масс. Концентрации определялись масс-спектрометрическим методом после калибровки прибора на смесях, приготовленных весовым способом.

На рисунке 1 приведена диаграмма равновесных концентраций смеси азот-элегаз:

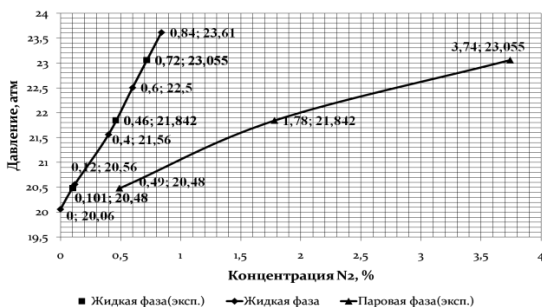


Рис. 1. Равновесные концентрации примеси азота в жидкой (левая кривая) и паровой фазах (правая кривая) в элегазе

На рисунке 1 видно, что равновесные концентрации азота в элегазе при нормальной температуре для паровой фазы в 4 раза больше, чем в жидкой фазе. Поэтому был сделан вывод, что

наиболее удобным и простым способом для удаления низкокипящих примесей из элегаза для условий высоковольтных подстанций является дистилляция, поскольку за счёт простого удаления пара можно сравнительно легко получить элегаз, чистый от низкокипящих азота и кислорода. Именно этот процесс стал основным в предлагаемой схеме рецикла элегаза. Агрессивные фторсодержащие примеси довольно эффективно удаляются сорбцией на алюмогеле.

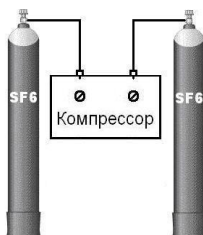


Рис 2. Простейшая схема регенерации элегаза

Более подробно упрощенная схема состоит из двух баллонов, объединённых одним «сухим» компрессором. Отдающий баллон с загрязнённым элегазом целесообразно предварительно охладить, если процесс идёт в зимний период. При этом в баллоне останется больше чистого продукта, поскольку растворимость азота в жидком элегазе уменьшается с понижением температуры. Откачка паровой фазы производится в принимающий баллон. В нём концентрация примеси азота в жидкости и паре будет существенно выше, в сравнении с отдающим баллоном. В конце операции в отдающем баллоне остается очищенный от низкокипящих примесей элегаз. Он может перейти в твёрдое состояние, поскольку почти вся теплота испарения сохраняется в отдающем баллоне и охлаждает жидкость. Если из баллона удалить более половины массы газа первичной заправки (40 кг), то остаток очищенного вещества можно получить твёрдым, т.е. при минус 50°С.

Для регенерации больших объемов элегаза в условиях завода был разработан непрерывный цикл очистки с использованием

массовой кристаллизации при фазовом переходе жидкость – твёрдое тело [3]. Схема цикла представлена на рисунке 3. Разрабатываемая установка предназначена для получения элегаза необходимой чистоты без сверхнормативных примесей воздуха.

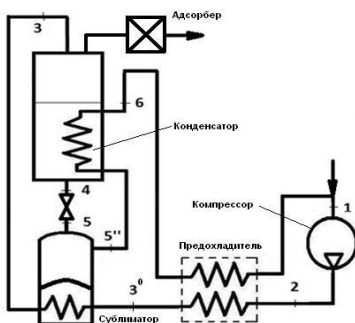


Рис. 3. Принципиальная схема установки непрерывной очистки элегаза.

При работе установки происходят 3 фазовых перехода: пар-жидкость (конденсация), жидкость – твёрдое тело (кристаллизация), твердое тело – пар (сублимация).

По принципу действия, установка является обычной холодильной машиной, в которой элегаз используется в качестве хладагента. После дросселирования элегаз переходит в твёрдое состояние и вылетает из сопла в виде мелкодисперсных кристаллов. При этом отбираемый пар из кристаллизатора существенно богаче по низкокипящим примесям в сравнении с твёрдой фазой. Обогащённый пар в виде обратного потока подаётся на охлаждаемый компрессор и затем в конденсаторе избыток низкокипящих примесей выводится в адсорбер-утилизатор. Пополнение цикла осуществляется на входе в компрессор. Продукт - очищенный элегаз, скапливается в твердом состоянии на дне сублиматора. Температура SF₆ при этом минус 63°C.

Для определения количества твёрдой фазы, требуемого для охлаждения прямого потока составим уравнения тепловых балансов:

$$1. G_1 (q_2 - h_3) + G_1 r = G_2 (q_1 - h_6)$$

$$2. G_1 \left(\epsilon_3 - h_4 \right) = G_2 \left(\epsilon_6 - h_0 \right)$$

Где G_1 и G_2 – расходы прямого и обратного потоков соответственно. $r = 62$ кДж/кг – теплота парообразования. При $T_4 = -45^\circ\text{C}$, $p = 3$ атм. энтальпия $h_4 = 160$ кДж/кг (см. рис. 4).

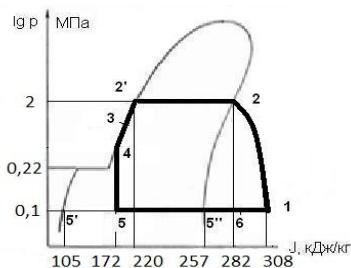


Рис.4 Диаграмма цикла

$$h_0 = h_1 - \frac{G_1}{G_2} \left(\epsilon_2 - h_4 \right)$$

Точка 0 – плавающая точка на прямой 5-5'', используемая для определения требуемого количества холода для регенерации.

При $G_1/G_2 = 1$, $h_0 = 186$ кДж/кг. Тогда $k = (h_{5''} - h_0) / (h_{5''} - h_5) = 0.7$

Аналогичный результат был получен для других параметров т.4. Таким образом около 70% тепла получаемого твёрдого продукта необходимо отправить на регенерацию.

В цикле работы установки осуществляются 3 стадии очистки:

1. Дистилляция. В предохладителе происходит удаление низкокипящих примесей с паром элегаза, который поглощается сорбентом на выходе из аппарата.
2. Фазовый переход жидкость – твёрдое тело, происходит на дросселе в сублиматоре. За дросселем остаётся твёрдая фаза в равновесии с паром.
3. Сублимационная очистка. Из сублиматора осуществляется отбор пара в обратный поток. При этом удаляются низкокипящие примеси.

Непосредственно мною была произведена практическая реализация схем очистки и подобраны оптимальные рабочие параметры установки.

Библиографический список

1. Н.И. Гельперин, Г.А. Носов. Основы техники кристаллизации расплавов, «Химия», 1975.
2. Д.П. Лебедев, Т.Л. Перельман. Тепло- и массообмен в процессах сублимации в вакууме, «Энергия», 1973.
3. В.А. Григорьев, Ю.И. Крохин. Тепло- и массообменные аппараты криогенной техники. Энергоиздат, М., 1982.

*Д.А. Самсонов, асп.; рук. Л.М. Дыскин, д.т.н., проф.,
(ННГАСУ, г. Н. Новгород)*

ПРИМЕНЕНИЕ ДАТЧИКА ПЛОТНОСТИ ТЕПЛООВОГО ПОТОКА В ИССЛЕДОВАНИЯХ КОНВЕКТИВНОГО ТЕПЛООБМЕНА

В настоящее время является актуальной проблема совершенствования критериальных уравнений теплоотдачи при течении жидкости в канале. Широко используемые зависимости были получены на основе опытных данных около пятидесяти лет назад. С тех пор метрологическое обеспечение было значительно усовершенствовано, появились новые методы исследования конвективного теплообмена.

В настоящее время известно несколько методов экспериментально определения коэффициентов теплоотдачи [1]. Наиболее ранним является метод электрически обогреваемой трубы, внутри которой движется теплоноситель. Множество факторов ограничивающих выбор теплоносителя и граничных условий, а также высокая погрешность определения основных физических величин (20 — 30%) не позволяют использовать его для исследования теплообмена при течении жидкости в канале.

Более точные данные можно получить, используя метод толсто-стенной трубы, или, как его еще называют, градиентный метод [2]. При использовании этого метода отсутствуют ограничения по типу применяемого теплоносителя и направлении теплового потока, однако, погрешность определения коэффициента теплоотдачи составляет около 15 — 20%. По этой причине данный метод не может быть признан перспективным.

В связи со значительным прогрессом последние годы в изготовлении датчиков плотности теплового потока появляется возможность определения коэффициентов теплоотдачи с недостижимой ранее точностью. Максимальная относительная погрешность эталонных датчиков теплового потока, изготавливаемых ОАО НПП «Эталон» (г. Омск) [3] составляет не более 1,5%. Таким образом, погрешность определения коэффициента теплоотдачи составит порядка 5 — 10%.

Необходимо подробнее рассмотреть последний метод. Принципиальная схема экспериментальной установки показана на рис. 1. Первичный теплоноситель, в качестве которого удобно применять перегретый пар, движется внутри трубы, покрытой теплоизоляцией. На свободный от изоляции участок накладывается датчик плотности теплового потока. Так как высокоточные тепломеры могут быть изготовлены только в жест-

ком исполнении, то между ним и стенкой трубы применяется адаптер, изготовленный из материала с высоким коэффициентом теплопроводности.

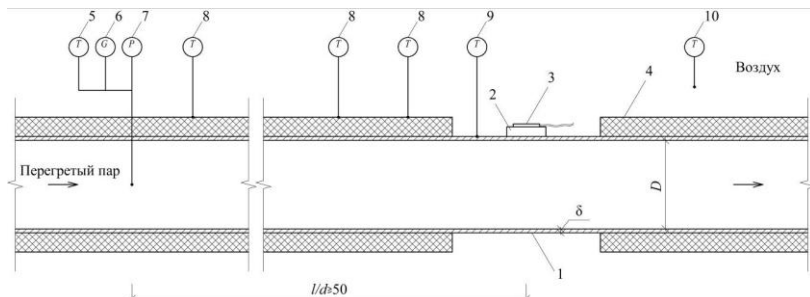


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной установки:

1 — стальная труба диаметром D , мм и толщиной стенки δ , мм; 2 — медный адаптер; 3 — датчик плотности теплового потока; 4 — слой теплоизоляции; 5 — датчик для измерения температуры потока; 6 — датчик для измерения расхода пара; 7 — датчик для измерения давления пара; 8 — датчик для измерения температуры поверхности теплоизоляции; 9 — датчик для измерения температуры наружной поверхности стенки трубы; 10 — датчик для измерения температуры окружающего воздуха.

С помощью откалиброванного термометра измеряется температура стенки трубопровода. За измерения параметров потока отвечает комплекс датчиков, удаленный от точки установки датчика плотности теплового потока на расстояние не менее 50 внутренних диаметров трубы. Для оценки величины падения температуры пара по пути к точке измерения плотности теплового потока определяются температуры поверхности изоляции и омывающего воздуха.

Измерения проводятся несколько раз при различных расходах первичного теплоносителя.

Датчик плотности теплового потока, называемый также тепломером, представляет из себя пластину известной толщины, изготовленную из материала с точно определенным коэффициентом теплопроводности. С обеих его плоскостей расположены термопары [1]. Плотность теплового потока ($\text{Вт}/\text{м}^2$) определяется из соотношения:

$$q = \frac{\lambda}{\delta} \cdot \Delta t,$$

где λ — коэффициент теплопроводности материала пластины, $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$; δ — толщина пластины, м; Δt — перепад температур по толщине пластины, $^{\circ}\text{C}$.

Из уравнения Ньютона–Рихмана, коэффициент теплоотдачи $\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ определяется следующим образом:

$$\alpha = \frac{q}{t_{\text{ж}} - t_{\text{с}}},$$

где $t_{\text{ж}}$ — температура жидкости, $^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{с}}$ — температура стенки канала, $^{\circ}\text{C}$.

Исходя из полученных экспериментальных данных, строится зависимость числа Нуссельта от числа Рейнольдса $\text{Nu} = f(\text{Re})$ в логарифмических координатах. Затем эта зависимость представляется уравнением вида:

$$\text{Nu} = c \cdot \text{Re}^n .$$

Таким образом, используя в экспериментальном исследовании датчик теплового потока, становится возможным получить уточненное критериальное уравнение теплоотдачи при течении жидкости в канале. Это позволит производить расчеты поверхностей теплообмена различных аппаратов и их температурных режимов с высоким качеством.

Библиографический список

1. **Осипова, В. А.** Экспериментальное исследование процессов теплообмена [Текст] : Учеб. пособие для вузов / В. А. Осипова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергия, 1979. – 320 с. : ил.
2. **Петухов, Б. С.** Вопросы теплообмена [Текст] / Б. С. Петухов. – М. : Наука, 1987.
3. **ОАО НПП «Эталон»** [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.omsketalon.ru>

***А.В. Тупунин, И.С. Астафьев студ.; рук. И.М. Чухин к.т.н.,
доц.,
(ИГЭУ, г. Иваново)***

УВЕЛИЧЕНИЕ ЭКОНОМИЧНОСТИ ПГУ ЗА СЧЕТ РЕГЕНЕРАЦИИ ТЕПЛОТЫ ТРЕНИЯ ГТУ

Известно, что традиционная регенерация в газовом контуре парогазовой установки с котлом-утилизатором (ПГУ с КУ) не приводит к увеличению ее КПД [1, 2]. Авторы рассматривают возможность использования теплоты необратимости адиабатного процесса расширения газа в газовой турбине (теплоты трения) для регенеративного подогрева воздуха, выходящего из компрессора с целью увеличения КПД ПГУ. Схема такой регенеративной ПГУ с КУ представлена на рис. 1.

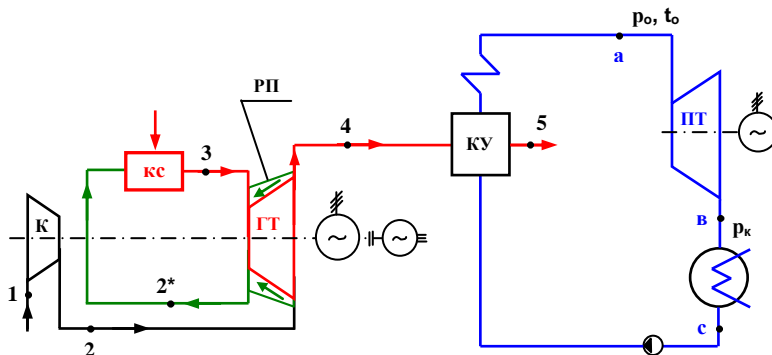


Рисунок 1. Схема ПГУ с КУ и регенерацией в газовом контуре:
К – компрессор; **КС**– камера сгорания; **ГТ** – газовая турбина; **РП** – регенеративный подогреватель; **КУ** – котел-утилизатор; **ПТ** – паровая турбина

Воздух, выходящий из компрессора, поступает в регенеративный подогреватель (РП), который выполнен в виде кожуха корпуса газовой турбины (ГТ). В таком теплообменнике воздух изобарно нагревается за счет разности температур корпуса газовой турбины и воздуха.

Теплота, передаваемая газами газовой турбины воздуху в РП, может рассматриваться как теплота трения необратимого адиабатного процесса расширения газа в газовой турбине. Условно эту теплоту можно показать в T, s - диаграмме (рис. 2), как площадь под процессом 34. Такое же количество теплоты получает воздух на изобарном процессе 22*.

Рассчитать теплоту трения можно, приняв закономерность изменения параметров газа в процессе 34, по политропе.

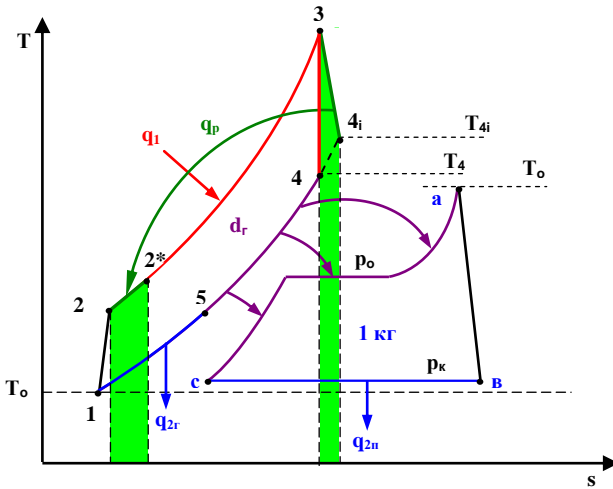


Рис. 2. Цикл ПГУ с КУ и регенерацией теплоты необратимости газовой турбины в T,s- диаграмме

Показатель политропы процесса 34_i, его теплоемкость и теплота в этом случае могут быть определены по формулам

$$n = 1 / (1 + \ln \left(\frac{T_3}{T_{4i}} \right) / \ln \left(\frac{p_1}{p_2} \right)), \quad c = c_v \frac{n - k}{n - 1}$$

$$q_{mp} = c(T_{4i} - T_3) = c_p (T_{2*} - T_2).$$

За счет отвода теплоты от газов в процессе его расширения в турбине его траектория приближается к изэнтропе 34, что приводит к увеличению удельной работы газовой турбины. Снижение температуры газов на выходе из газовой турбины в этом случае может привести к снижению температуры пара перед паровой турбиной T_o. Удельная теплота, подведенная к рабочему телу в таком цикле q₁, снизится по сравнению с обычным циклом ПГУ с КУ.

Эффективность использования такой регенерации в ПГУ с КУ была проверена выполнением расчетов двух циклов ПГУ со следующими параметрами рабочих тел:

для ГТУ: t₁=20 °C, t₃=1000 °C, t₅=140 °C, η_к=0,85, η_т=0,88;

для ПТУ: p_o=40 бар, t_o=480 °C, p_к=0,04 бар, η_т=0,90, η_н=0,85;

величину степени повышения давления воздуха в компрессоре v = p₂/p₁ для каждого из циклов ПГУ выбирали оптимальной.

Основные результаты этих расчетов приведены в таблице.

Таблица 1. Результаты расчетов ПГУ с КУ и ПГУ с КУ и регенерацией

Величина	$v_{\text{опт}}$	d_r	t_4	q_p	l_r	$l_{\text{пгу}}$	q_1	η_i
		кг/кг _{H2O}	°C	кДж/кг	кДж/кг _{H2O}	кДж/кг _{H2O}	кДж/кг _{H2O}	
ПГУ	6	7,97	551	-	1742	1150	5978	0,484
ПГУ с рг.	5	8,39	531	71,2	2249	1150	5938	0,572

Обозначения величин, приведенные в таблице:

d_r – удельный расход газов на 1 кг пара в цикле ПГУ;

t_4 – температура газов на выходе из газовой турбины;

q_p – удельная теплота на 1 кг газа, идущая на регенеративный нагрев воздуха в РП;

l_r – удельная работа ГТУ на 1 кг пара в составе ПГУ;

$l_{\text{пгу}}$ – удельная работа ПТУ на 1 кг пара в составе ПГУ;

q_1 – удельная теплота, подведенная к рабочему телу в ПГУ на 1 кг пара;

η_i – внутренний абсолютный КПД ПГУ.

На основании результатов расчетов, приведенных в таблице, можно сделать следующие выводы:

- использование теплоты трения адиабатного процесса расширения газа в газовой турбине для регенеративного нагрева воздуха позволяет увеличить КПД ПГУ с КУ на 15,3 % (относительных);
- введение такой регенерации снижает оптимальное значение степени повышения давления воздуха в компрессоре (с 6 до 5);
- снижение температуры газов на выходе из газовой турбины при введении регенерации приводит к увеличению удельного расхода газа на 1 кг пара в ПГУ (с 7,97 до 8,39);
- приближение процесса расширения газа в газовой турбине в цикле с регенерацией приводит к увеличению удельной работы ГТУ на 29 % (относительных, с 1742 до 2249 кДж/кг_{H2O});
- удельная подведенная теплота к рабочему телу в цикле ПГУ с регенерацией уменьшилась на 0,7 % (относительных, с 5978 до 5938 кДж/кг_{H2O});
- увеличение КПД цикла ПГУ с регенерацией по сравнению с аналогичным циклом ПГУ без регенерации в основном объясняется увеличением полезной работы газотурбинной установки.

Библиографический список

1. Чухин И.М. Техническая термодинамика. Часть 2., учебн. пособие. – ИГЭУ, 2008, 228 с.
2. Цанев С.В., Буров В.Д., Ремезов А.Н. Газотурбинные и парогазовые установки электростанций. Учебн. пособие для вузов. – М.: Издательство МЭИ, 2002, 584 с.

**Р.Р. Шакиров, Д.Н. Суриков студ.; рук. И.М. Чухин к.т.н., доц.,
(ИГЭУ, г. Иваново)**

УВЕЛИЧЕНИЕ КПД АЭС ЗА СЧЕТ РЕГЕНЕРАЦИИ ТЕПЛОТЫ ТРЕНИЯ ЧВД

Известно, что в традиционной схеме АЭС на насыщенном водяном паре используется сепаратор и пароперегреватель для снижения влажности пара на выходе из турбины. Пароперегреватель в такой схеме термодинамически не рациональный регенеративный подогреватель, т.к. греющий пар не участвует в выработке полезной мощности [1, 2].

Авторы рассматривают возможность использования теплоты необратимости адиабатного процесса расширения пара в ЧВД турбине (теплоты трения) для регенеративного подогрева пара, выходящего из сепаратора с целью увеличения КПД АЭС на насыщенном водяном паре. Схема такой АЭС представлена на рис. 1.

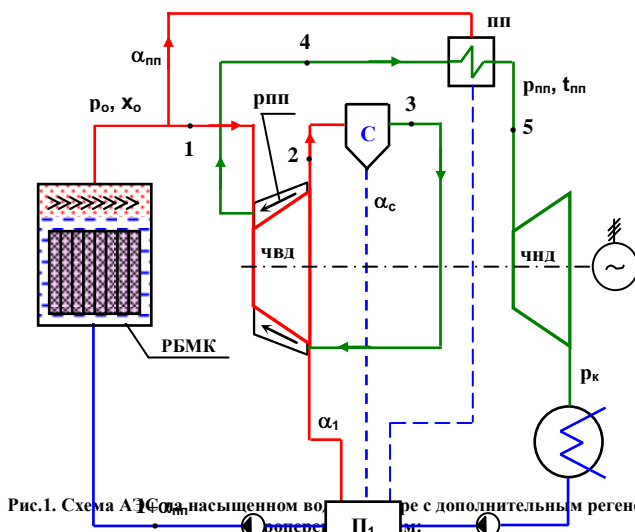


Рис.1. Схема АЭС на насыщенном водяном паре с дополнительным регенеративным подогревателем: РБМК – ядерный реактор кипящего типа; С – сепаратор; ПП – пароперегреватель; РПП – регенеративный пароперегреватель; ЧВД и ЧНД – части высокого и низкого давления турбины; П₁ – смешивающий регенеративный подогреватель

Водяной пар, выходящий из сепаратора, поступает в регенеративный подогреватель (РПП), который выполнен в виде кожуха корпуса ЧВД турбины. В таком теплообменнике пар изобарно нагревается за счет разности температур корпуса газовой турбины и пара.

Теплота, передаваемая от корпуса ЧВД турбины пару в РПП, может рассматриваться как теплота трения необратимого адиабатного процесса расши-

рения пара в ЧВД турбины. Условно эту теплоту можно показать в T,s- диаграмме (рис. 2), как площадь под процессом 12. Такое же количество теплоты получает пар на изобарном процессе 34.

Рассчитать теплоту трения можно, приняв закономерность изменения параметров пара в процессе 12 линейной в T,s- диаграмме.

