



ИВАНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

ЭНЕРГИЯ-2016

ОДИННАДЦАТАЯ
МЕЖДУНАРОДНАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ
И МОЛОДЫХ УЧЁНЫХ

5-7 апреля 2016 г.
г. Иваново

ТОМ 1

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

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

«ЭНЕРГИЯ-2016»

ОДИННАДЦАТАЯ
МЕЖДУНАРОДНАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ
И МОЛОДЫХ УЧЁНЫХ

г. Иваново, 5-7 апреля 2016 г.

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

ТОМ 1

ИВАНОВО

ИГЭУ

2016

УДК 620 + 621 + 628

ББК 31

Т 34

Теплоэнергетика. Энергия-2016. Одиннадцатая международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых, 05-07 апреля 2016 г., г. Иваново: материалы конференции. – Иваново: ИГЭУ, 2016. – В 6 т. Т. 1– 206 с.

ISBN 978-5-00062-158-5

ISBN 978-5-00062-164-6 (Т.1)

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**.

Зам. председателя: Макаров А.В., начальник управления НИРС и ТМ.

Члены оргкомитета по направлению: 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 к.т.н., доц. **Н.А. ЕРЁМИНА**, зав. кафедрой Промышленной теплоэнергетики д.т.н., проф. **В.П. СОЗИНОВ**, профессор кафедры Автоматизации технологических процессов к.т.н., проф. **А.В. КОНДРАШИН**, зав. кафедрой Теоретических основ теплотехники д.т.н., проф. **В.В. БУХМИРОВ**, зав. кафедрой Паровые и газовые турбины к.т.н., доц. **А.Л. ВИНОГРАДОВ**, заместитель декана ТЭФ по научной работе доц. **Н.Н. СМЕРНОВ**, инженер **Д.А. ЛАПАТЕЕВ**.

Секция 1. ТЕПЛОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

*Председатель секции
зав. кафедрой «Тепловые электрические станции»
д.т.н., проф. Е.В. Барочкин
Секретарь секции к.т.н., доцент А.Е. Барочкин*

*А.С.С. Али, аспирант; рук. Н.Д. Чичирова, д. х. н., профессор
(КГЭУ, г. Казань)*

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РЕСПУБЛИКИ ЙЕМЕНА

В 1992 г. в Йемене была начата реализация глобальной программы по электрификации сельскохозяйственных районов страны. Разработанный по заданию национальной энергетической компании Office National de l'Electricite (г. Касабланка) проект предусматривает до 2025 г. электрификацию 40 тыс. населенных пунктов по всей территории страны [1]. В программе предусмотрено электроснабжение многих населенных пунктов, не имеющих источников и развитие существующей системы электроснабжения.

Возможные сценарии прогнозируемого роста электропотребления в энергетической системе Йемена ЭСЙ до 2025 года показаны на рис. 1.1.

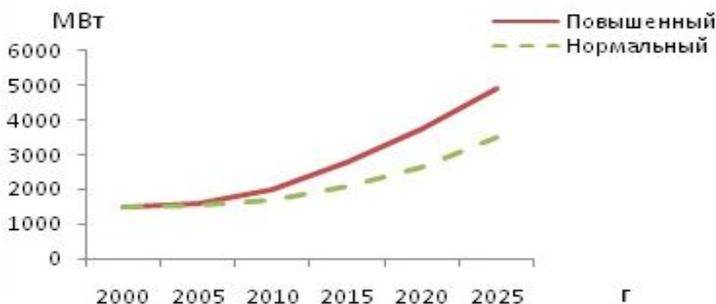


Рис. 1.1. Графики прогнозируемого роста электропотребления в ЭСЙ

Из представленного графика видно, что электропотребление в ЭСЙ к 2025 году увеличится в 3-6 раз.

Это обеспечит рост потребления населением электроэнергии, даст

возможность решить ряд социальных проблем и электрифицировать сельскохозяйственное производство.

Основные направления реформирования электроэнергетики страны сводятся к следующему: развитие генерирующего комплекса в отдельных государственных компаниях; планирование роста спроса на электроэнергию; мониторинг ценовых показателей и подготовка материалов для формирования финансовой политики; организация соответствующего подразделения, ответственного за обеспечение качества электроэнергии в энергосистеме [2].

Библиографический список

1. Publicelectricitycorporation// первое издание, Йемен, 2007 г.
2. National Information Center – Yemen <http://www.yemen-nic.info>.