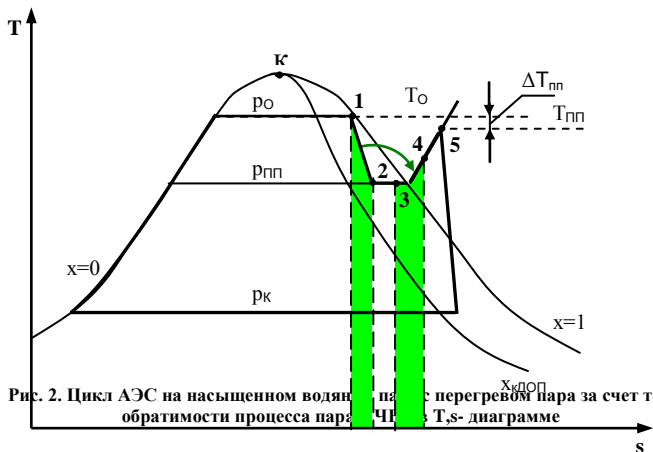


Рис. 2. Цикл АЭС на насыщенном водяном паре с перегревом пара за счет теплоты необратимости процесса пара в ЧВД в T,s- диаграмме

Теплота трения адиабатного процесса 12 в этом случае может быть определена по формуле

$$q_{тр} = \frac{(T_0 - T_2)(s_2 - s_1)}{2} + T_2(s_2 - s_1)$$

За счет подвода теплоты к пару, выходящему из сепаратора, в регенеративном подогревателе ЧВД турбины (РПП) снизится расход свежего пара ($\alpha_{пп}$), что приведет к увеличению КПД АЭС по сравнению с аналогичным циклом АЭС без РПП. Дополнительным эффектом АЭС с РПП будет увеличение удельной работы ЧВД турбины, т.к. за счет отвода теплоты трения адиабатный процесс пара в ЧВД будет приближаться к изоэнтропному процессу.

Целесообразность использования такой регенерации для АЭС на насыщенном паре была проверена выполнением расчетов двух циклов АЭС: традиционного цикла АЭС и АЭС с РПП. Эти циклы рассчитывались при следующих исходных данных:

$p_0=6,4$ МПа, $x_0=0,995$, $p_{пп}=0,5$ МПа, $x_2=0,84$, $x_c=0,99$, $t_{пп}=263$ °С, $p_k=0,004$ МПа, $x_k=0,93$.

Основные результаты этих расчетов приведены в таблице.

Таблица 1. Результаты расчетов циклов простой АЭС и АЭС с РПП

Величина	$q_{тр}$	α_1	α_c	$\alpha_{пп}$	$l_{пу}$	q_1	η_i
	кДж/кг				кДж/кг	кДж/кг	

АЭС простая	-	0,167	0,126	0,1198	786,8	2386	0,330
АЭС с РПП	74,1	0,183	0,124	0,0597	778,7	2258	0,345

Обозначения величин, приведенные в таблице:

$q_{тр}$ – удельная теплота, идущая на регенеративный нагрев пара в РПП;

α_1 – доля пара, идущая на регенеративный подогреватель П₁;

α_c – доля отсепарированной влаги в сепараторе;

$\alpha_{пп}$ – доля свежего пара, идущая на пароперегреватель;

$I_{шту}$ – удельная работа ПТУ на 1 кг пара перед ЧВД;

q_1 – удельная подведенная к рабочему телу теплота в цикле ПТУ;

η_i – внутренний абсолютный КПД цикла АЭС.

На основании результатов расчетов, приведенных в таблице, можно сделать следующие выводы:

- использование теплоты трения адиабатного процесса расширения пара в ЧВД турбины для регенеративного нагрева пара, выходящего из сепаратора, позволяет увеличить КПД АЭС на 4,35 % (относительных);
- введение такой регенерации снижает долю отбора свежего пара на пароперегреватель почти в два раза;
- учет приближения процесса расширения пара в ЧВД турбины к изоэнтропе за счет отвода теплоты через корпус приведет к дополнительному увеличению КПД АЭС.

Библиографический список

1. Чухин И.М. Техническая термодинамика. Часть 2., учебн. пособие. – ИГЭУ, 2008, 228 с.
2. Маргулова Т.Х. Атомные электрические станции. – М.: Высшая школа, 1984 – 304 с.

*В.С. Наумов студ.; рук. И.М. Чухин к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ НА ЭВМ «АНАЛИЗ ТЕПЛОВОЙ ЭКОНОМИЧНОСТИ ЦИКЛА ПГУ»

Цель разработки заключается в создании лабораторной работы на ЭВМ, позволяющей выполнить термодинамический анализ экономичности цикла парогазовой установки с котлом-утилизатором (ПГУ с КУ). Термодинамический анализ ПГУ с КУ предполагает оценку влияния параметров рабочих тел газового и парового контуров ПГУ, степени повышения давления воздуха в компрессоре и необратимости адиабатных процессов на КПД и техническую работу цикла ПГУ с КУ [1, 2].

Реализация данной цели выполнена путем разработки программы для ЭВМ на языке Borland Delphi 7 Enterprise. Программа позволяет выполнить варианты расчеты показателей тепловой экономичности цикла ПГУ с КУ на основании заданных студентом исходных параметров рабочих тел цикла с экрана монитора (рис. 1).

Анализ тепловой экономичности ПГУ с котлом-утилизатором

Теория | Анализ работы циклов ПГУ | Помощь | Выход

Рассчитать | Графики | Печать | Сохранить | Выход

Установка параметров ГТУ

$t_1 = 20^\circ\text{C}$ | $v_{\text{max}} = 30$ | $\eta_{\text{ка}} = 0,85$
 $t_3 = 1000^\circ\text{C}$ | $\eta_{\text{ра}} = 0,85$

Установка параметров ПГУ

$p_0 = 100$ бар, $t_0 = 450^\circ\text{C}$
 $\eta_{\text{ин}} = 0,85$
 $\eta_{\text{к}} = 0,85$

Параметр исследования: η v c T_3 T_1 | 1

v	T2, K	T4, K	lk, кДж/кг	lгт, кДж/кг	lгт, кДж/кг	КПДгт, %	lгт, кДж/кг	КПДпгу, %	d	lгт, кДж/кг	КПДпгу, %
7.000	511.8394	789.8032	239.9857	495.5160	2028.9011	0.3210	1043.5392	0.3218	8.2633	3072.4403	0.4862
8.000	533.6178	765.4801	261.8687	509.9558	2191.4930	0.3339	1043.5392	0.3140	8.8336	3235.0322	0.4929
9.000	553.5297	744.7825	281.8761	530.7528	2335.6145	0.3443	1043.5392	0.3069	9.3846	3379.1537	0.4981
10.000	571.3182	726.8447	301.7528	564.6124	2560.6674	0.3595	1043.5392	0.2940	10.4455	3624.2066	0.5020
11.000	588.0363	711.0846	317.5532	564.6124	2560.6674	0.3595	1043.5392	0.2940	10.4455	3624.2066	0.5049

К исходным данным расчета ПГУ относятся:
 для газового контура: температура воздуха перед компрессором t_1 , температура газов перед газовой турбиной t_3 , степень повышения давления воздуха

в компрессоре v , внутренний относительный КПД газовой турбины $\eta_{гт}$, адиабатный коэффициент компрессора η_k ;

для парового контура: давление и температура водяного пара перед турбиной p_0 , t_0 , давление пара в конденсаторе турбины p_k , внутренний относительный КПД паровой турбины $\eta_{пт}$, адиабатный коэффициент насоса η_n .

При заданных исходных данных программа позволяет выполнять варианты расчеты путем пошагового изменения степени повышения давления воздуха в компрессоре, температур воздуха на входе в компрессор и газов перед турбиной.

Расчетными величинами программы являются:

для ГТУ: температуры рабочего тела на выходе из компрессора t_2 и газовой турбины t_4 , удельные работы компрессора, газовой турбины, цикла ГТУ и КПД автономной ГТУ;

для ПГУ: удельную работу цикла и его КПД;

для ПГУ: удельный расход газа на 1 кг водяного пара, удельная работа цикла ПГУ и КПД.

Результаты расчета программа может представлять в виде цифрового материала в табличном виде. Таблицу можно распечатать или сохранить в виде файла. Ряд анализируемых величин программа представляет в виде графиков функций, определяющих экономичность ПГУ, например $\eta_{пгу} = f(v)$, $\eta_{пгу} = f(t_3)$, $\eta_{пгу} = f(p_0, t_0)$ и т.д.

В меню программы есть теоретическая часть, исследуемых вопросов данной лабораторной работы, тест проверки знаний студентов, которые они должны приобрести в ходе выполнения данной работы, и база результатов предыдущих тестов студентов.

Данную лабораторную работу планируется ввести в учебный процесс в рамках дисциплины «Техническая термодинамика» для студентов теплотехнических специальностей.

Библиографический список

1. Чухин И.М. Техническая термодинамика. Часть 2., учебн. пособие. – ИГЭУ, 2008, 228 с.
2. Цанев С.В., Бузов В.Д., Ремезов А.Н. Газотурбинные и парогазовые установки электростанций. Учебн. пособие для вузов. – М.: Издательство МЭИ, 2002, 584 с.

*Р. А. Вилесов, студ.; рук. Т. Е. Созинова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ «ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООТДАЧИ В УСЛОВИЯХ ПУЗЫРЬКОВОГО РЕЖИМА КИПЕНИЯ ВОДЫ»

Кипение – процесс, при котором вещество из жидкой фазы переходит в паровую фазу.

При кипении жидкости на твердой поверхности различают два основных режима: пузырьковый и пленочный.

Пузырьковое кипение характеризуется образованием пара в виде отдельных пузырей. Пузырьки пара возникают в отдельных точках поверхности нагрева (центрах парообразования), когда температура этой поверхности превышает температуру насыщения в объеме жидкости. Экспериментально установлено, что пузыри пара образуются при перегреве в 5 градусов (при нормальном атмосферном давлении) [1].

Пузырьковое кипение, в отличие от пленочного, характеризуется высокой интенсивностью теплообмена (высокий коэффициент теплоотдачи). При повышении тепловой нагрузки, термическое сопротивление жидкости падает, следовательно, растет коэффициент теплоотдачи. Увеличение коэффициента теплоотдачи с ростом тепловой нагрузки продолжается до тех пор, пока в объеме существуют условия для беспорядочно отвода паровых пузырьков от поверхности нагрева, но при определенной тепловой нагрузке (критической), зависящей от рода жидкости, давления и динамики пузырей, отвод паровых пузырей ухудшается, что ведет к кризису кипения (максимальный тепловой поток для воды при атмосферном давлении равен $10^5 \div 9 \cdot 10^5$ Вт/м² [1]).

Давление на возникновение парового зародыша влияет обратно пропорционально – увеличение давления ведет к уменьшению минимального диаметра зародышей, следовательно, повышает коэффициент теплоотдачи.

Таким образом, при развитом пузырьковом кипении коэффициент теплоотдачи зависит только от тепловой нагрузки (теплого потока) и давления насыщения [2]:

$$\alpha = 3,0q^{0,7} p^{0,15},$$

где q – тепловая нагрузка, Вт/м²; p – давление, бар.

К внутренним характеристикам можно отнести критический радиус парового пузыря, скорость его роста, отрывной диаметр, частоту отрыва, количество центров парообразования, скорость всплытия пузырей. Данные характеристики влияют на теплообмен в целом.

На коэффициент теплоотдачи также влияют теплофизические свойства материала нагревателя, шероховатость, расположение в пространстве (в объеме кипящей жидкости) и др.

Процесс кипения получил широкое применение. Процесс кипения применяется в охлаждающих системах каких-либо элементов, работающих при высоких температурах, перегрев этих элементов может привести к различным аварийным ситуациям, которые могут повлиять на технологический процесс (или работу предприятия) и даже на разрушение всей конструкции. Кипение, как процесс охлаждения нагретой поверхности широко применяется в энергетике.

Существует ряд сложностей при изучении процесса кипения. Кипение сопровождается нерегулярным пульсирующим парообразованием с интенсивными гидравлическими ударами, звуковыми эффектами и температурными флуктуациями.

Созданная имитационная модель позволяет проанализировать процесс теплоотдачи в условиях пузырькового кипения жидкости.

Установка по изучению процесса кипения представляет собой сосуд большого объема. В верхней части сосуда смонтирован конденсатор для конденсации выделяющегося пара.

Поверхность теплообмена представляет собой тонкостенную трубку, внутри которой находится нагревательная спираль, подключенная к электрической цепи. Мощность регулируется электрическим автотрансформатором. Определение мощности происходит посредством измерения напряжений на трубке и на образцовом сопротивлении с помощью мультиметра:

$$Q = \frac{U_0}{R_0} U ,$$

при этом величина образцового сопротивления R_0 известна.

Измерение температуры поверхности опытной трубки происходит в двух точках с помощью термопар. Температура жидкости измеряется термопарой, установленной в рабочем объеме сосуда. Измеритель температур показывает значения температур стенки и жидкости, фиксируемые термопарами.

Для исключения тепловых потерь в окружающую среду сосуд выполнен с двойными стенками. Пространство между этими стенками заполнено водой. Перед проведением эксперимента вода предварительно нагревается до определенной температуры с помощью дополнительного нагревателя, расположенного в нижней части сосуда.

Компьютерная модель-имитатор представляет собой программу, написанную с использованием платформы .NET Framework 2.0 (воз-

можно работа и с более поздними версиями в системах под управлением Windows x86 и x64). Программа имитирует экспериментальную установку (рис.1). Основное окно программы разбито на 3 основные панели:

- 1) принципиальное изображение установки;
- 2) панель параметров и показаний;
- 3) журнал наблюдений (температуры, замеряемые на стенках тонкостенной трубки, и температура воды).

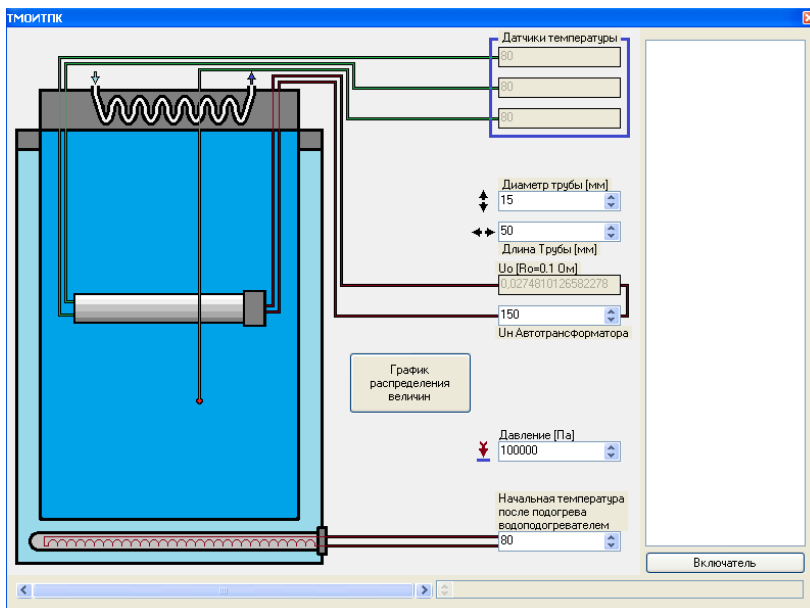


Рис. 1. Внешний вид имитационной модели лабораторной работы

В данной модели имеется возможность менять следующие параметры: диаметр и длина обогреваемой трубки (мм), напряжение на нагревателе (В), давление в сосуде, начальная температура, до которой происходит предварительный нагрев воды с помощью охранного нагревателя.

Измеряемые величины: 2 температуры на поверхности стенки трубки, температура воды, напряжение на образцовом сопротивлении.

При включении установки все параметры строго фиксируются, блокировка отключается после снятия последнего показания температуры.

Измерив температуру стенки трубки в двух точках, найдем среднее значение

$$t_w = \frac{1}{2} (t_1 + t_2)$$

Зная температуру стенки t_w и температуру насыщения t_n при известном давлении в сосуде, можно найти коэффициент теплоотдачи [2]

$$\alpha = \frac{Q}{F \Delta t},$$

где $\Delta t = t_w - t_n$ – температурный напор, °С; $F = \pi d l$ – площадь поверхности нагрева опытной трубки, м².

Выполнив ряд экспериментов, можно построить функциональные зависимости $q = f(\Delta t)$ и $\alpha = f(\Delta t)$. Программный продукт имеет возможность построения данных зависимостей.

Библиографический список

1. **Теория тепломассобмена:** Учебник для технических университетов и вузов / С.И. Исаев, И.А. Кожин, В.И. Кофанов и др.; Под ред. А.И. Леонтьева. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1997. – 683 с.
2. **Теплопередача:** Учебник для вузов / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоиздат, 1981. – 416 с.

*Гомырова А.А., Щеголева Е.А., студ.; рук. Т. Е. Созинова
к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ЗАДАЧИ РАДИАЦИОННОГО ТЕПЛООБМЕНА

Радиационное излучение является одним из видов передачи теплоты наряду с конвекцией и кондукцией. Известно, что носителями лучистой энергии являются электромагнитные колебания с длиной волны от малых долей микрона до многих километров. В зависимости от диапазона длин волн лучи классифицируются на рентгеновские, ультрафиолетовые, световые, инфракрасные, радиоволны. Для нас наибольший интерес представляют лучи, возникновение которых определяется только температурой и оптическими свойствами излучающего тела. Такими свойствами обладают световые и инфракрасные лучи, т.е. лучи с длиной волны приблизительно от 0,5 до 800 мкм. Эти лучи называют тепловыми, а процесс их распространения – тепловым излучением [1].

Целью работы является сбор и классификация прикладных задач в соответствии с условием и развитие умения расчета процессов излучения для проектировочных расчетов теплоэнергетического оборудования.

В данной работе было проделано следующее:

1. сбор и анализ задач из различных задачников по теплообмену [2-8];
2. классификация заданий по соответствующим темам;
3. решение данных задач, проверка правильности ответов;
4. оформление примеров решения задач (по одной задаче из каждого раздела).

При обработке заданий в соответствии с формулировкой и условиями предложена следующая классификация задач по радиационному излучению:

- A. Собственное излучение абсолютно черного и серых тел;
- B. Излучение в системе двух серых тел, разделенных лучепрозрачной средой;
- C. Экраны;
- D. Излучение газов и жидкостей;
- E. Сложный теплообмен.

В результате проведения анализа и систематизации задач радиационного теплообмена появляется возможность написания многовариантных постановок задач, например, для организации самостоятельной работы студентов в виде домашних индивидуальных расчетных заданий, как для очного, так и для заочного обучения.

Библиографический список

1. М. А. Михеев, И. М. Михеева. Основы теплопередачи.–Изд. 2-е, стер.–М.: Энергия, 1977. – 344 с.: ил.
2. Воскресенский К.Д. Сборник расчетов и задач по теплопередаче. – Изд. 2-е, стер.. – М.: Госэнергоиздат, 1959.–335с.
3. Сборник задач по термодинамике и теплопередаче. Учебн. Пособие для авиационных вузов.–М.: Высш. школа, 1972.
4. Афанасьев В.И., С.И. Исаев. Задачник по технической термодинамике и теории теплообмена. Учебн. пособие для энергомашиностроит. спец. Вузов/ под ред. В.И. Крутова и Г.Б. Кожинов и др. – М.: Высш. шк., 1986. – 383 с.: ил.
5. Е.В. Дрыжаков, С.И. Исаев и др. Сборник задач по технической термодинамике и теплопередаче. – М.: Высш. шк., 1968.
6. В.В. Авчухов, Б.Я. Паюсте. Задачник по процессам теплообмена. Учебн. Пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1968. – 144 с. ил.
7. Типовые задачи по курсу "Теоретические основы теплотехники". Методич. указания для самостоятельной работы/под ред. Т.В. Соловьева. – И., 2007.
8. Е.А. Краснощеков, А.С. Сукомел. Задачник по теплопередаче. Учебн. Пособие для вузов. – 4-е изд., перераб. – М.: Энергия, – 4-е изд., перераб. – М.: Энергия, 1980. – 288 с., ил.

Т.В. Шахмердянова, студ.; рук-ли В.В. Бухмиров д.т.н., проф.,

Т.Е. Созинова, к.т.н., доцент (ИГЭУ, г. Иваново)

ТЕПЛОВИЗИОННОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ ИГЭУ

Тепловизионное обследование зданий и сооружений – это современная диагностика в инфракрасном диапазоне спектра электромагнитного излучения для обнаружения дефектов и их анализа.

Типовая структура расхода тепловой энергии зданием выглядит следующим образом [1]:

- наружные стены 35÷45%;
- окна 20÷30%;
- вентиляция 15%;
- горячая вода 10%;
- крыша, пол 5÷10%;
- трубопровод, арматура 2%.

То есть наибольшие потери тепловой энергии приходится на наружные стены зданий.

В соответствии с ГОСТ 26629-85 [2] тепловизионную съемку зданий следует проводить в холодное время года, когда разница температур наружного и внутреннего воздуха составляет 15-20 °С, при отсутствии осадков. Условия тепловой инерции материалов конструкций при термографии наружной части здания требуют, чтобы обследуемый объект не находился на солнце в течение 12 часов, предшествующих съемке. То есть тепловизионное обследование желательно проводить в предрассветные часы. По возможности следует выбирать безветренные дни для проведения съемки.

Тепловизионное обследование зданий позволяет определить скрытые дефекты теплоизоляции или конструктивные недоработки (наличие дефектов кирпичной кладки, возможное нарушение в местах соединения элементов сборных конструкций, недочеты в перекрытиях зданий, мостики холода, недостаточный уровень утепленности конструкции, утечки тепла через застекленные участки и оконные проемы конструкции, места скопления лишней влаги) [3].

Тепловизионный контроль объектов наиболее качественно проводить в длинноволновом диапазоне (8-14 мкм) инфракрасной области спектра. При проведении термографического об-

следования использовался тепловизор (тепловизионная камера) testo 882, который работает в указанном диапазоне длин волн.

Тепловизор testo 882 отличается эргономичный дизайн в виде рукоятки-пистолета. Высокое разрешение 320×240 пикселей (76 800 температурных точек) позволяет получать еще более четкие и детальные снимки. Таким образом, задача по выявлению дефектов и потенциально проблемных участков даже на больших расстояниях решается с еще большей легкостью [4].

Тепловизионное обследование корпуса В в рамках энергоаудита было проведено в 2009 году [5].

5 и 6 марта 2012 года в предрассветные часы (с 4-30 до 7-45) сотрудники кафедры ТОТ провели тепловизионное обследование корпусов ИГЭУ: корпуса А, корпуса Б, корпуса Г, корпуса Д, корпуса Е и спортивного корпуса, а также спортивного модуля, склада, комплекса зданий УПМ. Всего было сделано около 700 термограмм наружной съемки.

Предварительные результаты тепловизионного обследования:

1. наибольшие тепловые потери наблюдаются через оконные проемы;
2. в большом количестве нарушено остекление в некоторых зданиях, что приводит к существенным потерям;
3. в области размещения отопительных приборов некоторых зданий существуют повышенные тепловые потери.

Тепловизор поставляется с программным обеспечением, необходимым для хранения и анализа инфракрасных изображений (определения тепловых аномалий, построения термопрофилограмм и т.д.). По завершении тепловизионной съемки необходимо провести детальную обработку каждого кадра, заключающуюся в расшифровке термограмм. На основании проведенного анализа будут предложены рекомендации по улучшению качества изоляции ограждающих конструкций.

Библиографический список

1. http://www.esco-ecosys.narod.ru/2009_5/art150.htm
2. ГОСТ 26629-85. Здания и сооружения. Метод тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций.
3. <http://www.zlx.ru/teplovizionnoe-obsledovanie-zdani.html>
4. http://www.testosites.de/cms/thermalimaging/ru_RU/

5. Бухмиров В.В., Пуганова К.П., Солнышкова Ю.С., Родионов Г.А., Созинова Т.Е. Энергоаудит корпуса «В» ИГЭУ // Состояние и перспективы развития электротехнологии: Междунар. науч.-техн. конф. (XV Бенардосовские чтения): Тез. докл. в 2-х т. Т.2. – И.: ГОУ ВПО ИГЭУ. – 2009 г. – с. 33.

Н.А. Хан, студ., П.А. Суркова, студ.;
рук. Ю.С. Солнышкова, ст. преп. (ИГЭУ, г. Иваново)
**ВЛИЯНИЕ ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА**

Инфракрасное излучение (ИК - излучение) представляет собой электромагнитное излучение в диапазоне волн $\lambda=0,76-1000\text{мкм}$. Человеческий организм, как и любое другое тело, поглощает падающее на него излучение во всем спектральном диапазоне длин волн, и сам является источником теплового излучения.