*Ю.А. Зенович-Лешкевич-Ольпинский, асп., соиск.;
рук. Н.Б. Карницкий, д.т.н., проф.
(БНТУ, Минск)*

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ИХ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ

Одной из главных задач экономики в энергетике является постоянное и непрерывное повышение энергоэффективности, в первую очередь – на действующих и строящихся ТЭС и АЭС

Рассматриваются проблемы эксплуатации конденсаторов паровых турбин и оросительных и водораспределительных систем башенных градирен. Отмечено, что из этих устройств в окружающую среду поступает до 60% тепловой энергии, полученной в результате сжигания топлива для выработки электрической энергии [1]. Проанализированы методы очистки от отложений конденсаторов, конструкции применяемых тепло-массообменных устройств градирен, их недостатки и влияние на охлаждающую способность. Перейдя от постановки задачи, показаны не только пути решения вышеуказанных проблем, но и представлены материалы, в том числе экспериментальные, по удачной и эффективной их реализации (рис.1 и 2).

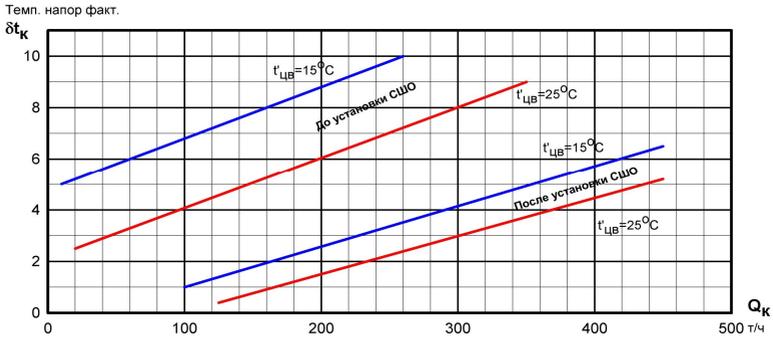


Рис.1. Температурный напор конденсатора 180-КЦС турбины Т-180/210-130-1 ЛМЗ до и после установки АСШО

Приведены методики оценки экономической эффективности работы автоматической системы шариковой очистки (АСШО) конденсатора турбины оросительной и водораспределительной систем башенной градирни. Важно, что эти методики могут быть реализованы на многих подобных объектах, так как они обладают, в определенной степени, универсальностью. Приведены результаты расчетов, свидетельствующих об эффективности АСШО и градирен с полимерным оросителем [2,3].

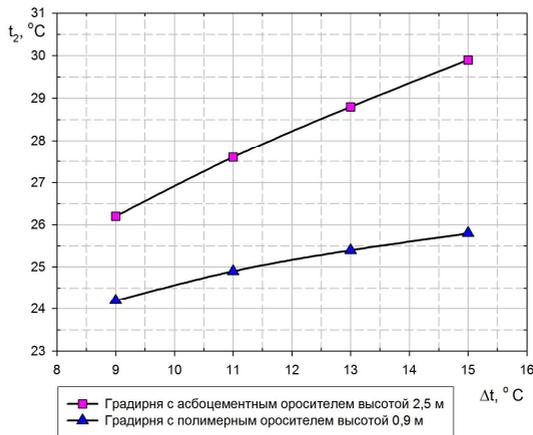


Рис.2. График зависимости температуры охлажденной воды от тепловой нагрузки до и после установки полимерного оросителя

Предложены мероприятия по совершенствованию АСШО конденсатора турбины, а также оборотных систем, градирен и их конструкций с целью повышения их эффективности.

Необходимо отметить, что приведенные энергоэффективные технологии в системах технического водоснабжения также увеличивают располагаемую электрическую мощность ТЭС и могут быть распространены на тепловые и атомные электростанции Белорусской энергосистемы и ближнего зарубежья.

Библиографический список

1. **Калатузов В.А.** Влияние систем технического водоснабжения с градирнями на технико-экономические показатели тепловых электростанций. // Энергосбережение и водоподготовка. – 2009 □ №6 (62).

2. **Зенович-Лешкевич-Ольпинский Ю.А.** Создание и эффективность автоматической системы шариковой очистки конденсатора 180-КЦС-1 турбины Т-180/210-130-1 ЛМЗ. Часть 1 и 2 // Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. Энергетика. □ 2015. □ №3 и №4.

3. Технический отчет по работе «Гарантийные испытания градирни №1 и определение ограничений мощности Гомельской ТЭЦ-2 со стороны системы охлаждения после реконструкции градирни №1», №13.09.92-01, ЧАО «Техэнерго», Львов, 2013 г.

*О.М. Аль-Аомари; рук. Ю.В. Ваньков д. т. н, проф.
(КГЭУ, г. Казань)*

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОВИЗИОННОГО КОНТРОЛЯ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

В связи с тем, что на рынке присутствует большое количество производителей тепловизоров, к каждому из которых поставляется специализированное программное обеспечение перед исследователями стоит вопрос об обработке термограмм полученных на оборудовании разных производителей.

Предложено использовать методику анализа термографических информационных функций, а реализовать этот метод анализа средствами математической среды MathCAD, которая позволяет преобразовывать изображения (термограммы) в числовые матрицы.

В докладе обобщаются результаты обработки термограмм на предмет обнаружения дефектов силовых трансформаторов с помощью коэффициента дефектности для оценки мощности диссипационных явлений в трансформаторе.

*Н.П. Ананьев, магистрант; рук. Р.А. Ильин, к.т.н., доц.
(АГТУ, г. Астрахань)*

ЭФФЕКТИВНОСТЬ МОДЕРНИЗАЦИИ ЦИРКУЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ ОБОРОТНОЙ ВОДЫ ПУТЁМ ВНЕДРЕНИЯ ВЕНТИЛЯТОРНЫХ ГРАДИРЕН

В статье рассмотрены вопросы повышения эффективности циркуляционных систем на примере Астраханской ТЭЦ-2, который наглядно показывает эффективность вентиляторных градирен. В нашем случае вакуум нарушается из-за проектной ошибки, по которой были установлены башенные градирни №1,2 с суммарным расходом циркуляционной воды $36200 \text{ м}^3/\text{ч}$, при номинальном расходе воды через конденсаторы турбин №1,2,3,4 равном $50000 \text{ м}^3/\text{ч}$. В итоге, из-за недостатка в $13800 \text{ м}^3/\text{ч}$, циркуляционная система АТЭЦ-2 не может обеспечить требуемое охлаждение воды, из-за чего увеличивается удельный расход топлива на отпуск энергии и, как следствие, увеличивается потребление топлива, что ведёт к экономическим потерям. [1]

Для исправления данной ошибки предлагается установить вентиляторную секционную градирню №3 рядом с башенными градирнями №1,2 с номинальным расходом воды равным $13800 \text{ м}^3/\text{ч}$ и площадью орошения $S = 1152 \text{ м}^2$ [2]. Расчёт проводится для двух вариантов:

1. Башенные градирни №1,2 и турбоагрегаты №1,2,3,4, чьи данные взяты из более ранних расчетов ограничений мощности АТЭЦ-2 за 2010-2012 годы [3].

2. К первому варианту добавляется вентиляторная градирня №3 с площадью орошения $S_{\text{оп}} = 1152 \text{ м}^2$ и гидравлической нагрузкой $13800 \text{ м}^3/\text{ч}$.

По результатам расчетов первого варианта построим график зависимости электрической мощности АТЭЦ-2 от температуры окружающего воздуха. Из рисунка 1 видно, что фактическая суммарная мощность турбоагрегата (ТА) ст. №1,2,3,4 АТЭЦ-2 составляет 275 МВт (рассматриваемый месяц – июль). Аналогично проводим расчет для второго варианта и по результатам расчёта строим график на рисунке 2. При добавлении в систему циркуляционного водоснабжения вентиляторной градирни, фактическая мощность АТЭЦ-2 будет равняться 316 МВт, что на 41 МВт выше, чем в варианте с просто двумя башенными градирнями.