Температура окружающих человека предметов играет весьма существенную роль в обеспечении комфортных условий, как в быту, так и общественных и промышленных зданиях. При установлении санитарно-гигиенических норм необходимо учитывать окружение человека не только воздушной средой, но и твердыми ограждениями, температура которых существенно влияет на микроклимат в помещениях всех типов: жилых, общественных и производственных. Снижение температуры ограждений благоприятно сказывается на комфортных ощущениях человека.

Кожа не является непроницаемой для инфракрасного излучения, вследствие чего наличие холодных поверхностей может быть причиной прямого охлаждения глуболежащих тканей и играть существенную роль в этиологии некоторых заболеваний.

Биологическое действие энергии излучения зависит от спектрального диапазона электромагнитных волн, интенсивности и времени действия излучения. Весь диапазон инфракрасного излучения подразделяют на три диапазона [1]: $0,76 < \lambda < 1,4 \text{ мкм}$; $1,4 < \lambda < 3,0 \text{ мкм}$; $3,0 < \lambda < 1000 \text{ мкм}$. Наиболее опасно для здоровья человека излучение в коротковолновой части спектра с длиной волны $\lambda < 1,4 \text{ мкм}$, которое проходит не только сквозь кожу, но и через кости, глаза и мозг человека [2]. Инфракрасные лучи

с длиной волны $\lambda > 3,0$ мкм не вызывают катаракты, не проникают глубоко в кожу человека и оказывают тепловой эффект благоприятный для человека.

Длинноволновое инфракрасное излучение применяется для лечения ряда заболеваний: ушибов, кровоподтеков, заболеваний грудной клетки, вспомогательных процессов нервной и мышечной тканей, келоидных рубцов и т.д. В настоящее время интерес к использованию ИК-излучения в терапевтических целях возрастает [3]. По интенсивности излучения величина падающего радиационного теплового потока нормируется согласно ГОСТ 12.1.005 - 88 [4]. При этом нормируемая величина падающего теплового потока зависит от процента облучаемой поверхности тела, типа источника облучения и наличия средств индивидуальной защиты человека. Максимальная величина падающего теплового потока незащищенного тела человека не должна превышать 35 - 100 Вт/м² в зависимости от величины облучаемой поверхности тела человека [4].

Библиографический список

1. Международный светотехнический словарь [Электронный ресурс]. URL: <http://forum.rudtp.ru/showpost.php?p=224523&postcount=1> (дата обращения 18.02.2012).
 2. Губернский Ю.Д. Биологическое действие инфракрасной радиации и гигиеническое нормирование микроклимата при лучистом обогреве жилищ [Текст] / Ю.Д. Губернский // Гигиена и санитария. – М.: Медицина, 1965. – №4, с.81-85.
 3. Рахимов Р.Х. Тихонова Н.Н. Дальнее узкоспектральное ИК-излучение – новые возможности в лечении заболеваний / Р.Х. Рахимов, Н.Н. Тихонова // Современные научные исследования и инновации. – Октябрь, 2011. – [Электронный ресурс]. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2011/10/4845> (дата обращения 17.12.2011).
- ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gosthelp.ru/gost/gost1583.html> (дата обращения 18.11.2011).

*А.А. Егорова студ.; рук. В.В. Бухмиров д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПЛАСТИНЧАТЫЕ И КОЖУХОТРУБНЫЕ ТЕПЛООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ

Теплообменный аппарат — это устройство, в котором осуществляется передача теплоты от горячего теплоносителя к холодному. Существуют несколько основных типов теплообменников, к которым можно отнести кожухотрубные (КТО), пластинчатые (ПТО) и ряд других теплообменных аппаратов (ТА). Для выбора требуемого по техниче-

скому заданию теплообменника рассмотрим основные характеристики КТО и ПТО.

По данным стандарта ИСО 15547 [2], ГОСТ 15518-87 [3] и ГОСТ 27590-2005 [4] существует ряд факторов, которые определяют ПТО как более эффективный по отношению к КТО. Эти данные сведены в таблицу 1.

Таблица 1. Сравнительные технические характеристики одинаковых по мощности кожухотрубных (КТО) и пластинчатых (ПТО) теплообменников.

Характеристика	КТО	ПТО
Коэффициент теплопередачи (условно)	1	3-5
Разность температур теплоносителей на выходе	8-10°С	1-2°С
Изменение площади поверхности теплообмена	невозможно	допустимо, кратно количеству пластин
Соединение при сборке	сварка	разъемные
Доступность для внутреннего осмотра и чистки	неразборный	разборный
Материал	латунь и медь	нержавеющая сталь
Ресурс работы до капремонта	5-10 лет	15-20 лет
Габариты (условно)	5-6	1
Стоимость (условно)	0,75-1,0	1,0

Выполним анализ вышеизложенных характеристик КТО и ПТО:

- средний коэффициент теплопередачи у пластинчатого теплообменника в 3-5 раз больше, чем у кожухотрубного. Соответственно, площадь теплопередающей поверхности теплообменников в 3–4 раза меньше, чем кожухотрубных;
- разность температур теплоносителей на выходе у кожухотрубного теплообменника составляет 8-10°С, а у пластинчатого теплообменника не более 2°С;
- материал трубок кожухотрубного теплообменника – латунь или медь, материал пластин – нержавеющая сталь. Поэтому кожухотрубный ТА легко подвержен коррозии при высоких температурах, пластинчатый выдерживает их без последствий;
- поверхность теплопередачи согласно стандарту определяется как сумма поверхностей, находящихся в контакте с теплопередающими потоками. В кожухотрубных теплообменниках невозможно изменение площади поверхности теплообмена, тогда как в пластинчатых оно допустимо в широких пределах и кратно количеству пластин;
- вид соединения при сборке в КТО – сварка, в ПТО - разъемное соединение. Поэтому кожухотрубный теплообменник практически невозможно осмотреть изнутри, очень сложно почистить от конденсата и обнаружить места износа деталей, которые дают протечку рабочего вещества. А пластинчатый теплообменник лишен этих недостатков.

Однако, по мнению экспертов НПО ЦКТИ им. И. И. Ползунова, можно выделить ряд факторов, характеризующих пластинчатые теплообменные аппараты, как менее эффективные и менее экономичные по сравнению с кожухотрубными:

- пластинчатые аппараты, работающие на сетевой воде, загрязняются гораздо быстрее кожухотрубных, при этом чистить их труднее;
- для химической промывки пластинчатых аппаратов нужны дорогие промывочные растворы и устройства;
- разборка, ремонт и сборка пластинчатых аппаратов является дорогостоящим процессом, и для выполнения этих работ требуется высококвалифицированный, специально обученный персонал;
- эксплуатационная надежность пластинчатых аппаратов существенно ниже, чем у кожухотрубных, так как при разборке и сборке пластинчатых теплообменников приходится заменять резиновые уплотнительные прокладки. При этом стоимость комплекта таких прокладок сопоставима с ценой нового теплообменника.

Поэтому в настоящее время нельзя сделать однозначный вывод о бесспорном преимуществе одного типа теплообменника перед другим. Преимущество одного типа теплообменников над другими можно выявить только в смысле заданного критерия. Например, если принять в качестве критерия значение коэффициента теплопередачи, то в этом смысле использование ПТО предпочтительнее КТО. А с точки зрения надежности пластинчатые теплообменники уступают кожухотрубным.

Библиографический список

1. "Теория теплообмена. Пластинчатые теплообменники". Альфа Лаваль, 2004.
2. ГОСТ Р ИСО 15547-1-2009 "Нефтяная и газовая промышленность. Пластинчатые теплообменники. Технические требования".
3. ГОСТ 15518-87 "Аппараты теплообменные пластинчатые".
4. ГОСТ 27590-2005 "Подогреватели кожухотрубные водо-водяные систем теплоснабжения. Общие технические условия".

***С.Н. Макаров, студ.; рук. В.В. Бухмиров д.т.н., проф.,
Солнышкова Ю.С. ст. преп. (ИГЭУ, г. Иваново)***

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТОДОМ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПИРЕМЕНТА

Цель работы заключается в создании программы «Планирование теплофизического эксперимента» на ЭВМ. Реализация данной цели выполнена путем разработки программы для компьютера на языке Delphi 2009.

Проведение классического эксперимента имеет следующие недостатки:

– трудоемкость, а следовательно – дороговизна;

– влияние факторов изучается отдельно, а, следовательно, не выявляются эффекты взаимодействия факторов;

– проблема учета влияния неконтролируемых факторов;

– большой объем вычислений при обработке результатов эксперимента.

Теория планирования эксперимента позволяет преодолеть большинство из этих трудностей. Основная цель планирования эксперимента – нахождение таких условий и правил проведения опытов, при которых удастся получить надежную и достоверную информацию об объекте с наименьшими затратами, а также представить эту информацию в компактной и удобной форме с количественной оценкой точности [1,2]. Методы планирования эксперимента базируются на методах теории вероятности и математической статистики и позволяют минимизировать число необходимых испытаний, установить рациональный порядок и условия проведения исследований в зависимости от их вида и требуемой точности результатов

Методика планирования эксперимента включает следующие этапы:

– выбор факторов планирования;

– составление матрицы планирования;

– проведение эксперимента;

– проверка воспроизводимости результатов эксперимента;

– получение уравнения регрессии;

– проверка значимости коэффициентов регрессии;

– проверка адекватности уравнения регрессии.

Регрессивный анализ предполагает, что в рассмотрение включены все существенные переменные, иначе математическая модель не будет адекватна реальному объекту.

Учет большого числа входных факторов часто невозможен вследствие ограничений технологических, временных, экономических и т.д.

Рассмотрим самое простое и наиболее часто востребованное планирование первого порядка. В этом случае уравнение регрессии имеет вид:

$$\hat{y} = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i X_i + \sum_{\substack{i=1 \\ j>i}}^n b_{ij} X_i X_j + \sum_{\substack{i=1 \\ j>i; k>j}}^n b_{ijk} X_i X_j X_k + \dots,$$

где \hat{y} - значение выходного параметра; b_i – линейные коэффициенты регрессии; b_{ij} – коэффициенты двойных взаимодействий факторов; b_{ijk} – коэффициенты тройных взаимодействий.

Полный факторный эксперимент (ПФЭ) – это эксперимент, в котором реализуются все возможные соотношения уровней факторов. Каждый фактор варьируется на двух уровнях. Кодированные факторы принимают значения +1 и -1. Количество опытов определяется по формуле $N = 2^n$, поэтому планирование называется «типа 2^n ».

Разработанная программа позволяет распространить серию единичных экспериментов на группу подобных явлений, поэтому факторы планирования обрабатываются в относительных координатах. Программа позволяет найти коэффициенты уравнения регрессии для двух и трех факторного экспе-

римента. На рис. 1. представлено окно для ввода данных о факторах планирования и диапазонов их изменения.

Уравнения регрессии для двух и трех факторов имеют вид:

$$\mathcal{F} = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_{12} X_1 X_2;$$

$$\mathcal{F} = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_{12} X_1 X_2 + b_{13} X_1 X_3 + b_{23} X_2 X_3 + b_{123} X_1 X_2 X_3.$$

Важным достоинством методов планирования эксперимента является их универсальность, пригодность в большинстве областей исследования – в химии и химической технологии, металлловедении и металлургии, промышленности строительных материалов, медицине, биологии, сельском хозяйстве, в радиотехнике, электронике, автоматике, вычислительной технике и др. Поэтому данная программа может использоваться не только для планирования теплофизического эксперимента, но и для обработки результатов эксперимента из других областей исследования.

Исходные данные

Эксперимент

двухфакторный
 трехфакторный

1ый фактор: Мощность Вт
 Мин. значение: 550 Вт
 Макс. значение: 1100 Вт
 Среднее значение: 825 Вт

2ой фактор: Расстояние между изл. м
 Мин. значение: 0,62 м
 Макс. значение: 2,62 м
 Среднее значение: 1,62 м

3ий фактор: Высота подвеса изл. м
 Мин. значение: 2,2 м
 Макс. значение: 2,9 м
 Среднее значение: 2,55 м

	Факторы			Взаимодействие факторов				Результаты измерений	
	X1 W	X2 L	X3 H	X1*X2	X1*X3	X2*X3	X1*X2*X3	q, Вт/м2	t, оС
1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	12,8	33,5
2	1	-1	-1	-1	-1	1	1	14,2	36,2
3	-1	1	-1	-1	1	-1	1	2,1	30,5
4	1	1	-1	1	-1	-1	-1	8,9	29
5	-1	-1	1	1	-1	-1	1	5,3	32,4
6	1	-1	1	-1	1	-1	-1	8,6	36,4
7	-1	1	1	-1	-1	1	-1	6,8	32,8
8	1	1	1	1	1	1	1	5,9	31,1

OK Отмена

Рис. 1. Окно ввода сведений о факторах планирования и диапазонов их измерения

Библиографический список

1. Шпилов В.М., Гнездов Е.Н. Планирование теплофизического эксперимента., учебн. пособие. – ИГЭУ, 1981.
2. Зедгинидзе И.Г. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем. – М.: Наука, 1976.

А.И. Погодин, В.А. Найденко студ.; рук. В.В. Бухмиров д.т.н., проф. (ИГЭУ, г. Иваново)

ЭНЕРГОАУДИТ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ

Энергосбережение - одно из современных приоритетных направлений в области энергетики. Это связано с дефицитом основных энергоресурсов, возрастающей стоимостью их добычи, а также с глобальными экологическими проблемами.

Цель энергоаудита - на основе энергетического обследования учреждения разработать рекомендации по снижению потребления энергоресурсов.

На основе опыта проведения энергоаудита сотрудниками ИГЭУ и литературных данных выявлены основные причины высокого потребления топливно-энергетических ресурсов в образовательных учреждениях:

- некачественное обслуживание инженерного оборудования и отсутствие его ремонта в течение длительного времени;
- отсутствие регулирования теплотребления, вследствие этого происходят перетопы в весенний и осенний периоды при переходе котельных на количественное регулирование;
- большая изношенность систем отопления и горячего водоснабжения;
- теплоиспользующее оборудование физически и морально устарело;
- разбалансировка системы отопления, которая приводит к перетопам в одних помещениях и недотопам в других.

Рассмотрим примеры внедрения энергосберегающих мероприятий путем анализа энергопотребления МОУ СОШ №2, расположенной в Ярославской области, г. Переславль-Залесский. Энергетическое обследование учреждения было выполнено в сентябре 2011г. сотрудниками ИГЭУ.

Образовательное учреждение МОУ СОШ №2 состоит из одного кирпичного трехэтажного здания общей площадью 5728,4 м², построенного в 1983 году. Численность работников школы составляет

48 чел., а численность учеников – 430 чел. Энергоснабжение МОУ СОШ № 2 осуществляется от тепло- и электросбытовых компаний на основании заключенных договоров. Оплата топливно-энергетических ресурсов производится по показаниям счетчиков согласно договорам.

Анализируя динамику затрат на энергоресурсы, приведенную на рисунке 1, видим, что затраты в 2010 году по сравнению с 2006 годом выросли на 60,73%. Наблюдается стабильная динамика роста затрат, поэтому возникает необходимость во внедрении энергосберегающих мероприятий.

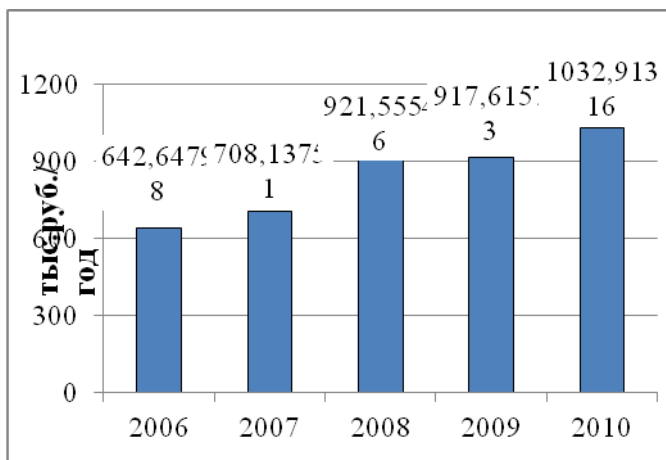


Рис. 1. Динамика затрат на энергоресурсы

Структура распределения затрат по видам энергетических ресурсов в базовом 2010 году представлена на рисунке 2.



Рис. 2. Распределение затрат на энергетические ресурсы в 2010 году

Из анализа рисунка 2 можно сделать вывод о том, что наибольшие затраты в 2010 году приходятся на тепловую и электрическую энергию (соответственно 60,94% и 29,10% от общих затрат на энергоресурсы), поэтому приоритетным направлением энергосбережения является разработка мероприятий по снижению потребления тепловой и электрической энергии.

Инструментальное обследование образовательного учреждения было проведено при помощи приборов:

- тепловизор Testo 330;
- прибор для измерения температуры и влажности воздуха КМ 800б;
- ультразвуковой расходомер PORTAFLOW – 300.

По результатам инструментального обследования были предложены следующие энергосберегающие мероприятия:

1. Установка экранов–отражателей за радиаторами отопления. По данным производителя применение экранов снижает потребление тепловой энергии на 2,0÷3,0 %;
2. Установка автоматического регулятора отопительной системы. На основе экспертных данных годовая экономия тепловой энергии при работе устройств автоматического регулирования составляет 15-20 % от общего теплопотребления здания. Автоматический регулятор отопительной системы позволяет предотвратить перетопы и осуществить переход на дежурное отопление, что дает возможность существенно снизить затраты на тепловую энергию;
3. Модернизация системы освещения. Замена ламп накаливания на энергосберегающие (ртутные) лампы по экспертным оценкам позволит снизить потребление на 80 %;
4. Гидрохимическая промывка отопительной системы, которая позволяет увеличить пропускную способность труб на 60-90 %;
5. Утепление фасада здания, что по информации производителя приводит к уменьшению тепловых потерь на 15-20 %;
6. Замена деревянных окон на пластиковые стеклопакеты приводит к снижению тепловых потерь на 20 %.

Однако окончательный выбор энергосберегающих мероприятий надо выполнять на основании экономического расчета.

Экономическая целесообразность внедрения мероприятий определяется условиями:

- срок окупаемости мероприятия должен быть меньше 7 лет;
- чистый дисконтированный доход должен быть положительным ($ЧДД > 0$).

Для всех вышеуказанных энергосберегающих мероприятий был выполнен экономический расчет. Для мероприятий по повышению энергоэффективности 1, 2, 3 и 4 выполняются оба условия, так как для каждого из них $ЧДД > 0$, а срок окупаемости не превышает 7 лет. Энергосберегающие мероприятия 6 (утепление фасада) и 7 (замена деревянных окон на пластиковые) для образовательного учреждения МОУ СОШ №2 внедрять нецелесообразно. Несмотря на то, что экономический эффект каждого мероприятия составляет более 70 тыс. руб./год, они себя не оправдывают, так как их срок окупаемости превышает 10 лет.

Вывод. Выполнено энергетическое обследование образовательного учреждения МОУ СОШ №2 в г. Переславль-Залесский Ярославской области, на основании которого предложено к внедрению четыре энергосберегающих мероприятия с суммарным экономическим эффектом 130 тыс. руб./год при среднем сроке окупаемости 0,7135 года.

А.И. Погодин, студ.;

рук. В.В. Бухмиров д.т.н., проф., Солнышкова Ю.С. ст. преп.

(ИГЭУ, г. Иваново)

ВЛИЯНИЕ ИСКУССТВЕННОЙ ШЕРОХОВАТОСТИ ИЗЛУЧАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ТЕПЛООВОГО ОБЛУЧЕНИЯ

Цель работы: оценить влияние искусственной шероховатости излучающей поверхности на интенсивность теплового облучения.

Исследование влияния искусственной шероховатости (степени черноты) излучающей поверхности на величину падающего теплового потока выполнено на экспериментальном стенде, схема которого показана на рис. 1.

В эксперименте использовали специально изготовленный инфракрасный излучатель с плоской излучающей поверхностью круглой

формы, которую покрывали различными материалами: фольгой светлой и зачерненной, сетками с различными размерами ячеек и с разной толщиной. Степень черноты поверхности излучателя без искусственной шероховатости была установлена экспериментально путем измерения ее температуры пирометром и контактными термометром.

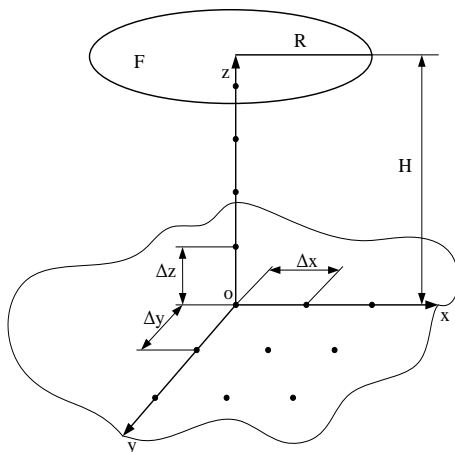


Рис. 1. Схема лабораторного стенда по определению облученности поверхностей

Степень черноты поверхности, покрытой сеткой с различной геометрией ячеек, определяли по методике С.Г. Агабабова и Л.И. Экслера [1], согласно которой:

$$\epsilon_{ш} = \left[1 + \left(\frac{1}{\epsilon_o} - 1 \right) F \right]^{-1} \quad (1)$$

где $\epsilon_{ш}$ – степень черноты шероховатой поверхности; ϵ_o – степень черноты алюминиевой фольги; F – фактор шероховатости, представляющий собой отношение площади гладкой поверхности к площади шероховатой поверхности.

Например, для сетки с размером ячеек 63 мкм фактор шероховатости будет иметь значение:

$$\begin{aligned} F &= \frac{F_o}{F_{ш}} = \frac{\pi D^2 / 4}{\pi D^2 / 4 + 2shN} = \\ &= \frac{3,14 \cdot (0,172)^2 / 4}{3,14 \cdot (0,172)^2 / 4 + 2 \cdot 63 \cdot 10^{-6} \cdot 90 \cdot 10^{-6} \cdot 5851207} = 0,2593 \quad (2) \end{aligned}$$

где F_o – площадь поверхности излучателя без сетки (гладкая поверхность); $F_{ш}$ – площадь поверхности излучателя с учетом сетки (ше-

роховатая поверхность); s – размер сетки (длина или ширина); h – толщина сетки; N – количество ячеек сетки.

Тогда степень черноты излучающей поверхности покрытой сеткой с размером ячеек 63 мкм будет равна:

$$\epsilon_{ш} = \left[1 + \left(\frac{1}{\epsilon_0} - 1 \right) F \right]^{-1} = \left[1 + \left(\frac{1}{0,1} - 1 \right) \cdot 0,2593 \right]^{-1} = 0,3 \cdot$$

Плотность падающего теплового потока находили в нескольких точках в плоскости XOY на разных высотах с шагом по координатам $\Delta x = \Delta y = \Delta z = 0,05$ м при помощи измерителя плотности теплового потока ИТП – МГ4.03 «ПОТОК».

Сетки, использованные в эксперименте, имеют приблизительно одинаковую степень черноты ($\sim 0,3$) при разном размере ячеек: 63 мкм, 140 мкм и 200 мкм. Результаты эксперимента представлены на рис. 2.

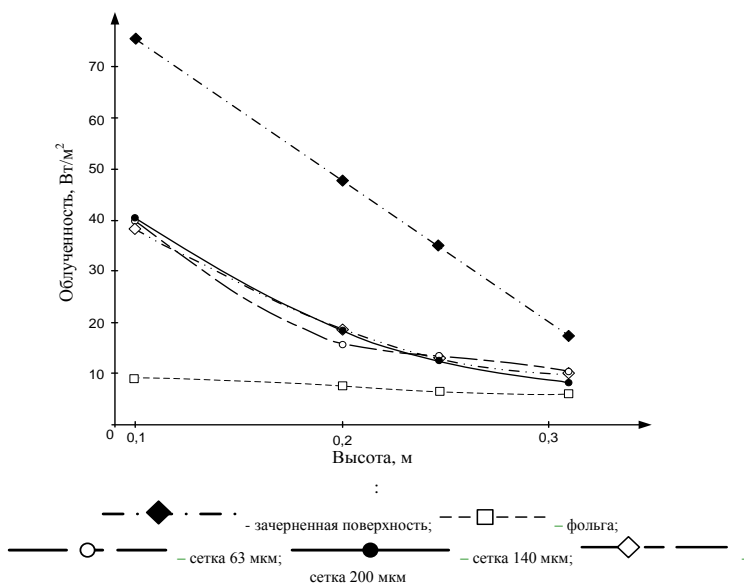


Рис. 2. Облученность поверхности в зависимости от высоты подвеса ИКИ

Интенсивность теплового облучения (плотность падающего теплового потока) поверхности увеличивается с ростом степени черноты излучателя и уменьшается с увеличением расстояния между излучателем и приемником излучения. Результаты эксперимента подтверждают известные в литературе положения радиационного теплообмена [2].