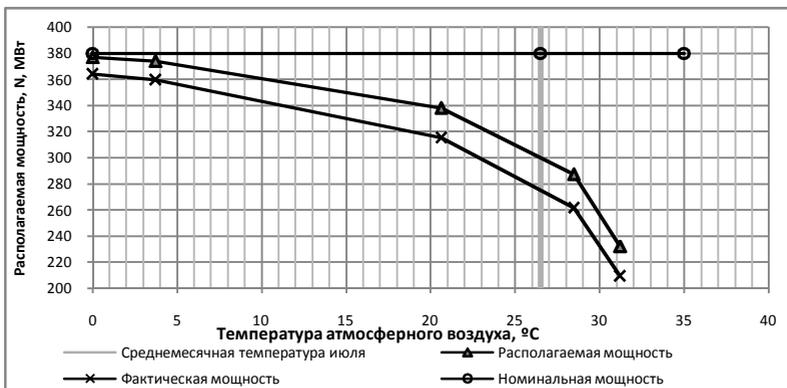


Рисунок 1. График мощности АТЭЦ-2 при варианте с двумя башенными градирнями

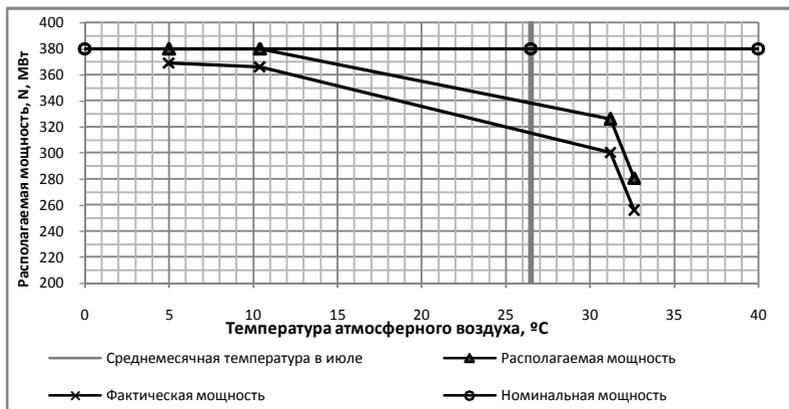


Рисунок 2. График мощности АТЭЦ-2 при варианте с тремя градирнями

По итогам расчёта можно уверенно заявить, что рассмотренный вариант модернизации ведет к росту технических и экономических показателей.

Библиографический список

1. Указ Президента РФ №889 от 4 июня 2008 года "О некоторых мерах по повышению энергетической и экологической эффективности российской экономики".
2. СНИП 2.04.02-84. Пособие по проектированию градирен.
3. ООО "НПО "ИРВИК". Отчет по градирне АТЭЦ-2. М., 2011.163 с.

*Д.И. Ключников, асп.; рук. Ю.Я. Галицкий, к.т.н, доцент
(КГЭУ, г. Казань)*

АСПЕКТЫ ПОВЫШЕНИЯ МАНЕВРЕННОСТИ УСТАНОВОК ТЭС

В связи с возникновением в последнее время реального рынка электроэнергии повышаются требования к маневренности установок ТЭС: уменьшению продолжительности пусковых операций, расширению регулировочного диапазона нагрузок энергоблоков и скорости изменения их нагрузок в его пределах.

Также повышение экономичности и маневренности ТЭС является важнейшей задачей при расширении и реконструкции станций.

Однако решение этих задач ограничено при использовании паротурбинных технологий, поэтому в настоящее время при строительстве новых станций и реконструкции старых много внимания уделяется газотурбинным установкам и парогазовым установкам. Поэтому работы по исследованию и улучшению маневренных характеристик ПГУ весьма актуальны.

Газотурбинные установки имеют некоторые преимущества перед паротурбинными, благодаря которым они и получили широкое распространение. Среди них: быстрый ввод турбоагрегата в работу, требование минимального расхода воды, более простое техническое устройство из-за отсутствия некоторых основных и вспомогательных элементов.

По причине того, что реконструкция экономичнее строительства новых станций активно внедряется совмещение паротурбиной части и газотурбинной – парогазовые установки. И возникает проблема: характеристики паротурбинной части изучены довольно широко в отличие от газотурбинной части и некоторые достоинства ГТУ не используются в полной мере из-за ограничений ПТУ. Поэтому оборудование не всегда работает на заводских или оптимальных параметрах, а условия рынка электроэнергии вносят еще и свои коррективы.

Исходя из этого ставится задача исследования маневренности установок ТЭС, решения задач по ее оптимизации с учетом условий, в которых работает оборудование, поиск способов более полного использования достоинств газотурбинной части в составе парогазовых установок.

С.С. Пуятин студ.; рук. Р.А. Ильин к.т.н., доц.
(АГТУ, Астрахань)

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ КОГЕНЕРАЦИОННЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ЭЛЕКТРО- И ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

В соответствии с концепцией распределенной энергетики производители электроэнергии и тепла максимально приближены к потребителю и сбалансированы с ним по нагрузке, что дает возможность отказаться от централизованного энергообеспечения. Перспективным направлением является малая энергетика на базе современных энергетических установок.

В Астраханской области нашли применение двум видам когенерационным установкам. Газопоршневые установки (ГПУ) Jenbacher 612 GS N.L.C (ОАО «ТЭЦ-Северная») и микротурбинные установки (МТУ) Capstone C200 (ООО ПФК «Дюна-АСТ») (Рис 1 а,б).



Рисунок 1. Внешний вид когенерационных установок:

1, а-микротурбинная установка; 1, б- газопоршневая установка [1,2]

В таблице 1 представлено сравнение [1,2] основных технико-экономических показателей микротурбинной установки и газопоршневой установкой (по ценам 2015) .

Таблица 1-Основные технико-экономических показатели МТУ и ГПУ [1,2]

№ п/п	Обозначение		Capstone C200	Jenbacher 612 GS N.L.C
1	Мощность электрическая	кВт	200	2004
2	Мощность тепловая	кВт	290	1 000
3	Расход газа при полной нагрузке	м ³ /ч	71,4	468
4	Частота вращения ротора	об/мин	45000	1500

Секция 1. Тепловые электрические станции

№ п/п	Обозначение		Capstone C200	Jenbacher 612 GS N.L.C
5	Вес комплекта	кг	3 180	22 500
6	Уровень шума на расстоянии 1 м	дБ	60	121
8	Периодичность ТО	моточас	8 000	1 800
9	Периодичность замены масла	моточас	24 000	2 000
10	Объем масла	л	19	549
11	Стоимость масла	USD/год	86	3967
12	Стоимость ТО	USD/кВт·ч	0.015	0.008
13	Ресурс до капитального ремонта	моточас	60 000	60 000
14	КПД полный, в том числе: <ul style="list-style-type: none"> • электрический • тепловой 	%	90 33,2 66,8	83,48 45,09 38,39
15	Эмиссия выхлопных газов: NOX	мг/м ³	50	510
16	Стоимость обслуживания до капитального ремонта	-	190 008 \$	920 711,81 €

В результате анализа по технико-экономическим показателям микротурбинные установки имеют ряд существенных преимуществ по сравнению с традиционно применяемыми газопоршневыми агрегатами:

1. Способность принять 100% наброс нагрузки, в то время как у газопоршневых агрегатов существуют жесткие ограничения по величине подключаемой нагрузки (не более 10-40 %).

2. Практически полностью отсутствует вибрация.

3. Периодическое сервисное обслуживание микротурбинной установки проводится не чаще 1 раза в год (каждые 8000 часов), а ГПУ мощностью до 2000 кВт необходимо останавливать каждые 1800 часов для текущего обслуживания.

4. Более низкий уровень шума: 65 дБ на расстоянии 10 м против 100-120 у ГПУ. Это дает дополнительные возможности применения МТУ (крыши зданий, подвальные помещения)

5. Низкие затраты на строительство: не требуется больших финансовых и трудовых затрат на проектные, строительные и монтажные работы за счет легкости установки и запуска микротурбин в работу.

6. Срок окупаемости инвестиционного проекта по установке МТУ, как правило, в 1,5 раза меньше, чем ГПУ.

Биографический список

1. GE Jenbacher Руководство по эксплуатации Jenbacher 612 GSN.L.C , GE, 2010. 1576 с.
2. Capstone Turbine Corp. Руководствопоэксплуатации Capstone C200 , Capstone, 2013. 90 с.

**Ф.Т. Махсутбек, магистр.; рук. В.Ю. Половников, к.т.н.,доц.
(НИТПУ, г. Томск)**

**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ГРУНТА
ПО ГЛУБИНЕ НА ТЕПЛОВЫЕ РЕЖИМЫ
РЕЗЕРВУАРОВ ТЭС И КОТЕЛЬНЫХ С УЧЕТОМ
НАЛИЧИЯ ИНЖЕНЕРНОГО СООРУЖЕНИЯ**

Прогноз структуры топливно-энергетического баланса России показывает, что нефть и газ останутся доминирующими энергоносителями, при сжигании которых в 2030 г. будет производиться 70% энергии [1].

Целью работы является математическое моделирование тепловых потерь резервуаров ТЭС и котельных, расположенных в зонах влияния инженерных сооружений.

Рассматривается типичный вертикальный цилиндрический стальной подземный резервуар марки РВС–100. Для рассматриваемой области решается двумерная стационарная задача теплопроводности в системе «подземный резервуар – окружающая среда» с учетом наличия инженерных сооружений в зоне размещения резервуаров ТЭС и котельных.