Создание искусственной шероховатости на поверхности излучателя путем установки сетки с размером ячеек 63 мкм и более приводит к увеличению падающего теплового потока, т.к. с увеличением количества ячеек плотность падающего теплового потока увеличивается не более чем на 2-3 Вт/м², то необходимости применять сетки с большим количеством ячеек (в нашем случае 140 мкм и 200 мкм) не целесообразно.

Выводы. 1. Анализ графиков, показанных на рис. 2, позволяет сделать однозначный вывод о том, что создание даже незначительной искусственной шероховатости на поверхности инфракрасного излучателя приводит к существенному увеличению плотности падающего теплового потока.

2. В условиях эксплуатации ИКИ наложение сеток на гладкую поверхность обогревателя позволит получить требуемые значения тепловой облученности отапливаемых поверхностей при меньшей мощности излучателя.

Библиографический список

1. Агабабов С.Г. Влияние геометрических характеристик рельефа поверхности твердого тела на его радиационные свойства (к определению фактора шероховатости) [Текст] / С.Г. Агабабов, Л.И. Экслер // Теплофизика высоких температур. – М.: Наука, 1971. – Т. 9, №3. – С. 522 – 524.
2. Зигель Р. Теплообмен излучением [Текст] / Р. Зигель, Дж. Хауэлл – пер. с англ., - М.: Мир, 1975. – 934 с.

*М.В. Пророкова, студ., Г.А. Родионов, асп.;
рук. В.В. Бухмиров, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗДУХОПРОНИЦАЕМОСТИ АУДИТО- РИЙ ЦОКОЛЬНОГО ЭТАЖА КОРПУСА «Б» ИГЭУ

Создание благоприятного микроклимата на рабочем месте является важным условием успешной деятельности человека. Однако в процессе эксплуатации систем энергообеспечения зданий внимание часто уделяется лишь поддержанию на оптимальном или допустимом уровне температуры, влажности и подвижности воздуха рабочей зоны, в то время как состав воздуха также относится к основным показателям воздушно-теплового комфорта. В помещениях с естественной вентиляцией приток свежего воздуха осуществляется за счет процессов инфильтрации, величина которой в основном определяется воздухопроницаемостью ограждающих конструкций.

В феврале 2012 была проведена оценка качества микроклимата в помещениях корпуса «Б» Ивановского государственного энергетического университета имени В.И.Ленина. В рабочее и нерабочее время

были измерены температура, относительная влажность и подвижность воздуха в рабочей зоне ряда кабинетов и учебных аудиторий. В аудиториях цокольного этажа (Б-021, Б-029) был проведен эксперимент по определению воздухопроницаемости ограждающих конструкций. Целью данного мероприятия была проверка соответствия количества приточного воздуха, поступающего через ограждающие конструкции на одного человека, требованиям санитарно-гигиенических норм. Исследование было проведено по методике, изложенной в [1] при помощи установки, спроектированной в ИГЭУ.

Экспериментальная установка представляет собой раздвижную воздухопроницаемую раму 4, устанавливаемую в проем ограждения 3 испытываемого объекта 1, с отверстием для вентилятора 6. В местах прилегания рамы к ограждениям проложен уплотнитель 2. Вентилятор имеет переменную, плавно регулируемую скорость вращения. В комплект установки также входит термоанемометр 9, дифференциальный манометр 5 и комплект гибких трубок. При помощи вентилятора в обследуемое помещение нагнетают воздух до достижения разности давлений в аудитории и окружающей среде 50 Па. Регулирование перепада давлений происходит путем изменения числа оборотов и, следовательно, подачи вентилятора.

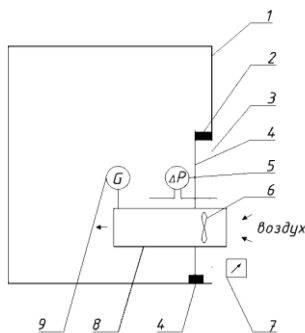


Рис. 1. Установка для определения воздухопроницаемости ограждающих конструкций:

- 1 – ограждающие конструкции помещения; 2 – уплотнение; 3 – дверной проем; 4 – воздухопроницаемая раздвижная дверь; 5 – дифманометр; 6 – осевой вентилятор; 7 – регулятор числа оборотов вентилятора; 8 – труба для выравнивания скорости воздушного потока; 9 – расходомер

При достижении требуемого перепада давлений расходомером измеряют расход воздуха в нескольких точках выходного сечения трубы 8. Для определения количества воздуха, поступающего через ограждающие конструкции при атмосферном давлении, необходимо произ-

вести корректировку результата измерений на стандартные условия: $P = 101,3$ кПа, $t = 20$ °С. Расход воздуха с учетом корректировки должен соответствовать санитарно-гигиеническим требованиям СНиП 2.08.02-89*(2003) «Общественные здания и сооружения» [2], согласно которым в учебные аудитории с количеством мест более 30 следует подавать не менее 20 м³/ч свежего воздуха на одного человека. Для обследуемых аудиторий это значение, исходя из количества посадочных мест, должно составлять 2520 м³/ч.

Кратность воздухообмена рассчитывают по формуле [1]

$$n_{50} = \frac{Q_{50}}{V},$$

где Q_{50} – расход воздуха через вентилятор при перепаде давлений 50 Па, м³/ч; V – объем помещения, м³.

Для общественных зданий с естественной вентиляцией по требованиям СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий» данная величина не должна превышать 4 ч⁻¹ [3].

Таким образом, количество воздуха, поступающее через ограждающие конструкции, с одной стороны, должно удовлетворять санитарно-гигиеническим нормам [2], а с другой стороны, учитывать требования по тепловой защите зданий, изложенные в [3].

Эксперимент по определению воздухопроницаемости аудиторий Б-021 и Б-029 был проведен 29 февраля 2012 г. По результатам эксперимента была рассчитана кратность воздухообмена, которая составила $1,64$ ч⁻¹ и $1,97$ ч⁻¹ соответственно, и поступление свежего воздуха в учебные аудитории: $1351,1$ м³/ч для аудитории Б-021 и $2061,8$ м³/ч для аудитории Б-029.

Таким образом, ограждающие конструкции учебных аудиторий Б-021 и Б-029 отвечают требованиям по тепловой защите зданий [3], но не соответствуют санитарно-гигиеническим нормам [2]. Согласно Своду Правил СП 23-101-2004 «Проектирование тепловой защиты зданий» [4] обследуемым помещениям можно присвоить низкий класс воздухопроницаемости. В помещениях с естественной вентиляцией с низким классом воздухопроницаемости, следует принимать меры, обеспечивающие дополнительный приток свежего воздуха. Для цокольного этажа корпуса «Б» ИГЭУ можно рекомендовать организацию централизованной общеобменной вентиляции или децентрализованной для каждой отдельной аудитории.

1. ГОСТ 31167-2003. Здания и сооружения. Методы определения воздухопроницаемости ограждающих конструкций в натуральных условиях.
2. СНИП 2.08.02-89*(2003). Общие требования к зданиям и сооружениям.
3. СНИП 23-02-2003. Тепловая защита зданий.
4. СП 23-101-2004. Проектирование тепловой защиты зданий.

**Г.А. Родионов, асп.; рук. В.В. Бухмиров, д.т.н., проф.
(ИГЭУ г. Иваново)**

ВЫБОР МЕТОДА РАСЧЕТА ДВУХФАЗНЫХ ПОТОКОВ В СИСТЕМАХ ПНЕВМОТРАНСПОРТА

В настоящее время исследования сложного теплообмена и гидродинамики двухфазных потоков выполняют при помощи современных САЕ-систем (computer-aided engineering – поддержка инженерных расчетов), например ANSYS Fluent, FEM-models, T-FLEX Анализ, MSC.Nastran и др. Применение таких систем позволяет проводить исследования процессов, происходящих в системах пневмотранспорта, с меньшими затратами, по сравнению с натурными исследованиями на промышленных установках и физических стендах [1]. Однако, при работе со сложными программно-вычислительными комплексами (ПВК) важным этапом является выбор метода расчета гидродинамики потока и сложного теплообмена между фазами в пневмотранспортных установках (ПТУ). В системах пневмотранспорта обычно принимают за первую фазу газ, за вторую – транспортируемый сыпучий материал.

Например, при расчете двухфазных потоков при помощи ПВК Ansys существует возможность использовать два основных подхода к моделированию многофазных потоков [2]:

- расчет по методу Эйлера;
- расчет по методу Лагранжа.

В методе Эйлера скорости частиц являются функцией времени t и координат x, y, z [3]:

$$\left. \begin{aligned} \vartheta_x &= \vartheta_x(x, y, z, t) \\ \vartheta_y &= \vartheta_y(x, y, z, t) \\ \vartheta_z &= \vartheta_z(x, y, z, t) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Такой подход применяется при равных долях фаз в потоке. При расчете полей скорости и массы уравнения переноса для каждой фазы отдельно, и затем выполняется объединение результатов расчета при помощи коэффициентов межфазного взаимодействия. При количестве фаз в потоке более двух, количество вычислительных операций резко возрастает, что приводит к увеличению времени расчета и повышению требований к производительности ЭВМ.

По методу Лагранжа расчет гидродинамики и сложного теплообмена выполняют для каждой частицы отдельно. Этот метод применяется при условии, что объемная доля твердой фазы в потоке не более 10%. Метод Лагранжа

лучше всего использовать для рассеянных потоков. В общем виде положение и скорости частиц задают следующим образом [3]:

$$\left. \begin{aligned} x &= f_1(x_0, y_0, z_0, t) = \varphi_1(a, b, c, t) \\ y &= f_2(x_0, y_0, z_0, t) = \varphi_2(a, b, c, t) \\ z &= f_3(x_0, y_0, z_0, t) = \varphi_3(a, b, c, t) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$$\left. \begin{aligned} \vartheta_x &= \frac{\partial x}{\partial t} = \frac{\partial \varphi_1}{\partial t} \\ \vartheta_y &= \frac{\partial y}{\partial t} = \frac{\partial \varphi_2}{\partial t} \\ \vartheta_z &= \frac{\partial z}{\partial t} = \frac{\partial \varphi_3}{\partial t} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где x_0, y_0, z_0 – координаты положения частицы в начальный момент времени, a, b, c – переменные Лагранжа.

Как видно из уравнений (2) и (3) координаты в методе Лагранжа являются переменными и перемещаются вместе с частицей во времени. В САЕ-системах метод Лагранжа выполняется следующим образом:

– в начале задают свойства газа и его физическую модель (реальный газ, идеальный газ и т.д.);

– на основе уравнения переноса в лагранжевой системе координат рассчитывают параметры движения твердых частиц. В уравнениях переноса импульса учитываются силы инерции, силы трения фаз между собой и твердых частиц о стенки материалопровода, силы тяжести. При использовании метода Лагранжа повышение концентрации твердых частиц в общем объеме потока приводит к значительному увеличению количества расчетных операций.

Вывод. Объемная доля твердых частиц при транспортировке сыпучих материалов в системах пневмотранспорта с камерными насосами значительно выше объемной доли несущего газа и потока, в основном, двух фазные, поэтому для расчета таких систем предпочтительно применять метод Эйлера, что позволит повысить скорость расчета без снижения точности полученных результатов.

Библиографический список

1. Арутюнов В.А., Бухмиров В.В., Крупенников С.А. Математическое моделирование тепловой работы промышленных печей. М.: Металлургия. 1990. - 239 с.
2. Newton, Timothy, Connolly, David, Mokhtab, Saeid. Chemical Engineering Progress. ISSN: 0360-7275. 2007.
3. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы. 1950. – 679 с.

А.К. Гаськов, асп.; рук. В.В. Бухмиров д.т.н., проф.

(ИГЭУ, г. Иваново)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

В настоящее время одной из наиболее актуальных проблем энергетики является разработка и внедрение энергосберегающих мероприятий и инженерных решений, направленных на уменьшение потерь тепловой энергии. Решение этих задач основано на применении современных и усовершенствовании уже используемых энергосберегающих материалов. Для выполнения инженерных расчётов важно знать следующие теплофизические свойства энергосберегающих материалов: коэффициент теплопроводности, коэффициент температуропроводности и теплоемкость. У большинства современных энергосберегающих материалов исследовано и их теплофизические свойства известны и апробированы на практике. Однако, существуют новые энергосберегающие материалы, теплофизические значения которых малоизучены. Необходимо также учесть, что теплофизические свойства материалов могут изменяться в процессе эксплуатации и не соответствовать значениям, указанным в сертификате или паспорте материала. Информация о теплофизических свойствах материалов позволяет корректно проводить тепловые расчеты технологических процессов и выбирать оптимальные размеры тепловой изоляции сооружений и технологических агрегатов [1].

В статье рассмотрены вопросы определения коэффициента теплопроводности современных жидкокерамических теплозащитных красок.

Все экспериментальные методы измерения теплопроводности материалов подразделяют на две группы: стационарные и нестационарные. Первая группа методов основана на использовании стационарного, а вторая нестационарного режимов теплопроводности.

Стационарные методы определения коэффициента теплопроводности по способу измерения являются прямыми, т.к. после измерения температурного поля исследуемого материала рассчитывают коэффициент теплопроводности по формуле, сле-

дующей из решения дифференциального уравнения теплопроводности при стационарном режиме.

Стационарные методы бывают абсолютными и относительными. Определение коэффициента теплопроводности при стационарном тепловом режиме прямым абсолютным методом проводят на приборах с горячей охранной зоной. На приборах этого типа плотность теплового потока через опытный образец материала определяют по расходу электрической энергии центрального нагревателя прибора.

При применении относительного метода коэффициент теплопроводности находят по экспериментальным значениям температуры и плотности теплового потока, проходящего через образец материала. При этом плотность теплового потока в стационарном режиме теплопроводности определяют при помощи тепломера, градуировку которого проводят по образцам с эталонным коэффициентом теплопроводности.

При определении коэффициента теплопроводности материала стационарным методом используются различные формы температурных полей. Плоские изотермы образуются в случае, когда тепловой поток направлен вдоль оси симметрии образца. Эти методы называют методами с осевым или продольным потоком тепла, а сами экспериментальные установки — плоскими приборами. Цилиндрические изотермы соответствуют распространению теплового потока по направлению радиуса цилиндрического образца. Эти методы называют методами с радиальным потоком тепла, а приборы — цилиндрическими приборами. В случае, когда тепловой поток направлен по радиусу сферического образца, изотермы имеют сферическую форму. Эти методы называют сферическими, а приборы — шаровыми. Формулы для расчета коэффициента теплопроводности λ материала при отсутствии объёмных источников тепла получены на основе решения уравнения теплопроводности для стационарного режима:

- в декартовой системе координат

$$\lambda = \frac{Q\delta}{F(t_1 - t_2)} \quad (1)$$

- в цилиндрической системе координат

$$\lambda = \frac{Q \ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi \epsilon_1 - T_2 l}, \quad (2)$$

- в сферической системе координат

$$\lambda = \frac{Q \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)}{4\pi \epsilon_1 - T_2}, \quad (3)$$

где Q- тепловой поток, Вт; δ — толщина плоского слоя испытываемого материала между изотермами T_1 и T_2 , м; F - площадь изотермических поверхностей с температурами T_1 и T_2 , м²; r_1 и r_2 - радиусы цилиндрических или сферических слоев испытываемых материалов, соответствующие цилиндрическим или сферическим поверхностям с температурами T_1 и T_2 , м; l - длина цилиндрического слоя испытываемого материала, м [2].

На кафедре «Теоретические основы теплотехники» ИГЭУ разработан экспериментальный стенд по определению коэффициента теплопроводности теплозащитных красок методом цилиндрического слоя в стационарном режиме теплопроводности.

Установка представляет собой толстостенный стальной цилиндр с наружным диаметром 245 мм, толщиной стенки 10 мм и длиной 630 мм, внутри которого установлено два электрических нагревателя, подключаемых к электрической сети через автотрансформатор для регулирования их мощности. Суммарная максимальная мощность электрических нагревателей составляет 800 Вт. Для обеспечения равномерности теплового потока по поверхности рабочего участка и исключения конвективных потоков около электрических нагревателей внутри цилиндра, внутренняя полость стенда засыпана керамзитом. Для исключения потерь тепла с торцевых поверхностей экспериментальной установки они теплоизолированы листовым асбестом. Схема установки приведена на рисунке 1.

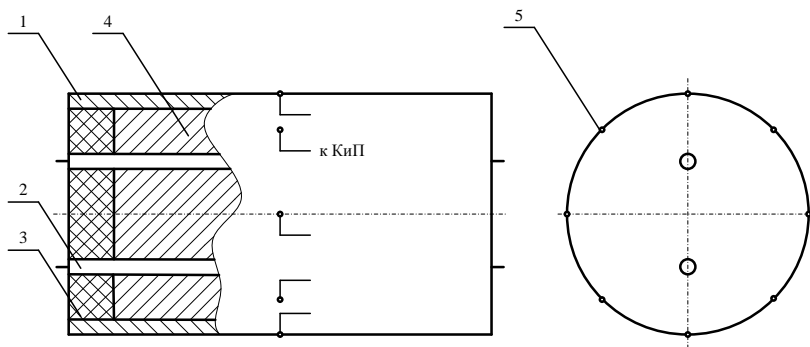


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментального стенда:
 1 – стальной цилиндр; 2 – электрический нагреватель; 3 – теплоизолирующий листовой асбест; 4 – керамзит; 5 – места установки термопар

Измерение температуры поверхности цилиндра проводится при помощи термопар, равномерно зачеканенных в 8 точках по окружности рабочего участка стенда. Перед началом эксперимента на рабочий участок установки накладывается полоса шириной 50 мм, изготовленная из тонкой жести, с нанесённой на её поверхность слоем теплоизоляционной краски толщиной 5 мм. Температура внутренней поверхности слоя образца теплоизоляционной краски равна средней температуре поверхности цилиндра, найденной по показаниям термопар рабочего участка. Температура наружного слоя исследуемого образца и проходящий через него тепловой поток измеряется при помощи поверенного портативного тепломера ИТП-МГ 4.03-10 «Поток».

На основании значений температур внутренней и наружной поверхности цилиндрического слоя материала и теплового потока, проходящего через него, а также заранее известных геометрических характеристиках исследуемого образца рассчитывают коэффициент теплопроводности по формуле (2).

Библиографический список

1. Фокин В.М., Чернышов В.Н. Неразрушающий контроль теплофизических характеристик строительных материалов. М.: «Издательство Машиностроение-1», 2004. 212 с.

2. **Киселев И.Я.** Повышение точности определения теплофизических свойств теплоизоляционных строительных материалов с учётом их структуры и особенностей эксплуатационных воздействий. Дис. ...д-ра. техн. наук. -М., 2006. – 366 с.

*А.В. Данилов, инж.; рук. В.В. Бухмиров д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КЛАССИФИКАЦИИ ЭЛЕКТРОННОЙ БАЗЫ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ МЕРОПРИЯТИЙ

Одним из важнейших этапов при проведении энергетических обследований является этап разработки рекомендаций по повышению энергетической эффективности и снижению потребления энергетических ресурсов обследуемого объекта. На данном этапе проводят выбор энергосберегающих мероприятий и расчет показателей экономической эффективности, по результатам которого можно сделать вывод об экономической целесообразности внедрения того или иного энергосберегающего мероприятия. Для оптимизации работы энергоаудиторов при проведении энергетических обследований была разработана электронная база энергосберегающих мероприятий, содержащая новейшие энергосберегающие мероприятия и методы энергосбережения на различных объектах. Данная база позволяет быстро и удобно находить требуемые энергосберегающие мероприятия и использовать их при разработке рекомендаций по повышению энергетической эффективности объектов при проведении энергетических обследований.

Электронная база энергосберегающих мероприятий разработана в программной среде Microsoft Excel. На первом этапе разработки базы был выполнен поиск энергосберегающих мероприятий. Далее проводился отбор и занесение энергосберегающих мероприятий в базу. В настоящее время для использования в базу было занесено 283 энергосберегающих мероприятия. Градация энергосберегающих мероприятий в базе проводится по двум признакам: по виду энергии и ресурса (тепловая энергия, электрическая энергия, холодная вода) и по этапу преобразования энергии (производство, транспортирование и потребление).

ние). В итоге было выделено 9 групп энергосберегающих мероприятий:

1. Мероприятия по экономии тепловой энергии при производстве;
2. Мероприятия по экономии тепловой энергии при транспортировке;
3. Мероприятия по экономии тепловой энергии при потреблении;
4. Мероприятия по экономии электрической энергии при производстве;
5. Мероприятия по экономии электрической энергии при транспортировке;
6. Мероприятия по экономии электрической энергии при потреблении;
7. Мероприятия по экономии холодной воды при водозаборе;
8. Мероприятия по экономии холодной воды при транспортировке;
9. Мероприятия по экономии холодной воды при потреблении.

В стартовом окне базы энергосберегающих мероприятий предлагается выбрать вид энергии или энергетического ресурса (тепловая энергия, электрическая энергия, холодная вода), на экономию которого направлено энергосберегающие мероприятия. Затем необходимо выбрать этап преобразования энергии (генерация, транспортировка, потребление). После выбора этапа преобразования энергии пользователю предлагается перечень энергосберегающих мероприятий согласно заданным параметрам. После выбора энергосберегающего мероприятия происходит автоматически переход на персональную страницу данного мероприятия, на которой приведено краткое описание энергосберегающего мероприятия и дан расчет показателей экономической эффективности, по значению которых можно сделать вывод об экономической целесообразности внедрения энергосберегающего мероприятия на обследуемом объекте.

Вывод об экономической целесообразности внедрения энергосберегающего мероприятия дается на основе расчета двух величин: срока окупаемости мероприятия и чистого дисконтированного дохода.

Таким образом, при составлении рекомендаций по повышению энергетической эффективности при помощи разработанной электронной базы энергосберегающих мероприятий мы можем не только найти необходимое энергосберегающее мероприятие, но и оперативно дать оценку его экономической эффективности.

Для увеличения функциональных возможностей электронной базы энергосберегающих мероприятий база была дополнена дополнительной градацией энергосберегающих мероприятий по затратности денежных средств. Согласно данной классификации в базе энергосберегающих мероприятий дополнительно выделяются три группы энергосберегающих мероприятий:

1. Организационные и малозатратные;
2. Среднезатратные;
3. Крупнозатратные.

Эта функция может быть полезна энергоаудиторам при заполнении приложения № 21 энергетического паспорта [1], в которое заносятся предлагаемые к внедрению энергосберегающие мероприятия согласно затратности.

Библиографический список

1. Приказ Министерства энергетики РФ от 19 апреля 2010 г. № 182 «Об утверждении требований к энергетическому паспорту, составленному по результатам обязательного энергетического обследования, и энергетическому паспорту, составленному на основании проектной документации, и правил направления копии энергетического паспорта, составленного по результатам обязательного энергетического обследования»

Секция 7. ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

*Председатель секции зав. кафедрой «Промышленная
теплоэнергетика» д.т.н., проф. В.П. СОЗИНОВ
Секретарь секции к.т.н., проф. В.М. ЗАХАРОВ*

*М.О.Жантлеуов, А.А. Айзаков, студенты.,
руководитель В.Н. Савельев, к.т.н., профессор
(КГУТуИ им. Ш. Есенова, г. Актау, Казахстан)*

О ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ ПОТЕНЦИАЛЕ МАНГИСТАУСКОГО РЕГИОНА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Республика Казахстан находится на этапе устойчивого социально-экономического развития. В Стратегии индустриально-инновационного развития Республики Казахстан поставлена задача снижения энергоемкости экономики в два раза к 2015 г. Для обеспечения устойчивого социально-экономического развития Республики Казахстан необходимы усилия по повышению энергоэффективности экономики и сохранению окружающей среды. Одним из путей сокращения потребления топлива и вредного влияния на окружающую среду является использование возобновляемых источников энергии.

В Мангистауском регионе имеется дефицит электроэнергии в объеме порядка 0,1 млрд. кВтч, который покрывается экспортом электроэнергии из России. Для покрытия возрастающего потребления электроэнергии в этой быстроразвивающейся зоне планируется ввод новых генерирующих мощностей с использованием в качестве топлива природный газ. Однако, с учетом повышения цен на газ, стоимость электроэнергии в этом регионе может значительно повыситься.

Использование органического топлива составляют основу мировой энергетики в настоящее время. По данным международного энергетического агентства (МЭА) за 2003г мировое производство электроэнергии составило 16691

ТВч. Доля электроэнергии, произведенной с использованием органического топлива составляет около 66,4%, доля крупных гидростанции - 15,9%, атомная энергетика – 15,8% , возобновляемые источники энергии – 1,9%. В тоже время, в начале 21 века на развитие энергетики оказывают влияние такие факторы как ограниченность и неравномерность распределения ресурсов ископаемого топлива при росте потребления энергетических ресурсов, стремление стран к обеспечению энергетической безопасности, экологические ограничения по выбросам парниковых газов. Данные факторы приводят к необходимости увеличения доли возобновляемых источников энергии в энергетическом балансе. Как показывают исследования международных энергетических агентств и институтов, доля возобновляемых источников энергии в мировом энергетическом балансе 2050 г может составить порядка 18%, или даже выше, для удовлетворения возрастающего спроса на энергию и стабилизации содержания парниковых газов в атмосфере. Развитыми странами принимаются программы по развитию возобновляемых источников энергии. Так, Европейским Союзом принято решение об увеличении доли производства электроэнергии от возобновляемых источниках энергии до 20% к 2020г (без учета крупных гидроэлектростанций). В Казахстане доля электроэнергии, выработанной, на крупных гидроэлектростанциях, составляет порядка 12%.

Одним из наиболее динамично развивающихся коммерческих видов возобновляемы источников энергии (ВИЭ) в странах ближнего и дальнего зарубежья является ветроэнергетика. В настоящее время установленная мощность ветроэлектростанций (ВЭС) составляет около 60 000 МВт, или 1,5% мировой генерирующей мощности. Интерес к развитию ветроэнергетики объясняется следующими факторами: [1]

- возобновляемый ресурс энергии, не зависящий от мировых рынков топлива;
- отсутствие выбросов вредных веществ и парниковых газов в атмосферу;
- развитый мировой рынок ветроустановок;
- конкурентная стоимость установленной мощности;
- короткие сроки строительства ВЭС с адаптацией мощности ВЭС к требуемой нагрузке;
- снижение стоимости электроэнергии при децентрализованном обеспечении электроэнергией отдаленных потребителей.

Перспективы использования ветроэнергетики определяются наличием соответствующих ветроэнергетических ресурсов. Казахстан исключительно богат ветровыми ресурсами. Порядка 50% территории Казахстана имеет среднегодовую скорость ветра 4-5 м/с, а ряд районов имеет скорость ветра 8-10 м/с и более, что предопределяет очень хорошие перспективы для использования ветроэнергетики. По оценкам экспертов, Казахстан одна из стран мира, с наиболее подходящими условиями для развития ветроэнергетики. Ветреные места расположены в Прикаспии, в центре и на севере Казахстана, на юге и юго-востоке Республики. Учитывая плотность мощности ВЭС на уровне 10 МВт/км² и наличие значительных свободных пространств можно предполагать возможность установки в Казахстане нескольких ВЭС мощностью более

тысяч МВт. По некоторым данным теоретический ветропотенциал Казахстана составляет около 1820 млрд. кВт.ч в год.

Казахстан имеет развитый машиностроительный комплекс, что дает возможность в перспективе создать производство ветроустановок на казахстанских предприятиях. Это позволит снизить стоимость строительства ветростанций и, соответственно, стоимость электроэнергии от ветростанций. Освоение современной технологии ветроэнергостроения внесет свой вклад в индустриализацию и социально-экономическое развитие страны.

Совместно с Министерством энергетики и минеральных ресурсов РК разрабатывается Национальная Программа развития альтернативной энергетики, в рамках которой будут определены индикативные цифры установки мощностей ветростанций на период 2010-2014 гг.

В настоящее время около 60 стран мира имеют ВЭС в структуре электроэнергетики. 43 страны мира имеют Национальные Программы развития ветроэнергетики с установкой сотен и тысяч МВт мощности в ближайшей и среднесрочной перспективе. Данные Программы, как правило, сопровождаются развитием собственной базы ветроэнергостроения, что позволяет снизить стоимость оборудования ветроустановок. Предполагается, что уже к 2015г установленная мощность ВЭС в мире составит около 150 000 МВт, а к 2020г – 230 000 МВт.

Мангыстауский энергоузел в настоящее время самобалансирующий: в первом полугодии 2004 года при потребности 1364,8 млн.кВт.ч производилось ТЭЦ-1, ТЧ МТЭС, БЧ МТЭС 1393,3 млн.кВт.ч. Основу промышленного комплекса региона составляют предприятия нефтегазового комплекса. К концу 2015 года предусматривается увеличить добычу нефти до 80,5 млн.тонн, продолжатся работы по освоению шельфа Каспийского моря. В области будет создан крупный нефтехимический комплекс по производству широкого спектра продукции. Рост промышленности потребует увеличения производства электроэнергии так же и за счет использования нетрадиционных источников энергии, предполагается установка ВЭС Форт-Шевченко мощностью 40 МВт.

Площадка Форт-Шевченко под установку ВЭС мощностью 40 МВт находится в Тупкараганском районе, в 5 км от города Форт-Шевченко, на побережье Каспийского моря. По данным метеостанции Форт-Шевченко и данным, имеющимся в институте, среднегодовая скорость ветра составляет 6,2 м/с. Площадка под строительство ВЭС свободная, не застроенная, не используется для сельскохозяйственного производства, позволяет в перспективе дальнейшее расширение ВЭС.

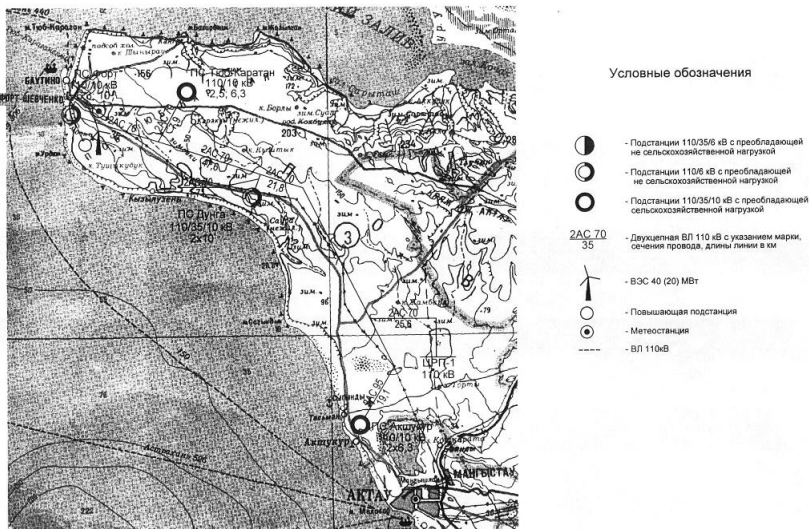


Рис. 1. Существующая схема электрических сетей в районе установки ВЭС Форт-Шевченко

Транспортная связь ВЭС с промышленным районом и жилой зоной осуществляется посредством подъездной автомобильной дороги. Система напряжения в данном районе 110-35-10 кВ. В городе есть подстанция 110/10 кВ Форт-Шевченко, которая по двухцепной ВЛ 110 кВ связана с ПС 110/10 кВ Тюб-Каратан и ПС 110/35/10 кВ Дунга, они могут по существующим сетям напряжением 110 кВ получать питание от подстанции Форт-Шевченко. Однако, данная линия не сможет пропустить нагрузку в 40 МВт, необходимо снизить мощность ВЭС до 20 МВт, либо необходимо усиление ВЛ 110 кВ. Для подключения ВЭС к ПС 110/10 кВ Форт-Шевченко необходимо строительство повышающей подстанции и ВЛ 110 кВ протяженностью 5 км.

Таблица 1. Перечень перспективных площадок в западном Казахстане

№ п/п	Наименование площадки	Область	Средняя скорость ветра на выс. 10 м, м/с	Рекомендуемая мощность ВЭС, МВт (в скобках первая очередь)	Примечание
1	Атырау-Каработан	Атырауская	4,4	40,0	
2	Аккыстау	Атыраус-	5,5	50,0 (20)	

		ская			
3	Индер	Атырауская	5,4	20,0	
4	Прорва	Атырауская	6,2	40,0 (20)	
5	Форт-Шевченко	Мангистауская	6,0	40 (20)	
6	Сай-Утес	Мангистауская	7,0	20	

Библиографический список

1. «Проект ПРООН.ГЭФ», Дорошин Г.А., Алматы, 2006 г.
2. «Энергия», / Под ред. Д. Дэвиса, М.: Энергоатомиздат, 1985.
3. «Нетрадиционные возобновляемые источники энергии», / В. А. Брылева, Л. Б. Воробьева, Мн., 1996.
4. «Тысячелетие энергетики», / Карцев В., Хазановский П., М. 1984.

*А.А. Карташова, асп.; рук. В.Ф. Новиков д.х.н., проф.
(КГЭУ, г. Казань)*

СОЗДАНИЕ ЗАМКНУТЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ НА ОСНОВЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Проблемы энерго- и ресурсосбережения на промышленных предприятиях год от года становятся все более актуальными. В Республике Татарстан данное направление курируется Министерством энергетики РТ в рамках реализации долгосрочной целевой программы "Энергосбережение и повышение энергетической эффективности в Республике Татарстан на 2011-2015 годы и на перспективу до 2020 года", кроме того готовится к опубликованию Энергетическая стратегия развития Республики Татарстан на период до 2030 года.

Усиление внимания к вопросам данной сферы требует существенных изменений на уровне принципов ведения хозяйственной деятельности, стратегии повышения эффективности использования энергетических и материальных ресурсов, формирования нового мировоззрения и общественного мнения, основанного на принципах энергосбережения.

Особо актуальна эта проблема для нефтяных компаний нашей республики, поскольку в этой области остается большой запас нереализованных на данный момент энергетических ресурсов в виде попутного нефтяного газа (ПНГ) месторождений, содержащих высокосернистую нефть. В последние годы в мировой практике эта проблема заняла особое место, и в настоящее время существ-

вуют возможности очистки ПНГ от соединений серы для последующего их использования в технологических циклах.

Таким образом, становится возможным создание замкнутой, безотходной, экономически и энергетически выгодной системы ресурсо- и энергообеспечения нефтедобывающей компании при одновременном решении экологических вопросов, касающихся утилизации ПНГ, и проблем автономного энергообеспечения с перспективой выхода на оптовый рынок мощности и электроэнергии (ОРЭМ) в качестве продавца энергоресурсов.

Не менее актуален вопрос использования альтернативных источников энергии, исключая потребление горючих газов, жидких и твердых полезных ископаемых, запасы которых ограничены. В долгосрочной перспективе становится необходимым решение проблемы отказа от традиционных технологий получения энергии, при этом должна обеспечиваться бесперебойная работа всех технологических циклов и покрытие растущих требований в мощности.

Предлагаемая схема энерго- и ресурсосберегающих мероприятий состоит из следующих основных блоков (рис.1), которые могут варьироваться либо исключаться в зависимости от расчета нагрузок и стратегических целей предприятия-заказчика:

1. блочно-комплексная установка сероочистки попутного нефтяного газа на базе технологии Sulfurex фирмы DMT Environmental Technology, Нидерланды, с совмещенным блоком каталитической очистки с использованием природных цеолитов [1];

2. газопоршневая мини-электростанция (ГПЭС) на ПНГ варьiruемой мощности для покрытия собственных потребностей и передачи энергии на ОРЭМ [2];

3. экспериментально-эксплуатационный блок по разработке и внедрению в промышленное производство возобновляемых источников энергии, куда входит левитационная ветроэлектростанция, солнечный коллектор и аккумуляторная батарея высокой емкости;

4. внедрение энергосберегающих технологий непосредственно у потребителя посредством замены ламп накаливания, предназначенных для освещения помещений, на светодиодные осветительные установки повышенной надежности.

Кроме этого, в предлагаемом комплексе будет сделан особый упор на экологической безопасности и максимальном повышении эффективности протекания рабочих процессов посредством организации аналитического контроля. Основу системы анализа процессов (определение содержания серы и меркаптанов в ПНГ, анализ отработанных газов газопоршневой электростанции) будет составлять компьютерно-хроматографический комплекс.

Интегрированный в технологический процесс аналитический модуль позволит повысить качество технологических процессов, обеспечит оптимальные параметры работы системы, что положительно отразится на надежности и долговечности, а также позволит найти оптимальный режим работы и расхода энергетических и материальных ресурсов, увеличивая тем самым экономический эффект и сокращая срок окупаемости проекта. Особые достоинства хроматографических методов анализа водной и воздушной сред заключаются

в том, что в процессе однократного ввода пробы можно разделить сложные смеси органических и неорганических компонентов [3].

Для увеличения степени очистки ПНГ от соединений серы и меркаптанов предлагается дополнить схему блоком каталитической очистки с использованием природных цеолитов месторождений Татарстана [5].

Крупной статьёй эксплуатационных расходов при адсорбционной очистке газов от сернистых соединений является стоимость сорбента, которая зависит от срока его службы. Одним из наиболее важных его показателей является сорбционная емкость. Применение сухих методов будет неэкономичным, если получаемые при очистке побочные продукты не могут быть реализованы в других отраслях народного хозяйства, что обеспечит получение средств, возмещающих расходы на газоочистку.

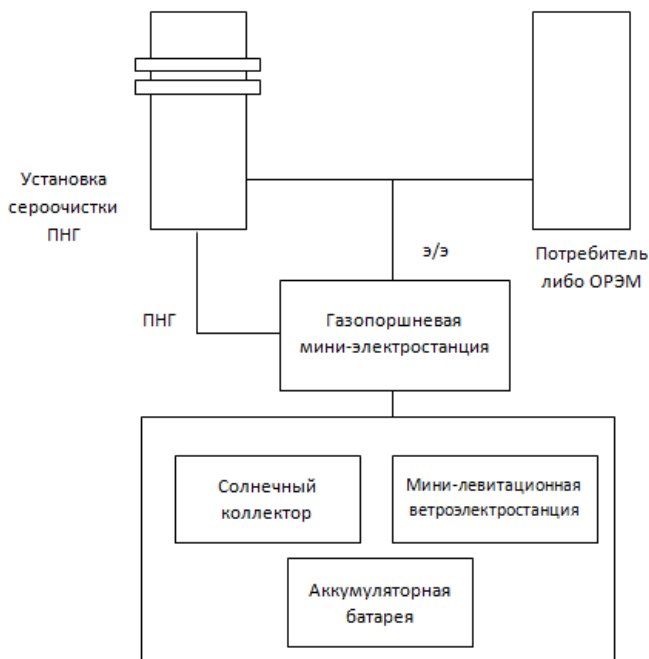


Рис.1. Схема комплекса решений для повышения энергетической эффективности предприятия нефтедобывающего сектора

Анализ литературных данных показал, что наиболее эффективно с этой целью можно использовать природные цеолиты, которые обладают молекулярно-ситовыми свойствами и при их детальном исследовании могут решить важнейшие задачи по очистке газов от сернистых соединений. В то же время из-за недостаточной изученности природ-

ных цеолитов они не нашли широкого применения при сорбционной очистке от сернистых соединений, которые оказывают на здоровье людей вредное влияние в виде экологических «потерь», обусловленных стоимостью ухода за больными и их лечением.

Как известно, капитальные затраты возрастают почти пропорционально понижению концентрации сернистых соединений в очищенном газе. При этом методы улавливания сернистых соединений и их утилизация должны также удовлетворять и санитарным требованиям установки сероочистки, которая не должна загрязнять атмосферный воздух и водоемы своими выбросами.

При этом сухой сорбционный процесс улавливания сернистых соединений может быть экономически выгодным при наличии сравнительно дешевых и доступных сорбентов, к которым и относятся природные цеолиты.

Достаточно высокие сорбционные, каталитические и ионообменные свойства природных цеолитов, а также появление эффективных методов регулирования их геометрической структуры и химической природы поверхности, наличие крупных промышленных месторождений и достаточно низкая стоимость делают экономически целесообразным использование природных цеолитов при разработке технологии очистки газообразных веществ от сернистых соединений.

Для очистки углеводородного сырья, которое содержит наибольшее количество меркаптановой и сульфидной серы, цеолиты являются одними из наиболее эффективных сорбентов. Широкое использование синтетических цеолитов из-за их высокой стоимости и недостаточной механической прочности в агрессивных средах ограничивает область их применения, поэтому резко возросла роль природных цеолитов.

Библиографический список

1. Капелович Б.Э. Эксплуатация паротурбинных установок. М.: Энергия. 1975.
2. <http://sulfurex.ru/>
3. www.esist.ru
4. Карташова А.А., Ильина О.В., Танеева А.В., Новиков В.Ф. Центральная аналитическая лаборатория хроматографических методов анализа (ЦАЛХМА): направления работы и перспективы // Вестник КГЭУ, №3 (6), 2010. С. 65-70.
5. Гизатуллин А.Р., Карташова А.А., Каратаев О.Р., Новиков В.Ф. Сорбционные свойства цеолитсодержащих пород Республики Татарстан при очистке газовых выбросов // В сб. 6-ой Всероссийской цеолитной конференции с международным участием, Московская обл., г. Звенигород, 2011.

*Л.З.Махиянова; В.В.Голубев к.т.н., доцент
КГЭУ, г. Казань*

ВОЗМОЖНОСТИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ВОДЫ ДЛЯ ТЕПЛОСЕТЕЙ

В настоящее время протяженность тепловых сетей в России составляет более 250 тыс. км в двухтрубном исчислении. Удельная повреждаемость трубопроводов теплосети составляет до 70 повреждений на 100 км в год. По данным ВТИ в среднем 25% повреждений связано с внутренней коррозией. Внутренняя коррозия трубопроводов имеет локальный характер и проявляется в виде язв, переходящих в свищи.

Основными факторами, влияющими на внутреннюю коррозию трубной стали в условиях теплосети, являются значения pH воды, концентрация в воде кислорода, сульфатов и хлоридов. Их значение и сочетание определяет агрессивность сетевой воды по отношению к металлу [3].

Отложения солей карбонатной жесткости в теплообменном оборудовании является основной причиной уменьшения эффективности его работы. Увеличение толщины слоя отложений приводит к снижению температуры нагреваемой воды. Поддержание температуры нагреваемой воды на требуемом уровне достигается за счет увеличения расхода теплоносителя, что вызывает рост средней температуры теплообменной поверхности (рисунок 1) и более интенсивное образование накипи. В зависимости от карбонатной жесткости нагреваемой воды и ее температуры на выходе теплообменного оборудования, время нарастания слоя накипи в кожухотрубных нагревателях до толщины в 1-1,5 мм составляет от нескольких недель до нескольких лет. Нарастание слоя накипи приводит к ухудшению процесса теплопередачи, к увеличению расхода теплоносителя, и в конечном итоге к экономическим потерям при потреблении, транспортировке и производстве тепла.

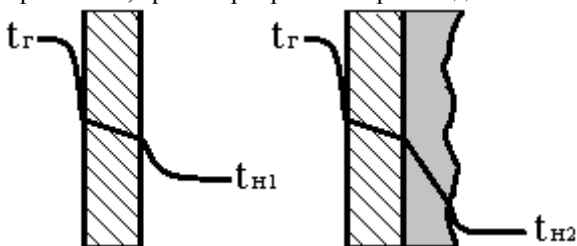


Рис. 1. Воздействие слоя накипи на температуру теплообменной поверхности.

При постоянстве расходов греющей и нагреваемой воды и значений площадей поверхностей теплообменников переданное от теплоносителя к нагреваемой воде, уменьшается, вызывая снижение выходной

температуры нагреваемой воды. При увеличении расхода теплоносителя количество тепла, переданное расходной воде, увеличивается, достигая своего первоначального значения. Таким образом, при поддержании температуры нагреваемой воды на заданном уровне загрязнение теплообменных поверхностей вызывает рост расхода теплоносителя.

Предварительную оценку потерь тепла греющей воды получим из тепловых балансов. Пусть Q_1 – количество тепла, переданного в нагревателе с чистыми теплообменными поверхностями; Q_2 – с загрязненными; Q_3 – с загрязненными при увеличенном расходе теплоносителя. Тогда:

$$Q_1 = cG_x(t_{xH_1} - t_{xK_1}) = cG_r(t_{rH_1} - t_{rK_1}),$$

$$Q_2 = cG_x(t_{xH_2} - t_{xK_2}) = cG_r(t_{rH_2} - t_{rK_2}),$$

$$Q_3 = cG_x(t_{xH_3} - t_{xK_3}) = c\beta G_r(t_{rH_3} - t_{rK_3}),$$

где β – поправочный коэффициент на загрязнение поверхностей теплообмена; t – температура, индекс «х» соответствуют нагреваемой воде, «г» – греющей, «н» – начало, «к» – конец нагревателя. Для упрощения рассматривается одна секция нагревателя при противоточной схеме, распределение температур греющей и нагреваемой сред в которой и принятые обозначения начала и конца нагревателя приведены на рисунке 2.

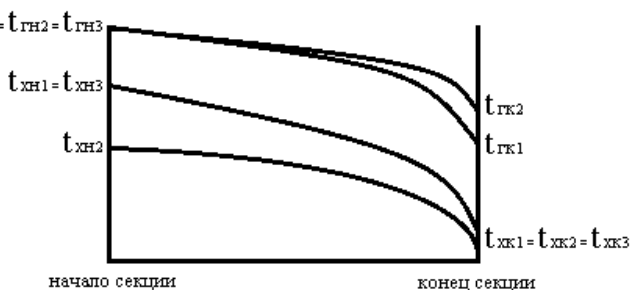


Рис. 2. Распределение температур вдоль поверхности теплообмена.

Тепловые потери при транспортировке тепла прямо связаны с количеством тепла, в прошедшем по теплопроводам теплоносителя. Увеличение расхода греющей воды в тепловых пунктах вызывает необходимость транспортировки повышенного объема теплоносителя, что приводит к дополнительным тепловым потерям в теплопроводах и дополнительному расходу электроэнергии [2].

Наиболее часто сегодня применяются следующие способы борьбы с накипеобразованием: химическое, физическое или физико-

химическое воздействие на сетевую воду с целью стабилизации ее минерального состава перед подачей в котлы или водонагреватели. Выделяют две группы таких методов – реагентные и безреагентные. Реагентные методы осуществляются путем обработки сетевой воды ингибиторами процесса накипеобразования (антинакипинами), в качестве которых чаще всего используют фосфоорганические комплексоны (фосфонаты) и их производные.

Сущность безреагентных методов заключается в воздействии на сетевую воду магнитным, ультразвуковыми или электрическими полями.

Электрохимическая подготовка сетевой воды позволяет предотвратить образование отложений в оборудовании (в том числе – накипь в теплогенераторах и теплообменниках), улучшать, интенсифицировать процессы флотации, коагуляции, седиментации и др.

Сущность метода заключается в том, что под влиянием электрического поля в воде инициируются процессы электролиза: соли жесткости, соединения железа, других металлов осаждаются на катодах, а на анодах образуются углекислый газ и углекислота. Образующиеся ионы разрушающе действуют также на бактерии и другие биологические примеси воды [4].

Практический интерес представляет выявление влияния электрохимического способа на жизнедеятельность и численность коррозионно активных микроорганизмов, наиболее часто встречающихся в воде и на внутренней поверхности трубопроводов горячего водоснабжения и тепловых сетей.

Проводились эксперименты в условиях эксплуатации реальных сетей ГВС при работе аппаратов электрохимической обработки воды и без них на участках от ЦТП до потребителя. Определялось количество ЖБ и СВБ (термофильные штаммы) в отложениях на внутренних поверхностях труб теплопроводов. Определение проводилось во время остановок и ремонтов сетей.

В таблице 1 представлены усредненные результаты определения количества железобактерий и сульфатвосстанавливающих бактерий в отложениях на трубах после 10 месяцев эксплуатации теплотрассы из новых труб после электрохимической обработки воды и без нее. Толщина слоя отложений составляла 2,5...5,2 мм. Скопления ЖБ отмечались, в первую очередь в раковинах металла, образующихся в зонах сварных швов. Раковины заполнены темно-коричневыми (вплоть до черного) отложениями соединений железа и бактериальных клеток. В ряде случаев наблюдались вдоль потока канавки, заполненные соединениями железа, также содержащие бактериальные.

Количество же анаэробных СВБ в трубопроводе под слоем отложений возрастало по мере удаления от ЦТП. Это объясняется общим увеличением количества и толщины слоя отложений по мере удаления от ЦТП, т.е. созданием бескислородной среды, способствующей развиту СВБ.

Иная картина наблюдалась на участках с водой, обработанной электрохимическим способом. Условия эксплуатации трассы и отбора проб практически соответствовали условиям предыдущего эксперимента. Обследуемый участок трубопровода находился в эксплуатации 10 месяцев, был смонтирован из новых труб. Причиной вскрытия трубопровода явились аварийные повреждения при земляных работах. В таблицах 1 и 2 приведены данные анализов воды до и после электрохимической обработки и усредненные данные по количеству ЖБ и СВБ в отложениях на трубах участка трубопровода ГВС. Толщина слоя отложений составляла 0,4...0,7 мм, что, в среднем, в 10 раз меньше, чем в случае необработанной воды. Что же касается наличия бактерий в отложениях, то их количество более чем на 2 порядка ниже, чем при эксплуатации трассы на необработанной воде.

Таблица 1. Количество бактерий (кл/см³ отложений) на внутренней поверхности труб трубопроводов горячего водоснабжения.

Вид бактерий (термофильные штаммы)	Место отбора проб					
	На выходе из ЦТП		Зона аварийных швов		Ввод в дом(210 м от ЦТП)	
	без обработки	после обработки	без обработки	после обработки	без обработки	после обработки
Сульфатвос- ставли-вающие бактерии	1,2·10 ³	4	1,3·10 ³	2	1,9·10 ³	2
Железобакте- рии	6,0·10 ²	не оп- ред-ся	1,2·10 ²	4	9,0·10 ²	не оп- ред-ся

Таблица 2. Показатели горячей воды.

№	Показатель	Ед. измерения	Результаты до обработки	Результаты после обработки	Норматив
1	Общая жесткость	ммоль/д м ³	7,6	1,8	не более 7
2	Железо	мг/ дм ³	0,20	0,03	не более 0,3
3	Медь	мг/ дм ³	0,62	0,38	не более 1

4	pH	-	6,62	8,06	от 6 до 9
5	Запах при 20 °С	балл	0	0	не более 2
6	Запах при 30 °С	балл	1	0	не более 2
7	Вкус	балл	1	1	не более 2
8	Цветность	градус	16	8	не более 20
9	Мутность	мг/ дм ³	0,82	0,24	не более 1,5
10	Окисляемость	мг/ дм ³	0,64	3,6	не более 10

Касательно сульфатовосстанавливающих микроорганизмов: на их развитие в данном случае действуют два противодействующих фактора: первый – уменьшение количества кислорода в воде, приводящее к созданию благоприятных условий для развития анаэробных микроорганизмов; второй – уменьшение количества отложений, способствующее доступу оставшегося в теплоносителе кислорода к внутренней поверхности стальной трубы, т.е. подавлению жизнедеятельности СВБ. Эксперименты показывают, что преобладает второй фактор [1].

Таким образом, электрохимическая обработка воды может быть рекомендована в целях энергоресурсосбережения для борьбы с накипью и микробиологической коррозией, в целях улучшения потребительских свойств сетевой воды.

Библиографический список

1. **А.В.Акользина, Л.Б.Бухгалтер, В.А.Хабаров.** Электрохимическая обработка воды как экологически безопасный метод снижения численности коррозионно активных микроорганизмов в сетях горячего водоснабжения ; Энергосбережение и водоподготовка, 2003, №2, с. 53 – 55.
2. **А.Г.Андреев, П.А.Панфиль.** О предотвращении дополнительных тепловых потерь, вызванных образованием накипи; Энергосбережение и водоподготовка, 2003, №1, с. 92 – 94.
3. **Ю.В.Балабап—Ирменин, Н.Г.Фокина, С.Ю.Петрова.** Защита от внутренней коррозии трубопроводов водяных тепловых сетей. Энергосбережение и водоподготовка, 2009, №6, с. 2 – 4.
4. **Я.Е.Резник.** О «нехимических» методах обработки воды. Энергосбережение и водоподготовка, 2006, №5, с. 13 – 15.

*Д. А. Мусаева студ., рук. А. И. Гурьянов д.т.н., проф.
(КГЭУ, г. Казань)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ ПОПЕРЕЧНОМ ОБТЕКАНИИ ОДИНОЧНОГО ЦИЛИНДРА В УСЛОВИЯХ

НАЛОЖЕНИЯ НА ПОТОК НИЗКОЧАСТОТНЫХ НЕСИММЕТРИЧНЫХ ПУЛЬСАЦИЙ ДАВЛЕНИЯ

В настоящее время вопрос влияния нестационарных потоков на тепло- и массообмен остаётся актуальным и неразрешённым, авторы, изучающие его, приводят противоречивые данные о положительном или отрицательном влиянии пульсаций потока на тепло- и массоотдачу. В то время как режимы течений с пульсациями встречаются довольно часто - в таких технологических аппаратах как пульсационный экстракционный аппарат, аппараты с пульсационным технологическим транспортированием [1], нестационарные пульсирующие потоки встречаются в технологиях, использующих поршневые насосы и подобное им оборудование.

Проблема использования пульсирующего потока для интенсификации теплообмена рассматривалась многими исследователями. Подробно изучены потоки, пульсирующие с высокой частотой [2], пульсации, имеющие синусоидальный характер [3], а также симметричные пульсации потока низкой частоты [4]. Авторами исследований отмечается, что наложение на поток пульсаций различных амплитуд и частот приводит к интенсификации теплообменных процессов [5, 6], в том числе, при обтекании цилиндра, пучка труб и для плотного слоя. Стоит отметить, что в настоящее время теплообмен в условиях низкочастотных несимметричных пульсаций потока исследован не был.

В работе, для оценки влияния наложения на поток низкочастотных несимметричных пульсаций на теплообмен при поперечном обтекании цилиндра ($D=1$ мм), рассматриваются результаты моделирования процессов теплообмена. Задача распределения изменения коэффициента теплоотдачи в двухмерной постановке для круглого цилиндра решается численным методом относительно стационарного и нестационарного режимов течения жидкости в соответствии с заданными режимами пульсаций ($f=[0.055; 0.8]$; $\Psi=[0;1]$; $Re=[7; 100]$).

При движении потока в нестационарном режиме характерная скорость потока жидкости определялась путём усреднения изменения скорости по оси X нестационарного потока, при этом характерная скорость потока с пульсациями была равна средней скорости стационарного течения для каждого из рассматриваемых чисел Рейнольдса.

Для сравнительной оценки интенсивности переноса теплоты на графике (рис. 1) представлены коэффициенты теплоотдачи, характеризующие стационарный и нестационарный режимы течения, а также среднее интегральное значение коэффициента теплоотдачи для нестационарного потока. Скорость движения стационарного и усреднённая скорость нестационарного потока жидкости, как упоминалось ранее, равны.

Для определения степени эффективности наложения пульсаций на поток значения критериев Нуссельта нестационарного потока были отнесены к критериям Нуссельта потоков без пульсаций, а также были получены значения повышения давления относительно давления стационарного потока (табл. 1).

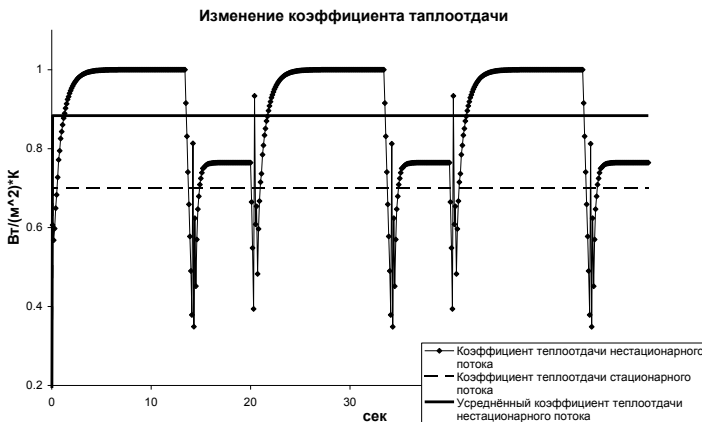


Рис. 1. Распределение коэффициентов теплоотдачи для стационарного и нестационарного потоков, а также среднее интегральное значение коэффициента теплоотдачи для нестационарного потока ($f=0,05$ Гц, $\psi=0,5$), при скорости набегающего потока, соответствующей $Re=61$.

Таблица 1. Относительное увеличение интенсивности переноса тепла и относительное повышение давления, при наложении на поток пульсаций, для нестационарного и стационарного потоков при изменении частоты и скважности.

Re	$Nu_{не ст} / Nu_{ст}$				
	$f \backslash \psi$	0,25	0,5	0,75	1
50	0,055	1,136	1,250	1,431	1,617
	0,1	1,100	1,264	1,396	1,615
	0,2	1,04	1,141	1,367	1,619
	0,4	1,043	1,099	1,291	1,529
	0,6	1,021	1,039	1,259	1,453
	0,8	0,994	1,091	1,059	1,567
	$\Delta p_{не ст} / \Delta p_{ст}$				
	0,055	1,718	2,981	5,237	6,559
0,1	1,825	3,507	5,367	9,463	
0,2	1,928	3,233	6,495	10,478	
0,4	2,120	3,258	6,835	13,155	
0,6	3,538	5,382	8,334	16,219	
0,8	2,880	5,567	9,453	20,695	

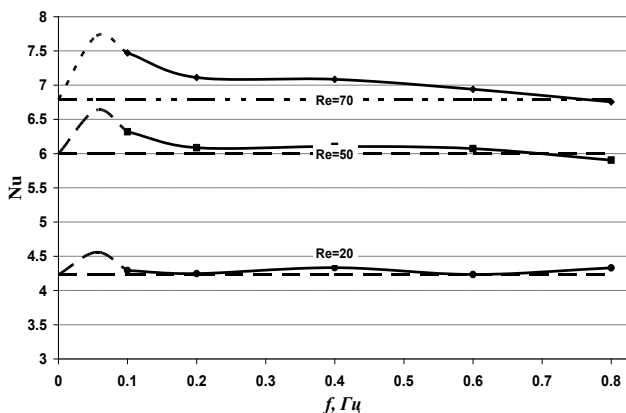


Рис. 2 (а). Изменение критерия Нуссельта от частоты пульсаций ($\Psi=0,25$)

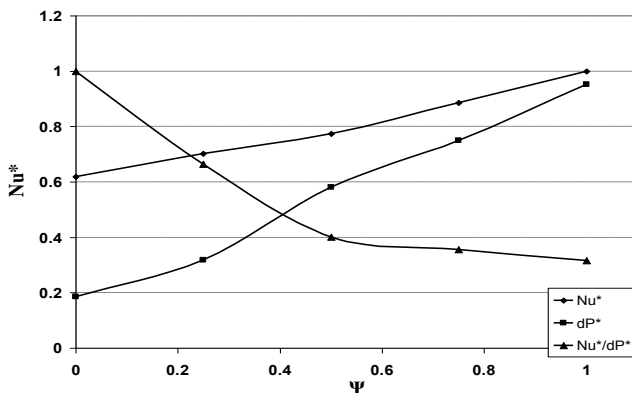


Рис. 2 (б). Влияние изменения коэффициента скважности на критерий Нуссельта ($f=0,055$; $Re=70$)

Таким образом, полученные данные показывают, что наложение низкочастотных несимметричных пульсаций на поток жидкости при поперечном обтекании одиночного цилиндра приводит к интенсификации теплообмена в сравнении со стационарным течением.

С точки зрения энергоэффективности - пульсации с низкой частотой ($f=0,055$ Гц) и высокой степенью несимметричности производят наибольший эффект, с учётом дополнительных энергозатрат на генерацию пульсаций (12 %) (таб. 1, рис. 2 (а, б)).

Библиографический список

1. А.И. Гурьянов, А.А. Снявин, Д.П. Иовлев и др. Энерго- и ресурсоэффективность диффузионного аппарата //Сахар. – 2008. - №2. – С.44-46.

2. **Inaba, T., Kubo.T.** Enhanced heat transfer through oscillatory flow // J. Heat Transfer - Japanese Research. 1993. Vol.22. № 5. P. 480-92.
3. **Kurzweg, U.H., Ling de Zhao.** Heat transfer by high-frequency oscillations: a new hydrodynamic technique for achieving large effective thermal conductivities // Physics of Fluids. Nov. 1984. Vol.27. № 11. P. 2624-7.
4. **Zhixiong Guo, Hyung Jin Sung.** Analysis of the Nusselt number in pulsating pipe flow // International Journal of Heat and Mass Transfer. July 1997. Vol.40. № 10. P. 2486-9.
5. **Olayiwola B.O., Walzel P.** Flow pulsation and modified duct surface for process heat transfer intensification // International Journal of Chemical Reactor Engineering. 2007. Vol.5. P. 10.
6. **Mostinskii I.L., Lamden D.I., Stonik O.G.** Influence of flow pulsations on the heat and mass transfer with particles // High Temperature. July-Aug. 1983. Vol.21. № 4. P. 576-82.

*А.Е. Мотыгулин, асп.; рук. Л.М. Дыскин, д.т.н., проф.
(ННГАСУ, г. Нижний Новгород)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОТЛОВОЙ ПРОДУВОЧНОЙ ВОДЫ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И ЭЛЕКТРОЛИЗА

Значительную часть внутренних потерь тепловой электростанции составляют потери энергии с продувочной водой котлов. Для установившегося режима работы котлов, при восполнении потерь продувочной воды обессоленной водой, размер непрерывной продувки сохраняется на уровне примерно 0,5-1,0% паропроизводительности котла. Продувочная вода поступает из барабана котла в трубопровод, на котором установлена регулирующая и запорная арматура. При протекании через неё происходит снижение давления продувочной воды, в связи с чем начинается процесс кипения, то есть образуется пароводяная смесь. Температура смеси снижается до температуры насыщения, соответствующей давлению за арматурой. Для снижения потерь теплоты продувочную воду направляют в бак-расширитель, а затем в теплообменник. В расширителе часть воды испаряется, а полученный пар сбрасывается в деаэра-тор.

Рациональное использование энтальпии котловой продувочной воды возможно при её электролизе с получением водорода и кислорода. При обычных, широко используемых в технике методах электролиза воды, процесс проводят при температурах 60-85°C. Энергозатраты при этом колеблются в зависимости от ряда факторов в пределах 4,5-6 кВт·ч на 1 м³ водорода. КПД таких установок составляет около 61%. Снижение удельного потребления мощности и повышение рабочей температуры электролиза достигаются в промышленных электролизерах, работающих под давлением. С повышением температуры воды, поступающей на электролиз, снижаются омические потери и перенапряжение, представляющее собой разность между теоретически минимальным и реально необходимым напряжениями. В результате снижается напряжение ячейки. В современных серийных электролизерах высокого давления на нагрев воды тратится значительное количество топлива, а давление достигает 3,0 МПа. Подобные установки имеют КПД 85%, а величина потребляемой ими электроэнергии составляет 3,5 кВт·ч/м³ водорода. При этом также создаётся экономия в стоимости компрессии газов, в габаритах аппаратов для сушки и хранения газов, в размерах самого электролизера. Этот реальный выигрыш в эффективности требует, однако, повышения стоимости сосудов, выдерживающих заданные давления [1].

Благодаря высокой температуре и давлению продувочной воды общий энергетический КПД процесса её электролиза будет высоким. При этом дополнительные затраты тепловой энергии, а также сооружение оборудования для получения воды с высокими параметрами, как это имеет место в современных электролизных установках, не требуются. Удельная электропроводность очищенной воды незначительна. В настоящее время почти все электролизеры используют водные растворы КОН или NaOH с концентрацией 350-400 г/л или соли. Продувочная вода содержит соли и имеет щелочную рН, поэтому её начальная электропроводность выше, чем у очищенной воды. По-видимому, это обстоятельство даст экономии щёлочи или соли, вносимой в электролизер. Промышленная инфраструктура электростанции способствует внедрению предлагаемой технологии.

Электролизёр может потреблять электроэнергию от альтернативных источников, преобразующих вторичные энергоресурсы электростанции что дополнительно снижает себестоимость получаемых газов. Источником электрической энергии для электролизера может быть малый гидроагрегат с гидравлической винтовой турбиной (рис. 1), в которой вращение одного или нескольких винтовых роторов осуществляется потоком продувочной воды.

Гидравлическая винтовая турбина (ГВТ), как и паровая винтовая машина, обладает следующими положительными характеристиками [2]:

1. Высокой надежностью и длительным моторесурсом при давлениях до 30 МПа, что определяется простотой её конструкции;
2. Малыми габаритами и массой, что достигается быстроходностью рабочих органов, совершающих вращательное движение и высокой степенью расширения в одной ступени;
3. Нечувствительностью к наличию в рабочем потоке пузырьков пара и гидравлическим ударам (явление эрозии не оказывает влияния на прочностные характеристики винтов благодаря форме и массивности рабочих органов (зубьев));
4. Высоким внутренним относительным КПД (67...70 %);
5. Высокой степенью уравновешенности роторов расширителя, позволяющей отказаться от массивных фундаментов;
6. Высокой равномерностью вращения;
7. Простотой обслуживания и низкими эксплуатационными расходами.

Для возможности подачи в ГВТ продувочной воды от нескольких однотипных котлов требуется наличие общего продувочного коллектора. Внедрение ГВТ может осуществляться параллельно вентилям, регулирующим величину расхода в продувочном коллекторе котлов. Подбор типа и размера ГВТ определяется расходом и давлением в подающем трубопроводе, а также перепадом давления до и после проточной части. При эксплуатации такой системы расширения постоянный максимально доступный объём продувочной воды должен направляться через ГВТ, а небольшие корректировки расхода могут осуществляться регулирующими вентилями.

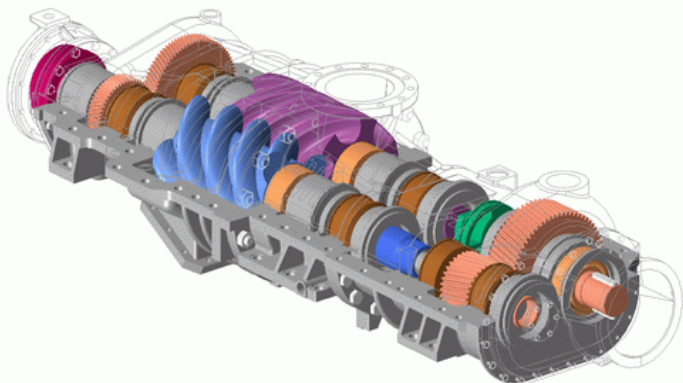


Рис. 1. Внутреннее устройство гидравлической двухвинтовой турбины

Система расширения продувочной воды, включающая гидроагрегат с ГВТ и электролизер представлена на рис. 2. Вода из продувочного коллектора котлов 1 через фильтр 2 поступает в ГВТ 3, где её давление снижается до рабочего давления в электролизере 8. После выхода из проточной части ГВТ пароводяная смесь направляется в бак-расширитель первой ступени 6 для отделения и отвода чистого пара. Одна часть потока продувочной воды после бака 6 вновь редуцируется для получения чистого пара в баке-расширителе второй ступени 10, а другая часть потока воды, температура которой соответствует состоянию насыщения при давлении за ГВТ, подаётся через фильтр 7 в электролизёр 8, потребляющий электроэнергию от турбогенератора 4. Концентрат из бака 10 окончательно редуцируется вентилем 11, охлаждается технической водой в теплообменнике 12 и отводится в канализацию 13.

Чтобы оценить целесообразность внедрения предлагаемой схемы на тепловой электростанции рассмотрим систему расширения трёх котлов типа Е-420-140, работающих в номинальном режиме со следующими характеристиками: паропроизводительность каждого котла $D_n = 420$ т/ч; давление в продувочном коллекторе 1 $p_1 = 15,0$ МПа; величина продувки $p = 0,005 D_n$, т/ч. Предполагается, что давление продувочной воды в баке-расширителе 6 поддерживается на уровне $p_6 = 3,0$ МПа для оптимального режима работы электролизера 8.

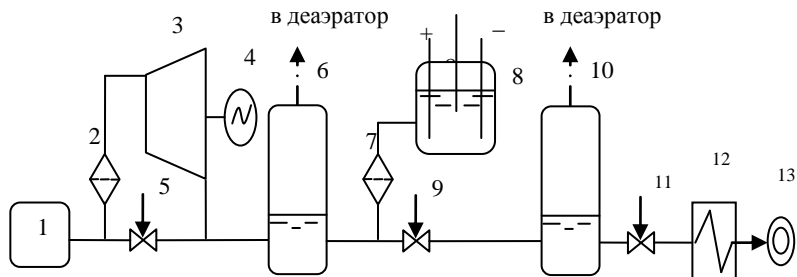


Рис. 2. Принципиальная схема системы расширения продувочной воды с винтовым гидроагрегатом и электролизером:

1 – продувочный коллектор котлов; 2, 7 – фильтры воды; 3 – гидравлическая винтовая турбина; 4 – турбогенератор; 5, 9, 11 – регулирующие вентили; 6, 10 – расширители продувки первой и второй ступеней; 8 – электролизер; 12 – подогреватель технической воды; 13 – канализация;
 ———— жидкость; - - - пар.

Как отмечено выше, удельные затраты электрической мощности на получение 1 м^3 водорода H_2 в электролизере, работающем под давлением 3,0 МПа составляют 3,5 кВт·ч. Таким образом, если всю генерируемую электрическую мощность N_4 направить на электролиз воды, то получим выход водорода:

$$G_{\text{водород}} = 26,3 / 3,5 = 7,5 \text{ м}^3/\text{час.}$$

Соответствующий выход кислорода O_2 равен половине объёма водорода:

$$G_{\text{кислород}} = 7,5 / 2 = 3,75 \text{ м}^3/\text{час.}$$

Полученные газы могут быть использованы для нужд электростанции или реализованы другим потребителям. Удельные затраты на установку малой производительности примерно в 5 раз выше, чем большой. Вследствие этого, одно из направлений модернизации технологии электролиза воды - это укрупнение единичных аппаратов. Снижение себестоимости получаемых газов вследствие снижения энергозатрат и дешёвой электроэнергии даёт значительную экономию или даже дополнительную прибыль для тепловой электростанции, особенно при монтаже крупного электролизного аппарата, использующего продувочную воду от энергетических котлов и электрическую энергию, генерируемую потоком продувочной воды.

Библиографический список

1. Гамбург Д.Ю. Водород. Свойства, получение, хранение, транспортирование, применение : справ. изд. / Д. Ю. Гамбург, В. П. Семенов, Н. Ф. Дубовкин, Л. Н. Смирнова ; под ред. Д. Ю. Гамбурга, Н. Ф. Дубовкина. - М. : Химия, 1989. - 672 с. : ил.
2. <http://www.ecopolis04.ru/site/83>
3. Ривкин С.Л. Термодинамические свойства воды и водяного пара : справ. изд. / С.Л. Ривкин, А.А. Александров. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Энергоатомиздат, 1984. - 80 с. : ил.

**А.В. Николаев, студ.; рук. Т.С. Любова к.ф.м.н., доц.
(филиал МЭИ, г. Смоленск)**

ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЦЕМЕНТНОГО КЛИНКЕРА

Проблема оптимизации производства цементного клинкера во вращающихся печах является одним из актуальных вопросов энергосбережения. Изучение данного вопроса подтверждает острую необходимость изыскания наиболее эффективных энергосберегающих мероприятий и разработок новых технических решений для их реализации.

Вращающиеся печи являются сложными технологическими агрегатами, представляющими собой одновременно физико-химический реактор и топочную камеру. В этих печах протекают взаимосвязанные механические, химические, газодинамические, тепловые и другие процессы [1]. Большая мощность, крупные габариты, высокие температуры, вращение печи усложняют исследование перечисленных процессов в реальных производственных условиях.

Производство цемента требует значительного количества энергии, затраты на энергетические носители составляют примерно 30-35% себестоимости конечного продукта. Поэтому поиск технологических решений способствующих наиболее экономичному использованию энергоресурсов во вращающейся печи является первостепенной задачей. В целях определения энергосберегающих мероприятий был проведен анализ работы вращающейся печи с размерами 135x4,5 м, работающей на газу Тюменского месторождения с колосниковым холодильником «Волга» длиной 16,6 м, шириной 2,8 м, площадью колосниковой решетки 46,48 м².

Расчет теплового баланса позволил определить основные статьи расхода. Из их анализа можно сделать вывод, что больший расход теплоты идет на испарение воды из сырьевой смеси (24,59%), потери теплоты с уходящими газами (14,77%) и потери теплоты с клинкером, покидающим печь (13,07%).

Ряд энергосберегающих мероприятий направлен на снижение тепловых потерь. Температура отходящих газов является вторым после влажности шлама параметром, наиболее сильно влияющим на расход топлива [2]. Для снижения потерь с уходящими газами была проанализирована зависимость расхода топлива от температуры отходящих газов.

В результате анализа расчетов данной установки было установлено, что снижение температуры уходящих газов на 1 °С ведет к снижению расхода топлива на 20 %.

Важным процессом получения цементного клинкера является и процесс его охлаждения. Из зоны охлаждения вращающихся печей клинкер выходит с температурой 1100 – 1300 °С. Окончательное охлаждение его происходит в холодильниках [3].

Колосниковый холодильник является наиболее распространенным и важнейшим агрегатом печной системы при обжиге цементного клинкера. От эф-

фективности его работы в значительной степени зависит расход топлива на обжиг клинкера и его качество

Для данной установки был рассмотрен вопрос применения колосникового холодильника в целях минимизации потерь тепла с клинкером. В ходе исследования было выявлено, что использование колосникового холодильника позволяет существенно снизить температуру цементного клинкера, выходящего из печи, путем нагрева вторичного воздуха, продуваемого через него.

Основным параметром, который необходимо рассмотреть для оценки качества работы той или иной конструкции холодильников, является, прежде всего, величина температуры вторичного воздуха, которая определяет уровень теплоиспользования печи [4].

В результате анализа материальных и тепловых балансов всего комплекса печь и холодильник и проведения оптимизации энергосберегающих мероприятий была определена оптимальная температура подогрева воздуха, которая составила 352,266 °С. Это позволило снизить расход топлива на 42 %.

Библиографический список

1. **Лисиенко В.Г., Щелоков Я.М.** Вращающиеся печи: теплотехника, управление и экология. М.: Теплотехник. 2004.
2. **Беседин П.В.** Энерготехнологический анализ процессов в технологии цементного клинкера. Белгород: БИЭИ. 2005.
3. **Фрайман Л.С., Фрайман М.Л.** Интенсификация охлаждения клинкера в колосниковых холодильниках. Санкт-Петербург: ПОЛЭКС. 2007.
4. **Классен В.К.** Оптимизация процесса охлаждения клинкера в колосниковом холодильнике. Цемент и его применение. 2008 №5, с. 91-96.

*Д.В. Великанова, студ.; А.М.Глазунов, асп.;
рук-ли В.И. Субботин, к.т.н., проф., С.В.Васильев, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

СОВРЕМЕННЫЕ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

В Российской Федерации осуществление программы энергосбережения определяется надежным и экономическим функционированием систем теплоснабжения в промышленности и сфере жилищно-коммунального хозяйства.

В России протяженность тепловых сетей (в пересчете на двухпроводную прокладку) составляет 200 тыс. км. Именно они являются самыми уязвимым звеном в системе центрального теплоснабжения. Фактически тепловые потери в сетях могут достигать 40 % .

Для снижения тепловых потерь используют различные изоляционные материалы.

На основании анализа нормативных документов и существующего опыта эксплуатации тепловой изоляции можно сформулировать требования к ней: изделие должно обеспечивать стабильные теплоизоляционные характеристики в течение продолжительного времени, быть устойчиво к ультрафиолетовому спектру излучения, обеспечивать достаточные прочные характеристики, удобство транспортировки и хранения, возможность комбинирования наружного покрытия, возможность изоляции систем сложной конфигурации, простота и доступность монтажа, возможность быстрого доступа к поврежденному участку трубы, не токсичность и безопасность для окружающей среды, пожарная безопасность и экономическая целесообразность.

В качестве теплоизоляционных материалов в соответствии со СНиП 41-02-2003 «Тепловые сети» и со СНиП 41-03-2003 «Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов» применяют: минеральную вату на основе базальтовых пород или стекловолокна, армопенобетон (АПБ), пенополимерматериал (ППМ), пенополиуретан (ППУ).

Применяемые ранее для наружных теплосетей теплоизоляционные материалы через несколько лет эксплуатации приводили к потерям в пределах 10-20% и выше от общего количества переданной теплоты, притом, что современные материалы позволяют ограничить потери в пределах 2,5%, что в разы отличается от существующих значений.

Одним из широко применяемых изоляционных материалов является минеральная вата. Достоинством её является невысокая стоимость, а недостатки – большие габариты, вследствие многослойности конструкции; маленький срок службы: от 2 до 5 лет; выделение пыли и волокна теплоизолирующего материала при повреждении покровных слоев в процессе эксплуатации.

Трубы с армопенобетонной изоляцией диаметром от 57 до 1420 мм выпускаются по ТУ 4859-002-03984155-99. Такие трубы характеризуются низкой плотностью (200-250 кг/м³) и теплопроводностью (0,05 Вт/(м·К)) при высокой

прочности на сжатие (не менее 0,7 МПа). Предызолированные трубы с изоляцией из армопенобетона могут применяться во всем диапазоне температур теплоносителя как в водяных, так и в паровых тепловых сетях всех видов прокладки, включая подземную бесканальную, подземную в проходных и непроходных каналах и надземную прокладку.

Пенополимерминеральная изоляция получила распространение в 1995 г. Она получается за счет добавления в заливочную систему минеральных добавок. Конструкция теплопровода в ППИ изоляции является моноконструкцией. В процессе ее изготовления образуется антикоррозионное покрытие (корка на стальной трубе), основной теплоизоляционный слой и плотный наружный слой, обеспечивающий защиту конструкции от проникновения в нее влаги и механических повреждений. Основные преимущества от применения теплопроводов в ППИ изоляции сводятся к: простоте технологического процесса изоляции труб, легкости контроля качества готовой продукции, высокой ремонтпригодностью, снижению теплопотерь, повышению надежности и увеличению срока службы тепловых сетей до 30 лет. К недостаткам можно отнести: ухудшение пористости, из-за минеральных добавок; недостаточную проработку поведения изоляции на подвижных опорах; добавление минеральных наполнителей повышает хрупкость изоляции, что приводит к увеличению возможности сколов.

Предварительно изолированные в заводских условиях трубы с тепловой изоляцией на основе пенополиуретана (ППУ) и защитным из полиэтилена слоем по ГОСТ 30732-2001 применяются при подземной бесканальной прокладке. Пенополиуретан – разновидность пластмассы, по теплопроводности который превосходит все возможные полимеры. ППУ обладает высокой стойкостью при воздействии химических соединений, низким коэффициентом теплопроводности ($\lambda = 0,032 \div 0,035$ Вт/м · °С), технологичностью при изготовлении и монтаже. Но имеет и ряд недостатков: ограничения в применении этой изоляции определяются допустимой температурой применения (130°С), горючестью, высокой дымообразующей способностью и токсичностью. Одной из возникших проблем применения ППУ изоляции является вопрос качества продукции, т.к. в России число предприятий-изготовителей очень быстро растет, а качество оставляет желать лучшего.

Перспективным теплоизоляционным материалом является вспененный каучук, производимый фирмой ООО «Флагман» под фирменной маркой K-FLEX. K-FLEX представляет собой пористый материал из вспененного каучука, с закрытой ячеистой структурой, отличной устойчивостью к влаге и большinstву химических элементов. K-FLEX соответствует группе горючести Г1 (способных к самогашению при пожаре), отвечая существующим в настоящее время нормам, при этом повреждение по массе составляет всего порядка 6 %. Материалы представляются в виде трубок, диаметром до 160 мм или пластин, толщина – до 50мм. Этот материал имеет ряд достоинств: низкий коэффициент теплопроводности ($\lambda = 0,038$), высокое сопротивление диффузии водяного пара, низкое водопоглощение, материал безопасен в работе, простой монтаж и демонтаж, не выделяет пыли и волокон..

Наличие у материалов K-FLEX сертификата ISO9002 гарантирует потребителям, что все произведенные процессы будут находиться в соответствии с международными стандартами.

В заключении отметим, что по совокупности параметров теплоизоляционные материалы из вспененного каучука имеют значительное преимущество перед минераловолокнистыми – большие сроки использования. Поэтому предприятиям выгоднее использовать теплоизоляцию из вспененного каучука.

Библиографический список

1. **Мишин М.Е.** Трубы в ППМ изоляции – современный способ строительства тепловых сетей. Новости теплоснабжения. № 3, 2010 г. С. 34-36.
2. **Абакумов И.Е.** ППУ и ППМ изоляции. Области применения в тепловых сетях. Новости теплоснабжения, № 3, 2009 г. С. 43-45.

***К. С. Тарасов, Е.С. Кузьмина студ.; рук-ли: В.М. Захаров,
к.т.н., проф., Н.Н. Смирнов, ст. препод. (ИГЭУ, г. Иваново)***

СНИЖЕНИЕ ЛУЧИСТОГО ТЕПЛООБМЕНА В ОКНАХ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛООТРАЖАЮЩИХ ЭКРАНОВ

На первом этапе исследований для повышения коэффициента сопротивления теплопередаче светопрозрачной конструкции без увеличения затрат на искусственное освещение нами был предложен вариант применения в темное время суток теплоотражающих экранов, которые снижают тепловые потери от лучистого (и в меньшей степени от конвективного) теплообмена, не вызывая уменьшения значения светопропускаемости окна в светлое время суток.

На основании проведенных испытаний были получены следующие результаты:



Рис. 1. Приведенное термическое сопротивление теплопередаче

Позднее, в рамках работы было решено исследовать энергетическую эффективность жалюзи, представленных на современном рынке данного вида продукции. В предприятии розничной торговли были закуплены эмалированные жалюзи. С одного из опытных образцов химическим и механическим путями было удалено лакокрасочное покрытие.

В ходе испытания эмалированного образца, проводившегося при $\alpha=+90^\circ$, мы получили увеличение сопротивления теплопередаче лишь на 12 %, при установке их с внутренней стороны окна, а при испытании очищенных жалюзи, установленных также с внутренней стороны

окна - 37%. Данный факт объясняется высокой степенью черноты краски, значение которой лежит в пределах $0,91 \div 0,93$, что в несколько раз превышает степень черноты алюминия, изменяющейся в пределах от 0,04 (полированный металл) до 0,2 (окисленный металл). Следовательно, в жалюзи с эмалированными ламелями, предлагаемыми отечественным и импортным производителем, за счёт нанесения лакокрасочного покрытия значительно занижен энергосберегающий потенциал данной теплоотражающей конструкции.

Как известно, вычислительный эксперимент в некоторых случаях может заменить реальный физический эксперимент. Важным свойством компьютерных математических моделей является возможность визуализации результатов расчетов. Представление результатов в наглядном виде - важнейшее условие для их лучшего понимания. Компьютерная графика позволяет в процессе проведения численного эксперимента "заглянуть" в недоступные места исследуемого объекта. Поэтому на основе проведённых исследований было выполнено математическое 3D моделирование на базе программы PHOENICS VR, что позволило существенно расширить границы исследований. Также математическая модель является доступным наглядным пособием для использования в учебных целях.

Таблица 1 . Результаты исследований эмалированных и очищенных алюминиевых жалюзи.

Вид конструкции	Плотность теплового потока $q, \text{Вт/м}^2$	Приведенное термическое сопротивление, $R \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$	Увеличение приведенного термического сопротивления, %
Контрольный вариант	74,285	0,49	
Эмалированные жалюзи	66,80	0,55	12%
Очищенные жалюзи	54,71	0,67	37%

В режиме работы программы 'Pre-processor' была создана 3D модель оконного блока, габаритные размеры расчётной области составили: 0.3 м по оси X, 0.1 м по оси Y, 1.0 м по оси Z. В центре расчётной области было помещено стекло (габаритные размеры: 0.004 м /0.1 м /0.8 м).

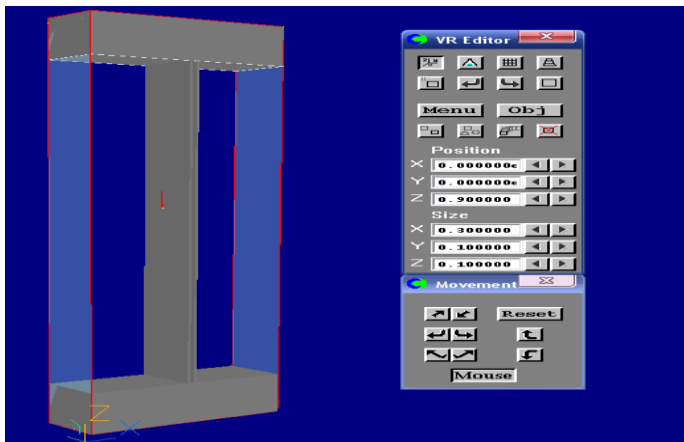


Рис. 2. Модель оконного блока

В меню 'Object' с помощью функции 'ATTRIBUTES' были заданы требуемые теплофизические свойства материалов и среды, также была задана модель турбулентности. Температуры на противоположных границах расчётной области были заданы $+20^{\circ}\text{C}$, -20°C соответственно. Сетка была уплотнена в приграничном слое. Для вычисления теплового потока, проходящего через исследуемый объект в меню 'Run' с помощью функции 'Solver' было запущено решающее устройство 'Earth', после чего начался процесс вычисления потока. Процесс вычисления отображался на двух графиках. Левый график показывал изменения давления, скорости и температуры. Правый график отображал погрешность вычислений. В результате были вычислены поля температур, также с помощью образцового сопротивления и замера в точках температур были определены тепловые потоки. Итоги моделирования потока можно было просмотреть в меню 'Run' с помощью функции 'Post processor'.

Далее были смоделированы различные варианты применения теплоотражающих экранов, такие как установка экрана с внутренней стороны (в «тёплой» зоне), с наружной стороны (в «холодной» зоне), совместное применение экранов, установка экрана между двумя стёклами. В ходе вычислений погрешность составила 3-15%. В результате математического моделирования была получена высокая достоверность экспериментальных данных и данных, полученных из компьютерного моделирования.

Также в ходе работы была оценена экономическая эффективность проекта.

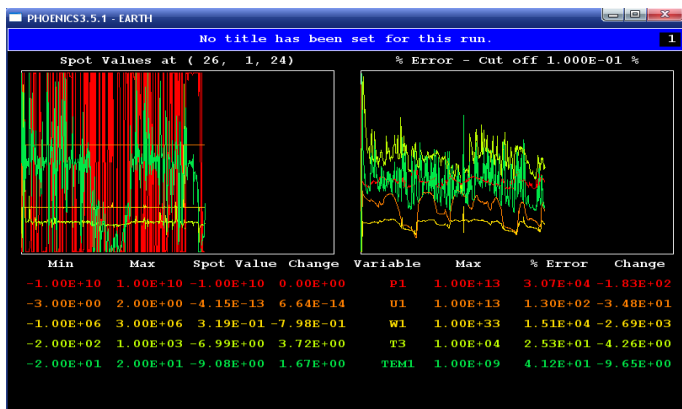


Рис. 3. Процесс вычисления потока

Суммарные капитальные затраты по проекту составили 30 тыс. рублей (из расчёта на 100 м^2). В результате расчета показателей экономической эффективности предлагаемого к реализации энергосберегающего проекта получено, что срок окупаемости проекта меньше семи лет ($\tau_p = 3.9 < 7 \text{ лет}$), чистый дисконтированный доход неотрицателен ($\text{ЧДД} = 1994 \geq 0$) и индекс доходности проекта больше единицы ($\text{ИД}_o = 1.1 \geq 1$).

Библиографический список

1. ГОСТ 26254-84. Здания и сооружения. Методы определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций. – М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 1994 г.
2. Горбунов В.А. Методические указания по самостоятельному изучению многоцелевого вычислительного комплекса для решения задач по УИР, курсового и дипломного проектирования. – Иваново: ИГЭУ, 2005 г.

*Н.В. Барбанова, А.А. Макарошкина, студ.;
рук. В.И. Субботин, проф. (ИГЭУ)*

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ МЕРОПРИЯТИЯ В КОТЕЛЬНЫХ

В связи с газификацией страны важным мероприятием по энерго-сбережению является перевод котлоагрегатов с твердого или жидкого топлива на природный газ. Это приводит к уменьшению избытка воздуха в топке, наружного загрязнения теплопередающих поверхностей, затрат энергии на подготовку топлива. Исключаются затраты теплоты на распыливание мазута в паровых форсунках, а при замене твердого топлива - потери с механическим недожогом и теплотой шлаков. Данное мероприятие является затратным, поэтому проводится после выполнения технико-экономических и экологических расчетов.

Для оптимального распределения нагрузки между котлоагрегатами применяются несколько методов.

Метод поддержания наибольшего КПД котлоагрегатов. Известно, что однотипные котлоагрегаты одинаковой номинальной паропроизводительности при сжигании одинакового топлива могут иметь различные зависимости КПД $\eta = f(D)$. Поэтому сначала загружаются наиболее экономичные котлоагрегаты до их номинальной паропроизводительности, а затем последовательно - менее экономичные.

Метод загрузки котлоагрегатов пропорционально их номинальной производительности. Общая нагрузка распределяется в соотношении номинальных паропроизводительностей котлоагрегатов. При равенстве номинальных паропроизводительностей котлоагрегаты загружаются поровну.

Оптимальное распределение нагрузки между котлоагрегатами эффективно производить методом равенства относительных приростов топлива:

$$\frac{ДВ_1}{ДD_1} = \frac{ДВ_2}{ДD_2} = \dots = \frac{ДВ_n}{ДD_n} \quad (1)$$

Для каждого котлоагрегата на основании испытаний имеется графическая зависимость $\eta = f(D)$ (рис.1).

Зависимость относительного прироста расхода топлива от нагрузки котла представлена на рис. 2.

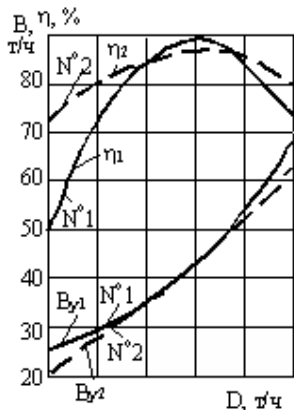


Рис. 1. Зависимость КПД и расхода условного топлива от нагрузки котла

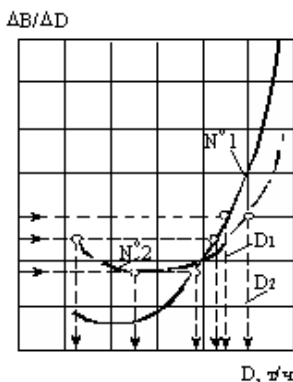


Рис. 2. Зависимость относительного прироста топлива от нагрузки котла

Результаты рационального распределения нагрузки между работающими котлоагрегатами удобней представить в графической форме (рис.3).

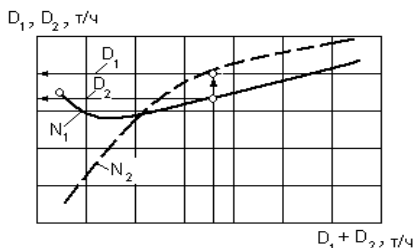


Рис. 3. Рациональное распределение нагрузки между работающими котлами

Перевод паровых котлоагрегатов в водогрейный режим является одним из мероприятий по энергосбережению, позволяющему повысить КПД паровых котлов типа ДКВр, ДЕ и др. Для получения горячей воды в паровых котельных нашли применение компоновки котлов типа ДКВр с надстроеными бойлерами (сетевыми подогревателями). Другой вариант – перевод котлоагрегатов типа ДКВр непосредственно на водогрейный режим по схеме, предусматривающей последовательное включение элементов котла и установку перегородок в барабане (рис.4).

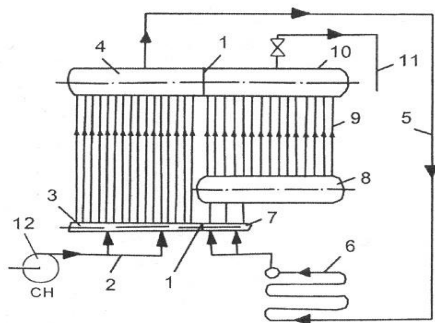


Рис. 4. Схема последовательного включения элементов котла и установок перегородок в барабане: 1 – перегородки; 2 – обратная магистраль; 3 – передний отсек; 4 – передний отсек верхнего барабана; 5 – перепускная труба; 6 – экономайзер; 7 – задний отсек; 8 – нижний барабан; 9 – трубы конвективного пучка; 10 – задний отсек верхнего барабана; 11 – подающая магистраль; 12 – сетевой насос

Также полезно использование тепловой энергии при непрерывной продувке котлов.

В схеме использования тепловой энергии продувочной воды при непрерывной продувке устанавливают сепаратор и теплообменник (рис.5).

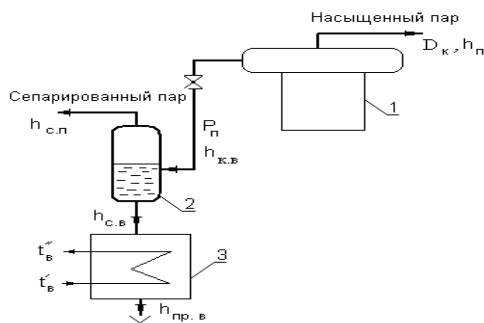


Рис.5. Схема использования тепловой энергии продувочной воды при непрерывной продувке: 1 – котлоагрегат; 2 – сепаратор; 3 – поверхностный теплообменник

Рассмотрим потери теплоты с уходящими газами.

С учетом теплоты, подводимой с воздухом, потери теплоты с уходящими газами определяются по формуле

$$Q_2 = (Q_{yx} - Q_n) \cdot \left(1 - \frac{Q_d}{100}\right) \quad (2)$$

Снизить потери теплоты с уходящими газами возможно за счет следующих факторов:

- работы котлоагрегатов на расчетных параметрах;
- увеличения площадей хвостовых поверхностей нагрева ;
- установка экономайзера для барабанных котлов типа ДКВр;
- установки в газоходах котлов рекуперативных, смешительных и комбинированных подогревателей воды и воздуха;
- поддержания чистоты наружных и внутренних поверхностей нагрева.

Пример применения конденсационного теплообменника для повышения эффективности природного газа в котельной установке представлен на рис.6.

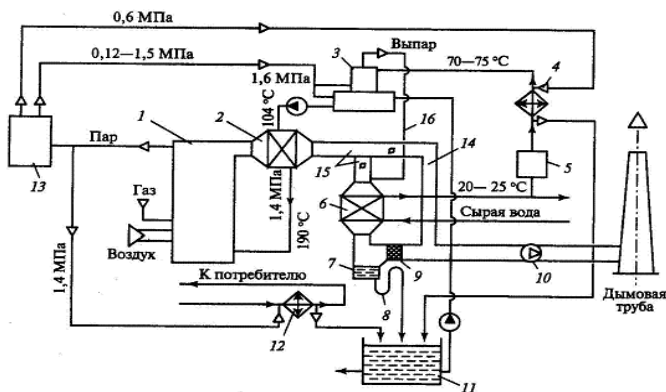


Рис.6. Пример применения конденсационного теплообменника для повышения эффективности использования топлива в котельной установке: 1– паровой котел; 2– водяной экономайзер; 3– деаэратор; 4– кожухотрубный теплообменник для подогрева химически очищенной воды; 5– система химводоочистки; 6– конденсационный теплообменник-утилизатор; 7– сборник конденсата; 8– гидравлический затвор; 9 – каплеуловитель; 10 – вентилятор-дымосос; 11– бак сбора конденсата; 12– кожухотрубный теплообменник для подогрева сетевой воды; 13– редукционная установка; 14– байпасный газоход; 15 – основной газоход; 16– трубопровод подачи выпара в основной газоход

Установка контактных теплообменников с активной насадкой в газоходах котельной позволяет за счет снижения температуры уходящих газов и за счет теплоты конденсации водяных паров повысить эффективность использования природного газа на 8 ÷ 12 %.

Утилизованная теплота используется для нагрева холодной воды до 50 °С.

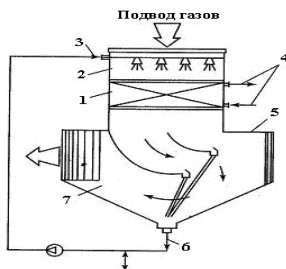


Рис.7- Принципиальная схема КТАН: 1 – активная насадка; 2 – камера орошения; 3 – подвод орошающей воды; 4 – подвод и отвод нагреваемой воды; 5 – корпус; 6 – отвод орошающей воды; 7 – сепарирующее устройство

Библиографический список

1. Субботин В.И., Васильев С.В., Махов О.Н. Энергоснабжение в системах тепло-снабжения: Учеб. пособие/ ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина».– Иваново, 2012. – 188 с.

*А.В. Иванова, Д.А. Зайцева, студ.; рук. А.В. Коновалов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОТЫ СТОЧНЫХ ВОД

Утилизация тепла сточных вод является важной народнохозяйственной задачей. Актуальность этой проблемы будет с каждым годом возрастать, так как технологические процессы совершенствуются. Деятельность человека сопряжена с постоянным использованием горячей воды в бытовых и санитарно-гигиенических целях. Затрачивая тепловую энергию на нагрев воды в системах горячего водоснабжения, мы, затем сбрасываем её со сточными водами в канализационные системы, теряя её безвозвратно и, к тому же, вызывая тепловое загрязнение окружающей среды. Таким образом, везде, где обитает и осуществляет хозяйственную деятельность человек, существует постоянный значительный источник низкопотенциальной теплоты в виде тёплых канализационных сточных вод, использование которых позволяет значительно сэкономить топливо.

Утилизация ВЭР способствует так же охране окружающей среды от теплового и химического загрязнения. До недавнего времени считалось, что сброшенное низкопотенциальное ($50 - 120^{\circ}\text{C}$) тепло невозможно использовать. Для этого существовали объективные причины: во-первых, не умели находить потребителей «низкосортного» тепла, во-вторых, не было технических средств для его утилизации. Как правило, такое тепло отводилось в окружающую среду через систему оборотного водоснабжения или же непосредственно от технологического оборудования. При этом, с одной стороны, терялось значительное количество тепла, с другой – бесполезно тратилась энергия и вода на охлаждение механизмов и агрегатов.

Итак, использование низко потенциальных ВЭР связано с решением двух задач: созданием надёжной эффективной системы теплопотребления и созданием надёжного утилизационного оборудования.

Основными техническими средствами для утилизации теплоты сточных вод являются:

- многоступенчатые установки с аппаратами мгновенного вскипания для использования тепла загрязнённых горячих стоков;
- теплоутилизатор с вращающимся теплопередающим элементом;
- тепловые насосы.

Многоступенчатые аппараты мгновенного вскипания нашли широкое применение в опреснительной технике, дистилляционном обессоливании воды для энергетики, вакуумной выпарке и кристаллизации растворов в химической промышленности, утилизации тепла горячих шламосодержащих жидкостей.

Опыт применения многоступенчатых аппаратов мгновенного вскипания для выпарки, охлаждения и утилизации тепла растворов солей, в том числе содержащих большое количество различных твёрдых включений, показывает их высокую эффективность и надёжность. Так, например, данная технология

используется в производстве соды для выпарки и утилизации тепла горячих сточных вод, содержащих большое количество растворенных солей, гипсового шлама и аммиака.

К преимуществам аппаратов мгновенного вскипания относится размещение теплообменных поверхностей вне зоны кипения в паровой фазе, что снижает коррозионное воздействие упариваемых сред на металл, уменьшает пенообразование и засоление дистиллята из-за брызго уноса, исключает возможность попадания упариваемой среды в нагреваемую. Последний фактор позволяет эффективно использовать данные аппараты для утилизации тепла жидкостей, содержащих загрязняющие и токсичные вещества. В Ивановском НИИ хлопчатобумажной промышленности разработана оригинальная конструкция теплоутилизатора с вращающимся теплопередающим элементом. Этот теплообменник обладает малыми габаритными размерами и высоким коэффициентом теплопередачи – 2700 кДж/(кг·К), что делает его высокоэффективным и универсальным.

В исходе испытаний и эксплуатации промышленных образцов теплообменников в составе локальных систем утилизации теплоты сточных вод отделочного оборудования текстильных предприятий установлено, что они обладают достаточно высокой и стабильной теплопередающей способностью и позволяют нагреть до 3 м³/ч воды с 10 до 45 град. С (благодаря активизации гидродинамической обстановки в аппарате).

Активное динамическое взаимодействие турбулентных потоков теплоносителей с вращающейся поверхностью теплопередающего элемента способствует её самоочищению от загрязнений, содержащихся в сточных водах.

Невысокое гидравлическое сопротивление потоку охлаждаемой среды (до 600 Па) обеспечивает её подачу в теплообменник самотеком, а гидравлическое сопротивление потоку нагреваемой среды (до 0,04 МПа) позволяет осуществлять её подвод непосредственно из водопроводной сети. Поэтому дополнительных насосов для подачи теплоносителей в теплоутилизатор не требуется. Малые габариты теплообменника (диаметр – 500 мм, высота – 1000 мм) обеспечивают её легкую компоновку с любым отделочным оборудованием при невысоких капитальных и эксплуатационных затратах.

Использование теплообменников с вращающимся теплопередающим элементом для утилизации теплоты сточных вод промывных отделочных линий позволяет снизить удельные затраты тепловой энергии на обработку ткани в среднем на 45 %, что составляет экономию до 0,4 т/ч пара на одну линию.

Использование теплового насоса снижает затраты на отопление на величину до 70 % по сравнению с традиционными системами отопления. При такой экономии первоначальные вложения окупятся уже через несколько лет. Особенно актуальны, эффективны и экономичны установки такого типа при нынешнем росте цен на энергоресурсы. Например:

– при установке такой системы на три дома, снятая с коллектора тепловая энергия целиком покрывает потребность в горячем водоснабжении одного из этих домов;

– при установке на каждый подъезд 6-ти подъездного 130-ти квартирного дома тепловая энергия 5-ти из них обеспечивает потребность 6-го в горячем водоснабжении;

Тепловой насос - единственная машина, вырабатывающая тепло с коэффициентом преобразования, достигающим 400 %-800 % при стоимости тепловой энергии в 1,5 – 2,5 раза ниже по сравнению с котельной. Это означает, что потратив электроэнергию 1 киловатт в час, вы получаете 4 –8 киловатта тепловой мощности, в отличии от тенового традиционного обогрева, где потратив электроэнергию 1 киловатт, вы получаете 0,85 киловатт тепловой мощности. В дальнейшем использование системы обогрева и горячего водоснабжения, построенной на основе теплового насоса, будет дешевле от 4 до 8 раз в зависимости от утепления здания.

Утилизация теплоты сточных вод решает целый комплекс задач — энерго-сбережение, защита окружающей среды, повышение комфортности жилья, снижение эксплуатационных затрат. Поэтому эта технология должна стать объектом пристального внимания со стороны специалистов, предпринимателей и администраций различного уровня.

Библиографический список

1. **Хараз Д.И., Псахис Б.И.** Пути использования вторичных энергоресурсов в химической промышленности. М.: Химия, 1984. – 224 с.
2. **Проблемы** утилизации тепловой энергии сточных вод отделочного оборудования предприятий текстильной промышленности//Промышленная теплоэнергетика. –М.: Энергоатомиздат, 1994. С.36-38.

*О.В.Соловьева, А.А.Львова, студ.; рук. А.В.Коновалов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОТЫ ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ РАЗЛИЧНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Предприятия пищевой промышленности являются крупными потребителями топливно-энергетических ресурсов (ТЭР). Поэтому проблема экономии тепловой и электрической энергии в пищевой промышленности стоит очень остро.

Вторичные энергоресурсы представляют собой потенциал определенного вида энергии (тепловой, химической, механической, электрической), содержащейся в отходах, промежуточных или готовых продуктах производства.

Вторичные энергетические ресурсы предприятий пищевой промышленности можно разделить на четыре группы:

– теплота отходящих газов и жидкостей (сюда относятся теплота дымовых газов, отходящих из котельных и печей, а также теплота, содержащаяся в воде, в барде спиртовых заводов и т. д.);

– теплота отработанного пара паросиловых установок и вторичного пара теплоиспользующих установок (выпарные установки, ректификационные аппараты, сушилки, пары самоиспарения);

– теплота горючих отходов (эта теплота может быть реализована при сжигании отходов; например, лузга на маслоэкстракционных заводах используется в качестве топлива в паровых котлах);

– теплота, содержащаяся в продуктах и отходах производства (к этой группе относится теплота, содержащаяся в шлаках котельных, горячем жоме сахарных заводов, горячем хлебе, сахаре и т. д.; к этой группе можно также отнести нагретый воздух, удаляемый из горячих цехов).

Наибольшее значение имеют первые две группы источников ВЭР. Использование теплоты вторичных энергетических ресурсов ведется по трем направлениям:

– для процессов, протекающих в основных технологических установках внутри цеха или предприятия (замкнутые схемы);

– для внешних целей, не связанных с процессами, протекающими в основных технологических установках, которые являются источниками ВЭР, например использование вторичных тепловых ресурсов для отопления и горячего водоснабжения гражданских зданий (разомкнутые схемы);

– для внутренних и внешних целей по отношению к процессу в технологической установке (комбинированные схемы).

Утилизация тепла паровоздушной смеси осуществляется посредством использования теплорекуперационных агрегатов. Используются различные схемы рекуперации теплоты (одно, двух, трех ступенчатые), наиболее эффективной является трехступенчатая замкнутая схема.

Источники вторичных энергоресурсов существуют в каждой отрасли пищевой промышленности.

Сахарное производство является наиболее энергоемким. Основными составными частями ВЭР являются теплота уфельного пара из вакуум-аппаратов, паров самоиспарения, отходящих газов из котлов, конденсатов, барометрической воды, продувной воды котлов, жомопрессовой воды, энтальпии жома, нагретый воздух производственных помещений.

В спиртовом производстве в качестве вторичных тепловых ресурсов применяется теплота барды из бражной колонны, вторичной барды, продуктов производства, теплота конденсаторов, дефлегматорной воды, вторичного пара и сушилок дрожжей, лютерной воды, охлаждающей воды из конденсаторов и холодильников, нагретого воздуха производственных помещений, отходящих газов из котлов, продувочной воды.

Спиртовые заводы, оборудованные установками упаривания вторичной барды, дополнительно в качестве вторичных энергетических ресурсов имеют теплоту вторичного пара, конденсата выпарных аппаратов, барометрической воды из конденсатора.

ВЭР пивоваренного производства включают в себя теплоту вторичного пара варочных котлов, конденсаторов, охлаждающей воды, отходящих газов сушилок и котельной.

В хлебопекарном, кондитерском и крахмалопаточном производствах элементами ВЭР является теплота конденсатов, вторичного пара вакуум-аппаратов, змеевиковых колонок, барометрической воды, вторичного пара выпарных установок, продуктов производства, отходящих газов печей, сушилок и котельной.

Вторичными тепловыми энергоресурсами масложирового производства являются теплота конденсатов и охлаждающей воды, продуктов производства, теплота при сжигании отходов, теплота отходящих газов сушилок и котельной.

Использование вторичных энергетических ресурсов для отопления тепличных хозяйств предприятий пищевой промышленности — так же одно из перспективных направлений. Необходимость исследований в

этой области обусловлена тем, что капитальные затраты на системы отопления и вентиляции составляют 30-50% от сметной стоимости тепличного хозяйства. Отсутствие разработок и нормативных документов, учитывающих особенности проектирования теплиц на территории предприятий, приводит к удорожанию их конструкций и увеличению эксплуатационных затрат на отопление.

В области внедрения энергосберегающих технологий имеются крупные резервы, так как наряду с установками, работающими с коэффициентом полезного действия 90 % и выше, действует большое количество тепловых установок с низким КПД, в ряде случаев не превышающим 30 %. Эффективность использования теплоты в большинстве технологических процессов пищевой промышленности можно значительно повысить, причем капиталовложений для этого потребуются существенно меньше в сравнении с необходимыми для добычи эквивалентного количества топлива. Отечественный и зарубежный опыт показывает, что стоимость энергии, сэкономленной в результате реконструкции, в 3-5 раз дешевле энергии, получаемой при строительстве новых установок аналогичной производительности.

Библиографический список

3. **Штокман Е.А.** Вентиляция, кондиционирование и очистка воздуха на предприятиях пищевой промышленности. – М.: АСВ, 2001.

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 3. Автоматизация технологических процессов

<i>Чуланов Д.А.</i> Подготовка специалистов по автоматизации технологических процессов глазами студента. <i>Рук. Кондрашин А. В.</i>	3
<i>Чешинский М.А.</i> Оптимизация и управление многопродуктовым реактором для проведения последовательно-параллельных реакций. <i>Рук. Лабутин А.Н.</i>	5
<i>Бусурманова Э.И.</i> Энергосбережения в питательных котельных электронасосах ТЭЦ ТОО МАЭК «Казатомпром». <i>Рук. Тергемес К.Т.</i>	9
<i>Дроганова А.В.</i> Снижение энергоемкости процесса плавки чугуна в вагранке за счет совершенствования системы автоматического управления. <i>Рук. Васильков Ю.В.</i>	14
<i>Кольцов А.А., Скворцов В.П.</i> Системы управления на базе нечеткой логики в ПТК КВИНТ. <i>Рук. Тетеревков И.В.</i>	17
<i>Кольцов А.А., Скворцов В.П.</i> Применение нечеткой логики для управления сложными объектами; <i>Рук. Тетеревков И.В.</i>	21
<i>Савелов Г.Г., Смирнов Д.В.</i> Разработка систем, оптимальных по быстродействию, в ПТК КВИН. <i>Рук. Тетеревков И.В.</i>	25
<i>Веремьев В.А., Зименков И.</i> Контроллер для регулирования коэффициента смещения. <i>Рук. Таланов В.Д., Пушков В.М.</i>	30
<i>Данилова М. С.</i> Сравнительная характеристика современных ПТК. <i>Рук. Кондрашин А. В.</i>	31
<i>Карасев Н.С.</i> Разработка виртуального контроллера на базе ПТК ТЕКОН. <i>Рук. Кондрашин А. В.</i>	33
<i>Новиков Д.И.</i> Применение переменной зоны нечувствительности регуляторов температуры перегретого пара. <i>Рук. Демин А.М.</i>	35
<i>Рябова Н.В.</i> Технологическое проектирование СКУ безопасности для АЭС на ПТК TELEPERM XS. <i>Рук. Торопова Е.К.</i>	37
<i>Карасев Н.С.</i> Выбор схемы регулятора непрерывной продувки. <i>Рук. Демин А.М.</i>	39
<i>Таланов С.В.</i> Линеаризация расходной характеристики электромагнитного клапана EV 260B. <i>Рук. Таланов В.Д.</i>	44

Секция 4. Технология воды и топлива

<i>Юнусов А. Ш.</i> Энергетика: от настоящего к будущему через интеллектуально-инновационный потенциал. Рук. <i>Савельев В. Н.</i>	47
<i>Юнусов А. Ш.</i> Модернизация опреснительных установок ДООУ-7 на пленочный режим испарения морской воды Каспия. Рук. <i>Савельев В.Н.</i>	52
<i>Коровкин А.А.</i> Автоматизированный контроль качества воды в схеме водоподготовки Заинской ГРЭС. Рук. <i>Чичирова Н.Д.</i>	57
<i>Шакиров А.Р.</i> Альтернатива существующим водно-химическим режимам. Рук. <i>Чичирова Н.Д.</i>	62
<i>Паймин С.С., Залялов Р.Р.</i> Электродиализные концентраторы в схемах водоподготовки ТЭС. Рук. <i>Чичирова Н.Д.</i>	64
<i>Сухарев А.В., Лабутин А.Н.</i> Обоснование выбора структуры реакторного узла для проведения реакции оксиэтилирования воды. Рук. <i>Головушкин Б.А.</i>	67
<i>Злобина А.О.</i> Реконструкция ВПУ Псковской ГРЭС. Рук. <i>Еремина Н.А.</i>	71
<i>Фролова А.Г.</i> Замена фильтрующей загрузки на Рязанской ГРЭС. Рук. <i>Козюлина Е.В.</i>	74
<i>Соснина А.В., Спиридонова М. П.</i> Применение установок обратного осмоса. Рук. <i>Козюлина Е. В., Опарин М. Ю.</i>	76
<i>Гомырова А.А.</i> Основные направления развития мембранных технологий на ТЭС и АЭС. Рук. <i>Бушуев Е.Н.</i>	78
<i>Новикова Е.С.</i> Консервация теплоэнергетического оборудования на длительный срок. Рук. <i>Ерёмкина Н.А.</i>	82
<i>Савинов М.П.</i> Совершенствование обработки и автоматического химконтроля водного теплоносителя II контура АЭС с ВВЭР. Рук. <i>Ларин А.Б.</i>	86
<i>Шатских Р.О.</i> Автоматизированный учебный комплекс «Водно-химический режим I контура АЭС с ВВЭР». Рук. <i>Ларин Б.М.</i>	88
<i>Вацуро Ю.А., Михайлова К.В.</i> Применение топливных пеллет для получения тепловой энергии. Рук. <i>Козюлина Е.В.</i>	90
<i>Чижова Е.В.</i> О возможности перевода котлов со сжигания газового топлива на сжигание твердого топлива. Рук. <i>Козюлина Е.В.</i>	93
<i>Сюткина Е.В.</i> Математическая модель сорбции ионов в слое ионита. Рук. <i>Бушуев Е.Н.</i>	96

Белков А.А., Колегов А.В. Исследование ВХР барабанных котлов ИВТЭЦ-2.
Рук. Ларин А.Б.98

Секция 5. Экология ТЭС и промышленных предприятий

Кравченко О.В. Утилизация шламовых вод осветлителей на Печорской ГРЭС.
Рук. Бушуев Е.Н.101

Кротова Е.С. Очистка возвратного конденсата на ЗАО «Рязанский НПК». Рук.
Козюлина Е.В.104

Сухарев А.С., Коршак А.О. Очистка нефтесодержащих сточных вод ТЭС. Рук.
Козюлина Е.В.106

Малова Т.С., Гускина М.А. Очистка дымовых газов от оксидов азота. Рук. Ере-
мина Н.А.108

Воронова Н.Е. К вопросу о переработке бытовых отходов.
Рук. Козюлина Е.В.109

Коршак А. О. Утилизация твердых бытовых отходов в России.
Рук. Козюлина Е. В.112

Секция 6. Теоретические основы теплотехники

Артемов В.Н. Исследование задачи рецикла неводяных рабочих тел в турбин-
ном цикле с использованием низкотемпературной ректификации. Рук. Мазурин
И.М.115

Паянен Р.И. Исследование тепломассообмена SF₆ в обратном цикле Ренкина с
фазовым переходом «жидкость-твёрдое тело». Рук. Мазурин И.М.120

Самсонов Д.А. Применение датчика плотности теплового потока в исследова-
ниях конвективного теплообмена. Рук. Дыскин Л.М.125

Типунин А.В., Астафьев И.С. Увеличение экономичности ПГУ за счёт регене-
рации теплоты трения ГТУ. Рук. Чухин И.М.127

Шакиров Р.Р., Суриков Д.Н. Увеличение КПД АЭС за счёт регенерации тепло-
ты трения ЧВД. Рук. Чухин И.М.131

Наумов В.С. Разработка лабораторной работы на ЭВМ «Анализ тепловой эконо-
мичности цикла ПГУ». Рук. Чухин И.М.134

Вилесов Р.А. Разработка имитационной модели лабораторной работы «Иссле-
дование теплоотдачи в условиях пузырькового режима кипения воды». Рук.
Созинова Т.Е.136

- Гомырова А.А., Щеголева Е.А.* Задачи радиационного теплообмена. Рук. *Созинова Т.Е.*.....139
- Шахамердянова Т.В.* Тепловизионное обследование ограждающих конструкций зданий ИГЭУ. Рук. *Бухмиров В.В., Созинова Т.Е.*.....141
- Хан Н.А., Суркова П.А.* Влияние инфракрасного излучения на организм человека. Рук. *Солнышкова Ю.С.*.....143
- Егорова А.А.* Пластинчатые и кожухотрубные теплообменные аппараты. Рук. *Бухмиров В.В.*.....144
- Макаров С.Н.* Обработка результатов экспериментального исследования методом планирования эксперимента. Рук. *Бухмиров В.В.*.....146
- Погодин А.И., Найденко В.А.* Энергоаудит образовательного учреждения. Рук. *Бухмиров В.В.*.....149
- Погодин А.И.* Влияние искусственной шероховатости излучающей поверхности на интенсивность теплового облучения. Рук. *Бухмиров В.В., Солнышкова Ю.С.*.....153
- Пророкова М.В., Родионов Г.А.* Определение воздухопроницаемости аудиторий цокольного этажа корпуса «Б» ИГЭУ. Рук. *Бухмиров В.В.*.....156
- Родионов Г.А.* Выбор метода расчёта двухфазных потоков в системах пневмотранспорта. Рук. *Бухмиров В.В.*.....159
- Гаськов А.К.* Экспериментальное определение коэффициента теплопроводности. Рук. *Бухмиров В.В.*.....161
- Данилов А.В.* Совершенствование классификации электронной базы энерго-сберегающих мероприятий. Рук. *Бухмиров В.В.*.....165

Секция 7. Энергоресурсосбережение

- Жантлеуов М.О.* О ветроэнергетическом потенциале Мангистауского региона Республики Казахстан. Рук. *Савельев В.Н.*.....169
- Карташова А.А.* Создание замкнутых технологических схем на основе возобновляемых источников энергии. Рук. *Ваньков Ю.В.*.....173
- Махиянова Л.З.* Возможности электрохимической обработки воды для теплосетей. Рук. *Голубев В.В.*.....177
- Мусаева Д.А., Сиявин А.А.* Исследование теплообмена при поперечном обтекании одиночного цилиндра в условиях низкочастотных несимметричных пульсаций давления. Рук. *Гурьянов А.И.*.....182

- Мотыгулин А.Е.* Использование котловой продувочной воды для генерации электроэнергии и электролиза. Рук. *Дыскин Л.М.*.....186
- Николаев А.В.* Энергоресурсосбережение в теплоэнергетической системе при производстве цементного клинкера. Рук. *Любова Т.С.*.....190
- Великанова Д.В., Глазунов М.А.* Современные и перспективные изоляционные материалы для систем теплоснабжения. Рук. *Субботин В.И., Васильев С.В.*.....192
- Тарасов К.С., Кузьмина Е.С., Лапатеев Д.А.* Снижение лучистого теплообмена в окнах за счёт применения теплоотражающих экранов. Рук. *Захаров В.М., Смирнов Н.Н.*.....195
- Барабанова Н.В., Макарошкина А.А.* Энергосберегающие мероприятия в котельных. Рук. *Субботин В.И.*.....199
- Иванова А.В., Зайцева Д.А.* Использование теплоты сточных вод. Рук. *Коновалов А.В.*.....204
- Соловьёва О.В., Львова А.А.* Использование теплоты вторичных энергоресурсов различных производств. Рук. *Коновалов А.В.*.....207