Процессы переноса тепла для рассматриваемого объекта будут описываться следующими соотношениями:

$$\nabla^2 T_{из} = 0, \tag{1}$$

$$\nabla^2 T_r = 0, \tag{2}$$

$$\nabla^2 T_\phi = 0. \tag{3}$$

$$T_{из,1} = T_m = \text{const}. \tag{4}$$

$$\lambda_{из} \text{grad}(T_{из,2}) = \lambda_r \text{grad}(T_{r,2}); \quad T_{из,2} = T_{r,2}; \tag{5}$$

$$\lambda_r \text{grad}(T_{r,3}) = \lambda_\phi \text{grad}(T_{\phi,3}); T_{r,3} = T_{\phi,3}. \tag{6}$$

$$-\lambda_r \text{grad}(T_{r,4}) = \alpha(T_{r,4} - T_{ex}), \tag{7}$$

$$-\lambda_\phi \text{grad}(T_{\phi,5}) = \alpha(T_{\phi,5} - T_{ex}). \tag{8}$$

$$-\lambda_\phi \text{grad}(T_{\phi,6}) = \alpha(T_{\phi,6} - T_{in}). \tag{9}$$

$$-\lambda_\phi \text{grad}(T_{\phi,7}) = \alpha(T_{\phi,7} - T_{in}), \tag{10}$$

$$\text{grad}(T_r) = 0, \quad x \rightarrow \pm\infty, \quad y \rightarrow -\infty. \tag{11}$$

$$\text{grad}(T_\phi) = 0, \quad x \rightarrow \pm\infty, \quad y \rightarrow +\infty. \tag{12}$$

Обозначения: T – температура, К; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К); α – коэффициент теплоотдачи, Вт/м²·К.

Индексы: из – слой тепловой изоляции; г – грунт; м – мазут; ф – фундамент инженерного сооружения; in – внутренний; ex – наружный; 1 – внутренняя поверхность изоляции резервуара; 2 – граница раздела «корпус резервуара- грунт»; 3 – граница раздела «грунт – фундамент инженерного сооружения»; 4 – граница раздела «грунт – окружающая среда»; 5 – граница раздела «грунт – инженерного сооружения»; 6 – граница раздела «фундамент – воздух внутри инженерного сооружения». 7 – граница раздела «пол подвала – воздух внутри инженерного сооружения».

Рассматриваемая задача (1) – (12) решена с применением средств и функций пакета программ мультифизического моделирования COM-SOL Multiphysics с использованием модуля GeneralHeatTransfer [2].

В таблице 2 приведены значения тепловых потерь Q_1 рассматриваемого объекта без учета наличия инженерных сооружений и Q_2 – с учетом наличия инженерных сооружений в зоне размещения резервуаров для хранения топлив ТЭС и котельных.

Таблица 2. Результаты расчета тепловых потерь

Вариант расчета	Температура окружающей среды, °С	Q_1 , кВт	Q_2 , кВт	$\delta = \frac{Q_2 - Q_1}{Q_2}$, %
сентябрь	+9,2	97,451	97,638	0,192
октябрь	+0,9	109,14 0	109,10 3	0,034
Ноябрь	-10,4	124,72 7	124,71 9	0,006
декабрь	-17,5	134,28 1	134,73 0	0,333
Январь	-19,2	136,64 1	136,86 6	1,334
февраль	-16,7	133,15 7	133,41 9	0,196
Март	-10,1	124,09 0	124,31 4	0,180
Апрель	-0,1	110,26 4	110,49 0	0,205
Май	+8,6	98,275	98,462	0,190
Июнь	+15,3	89,021	89,208	0,210

Результаты численного анализа тепловых потерь резервуаров для хранения топлив ТЭС и котельных, приведенные в таблице 2, свидетельствуют о том, что наличие инженерного сооружения в зоне их размещения мало влияют на изменение тепловых потерь, поэтому можно пренебречь этим показателем.

Библиографический список

1. Развитие теплоснабжения в России в соответствии с Энергетической стратегией до 2030г. // Новости теплоснабжения. – 2010. – № 2. – С. 6–9.

2. **Бирюлин Г.В.** Теплофизические расчеты в конечно-элементном пакете COMSOL/FEMLAB. СПб.: СПбГУИТМО, 2006. – 89 с.

Н.А. Семенов, Р.Р. Хасанов, студ.; рук. В.Н. Потапов, (к.т.н., доц.)

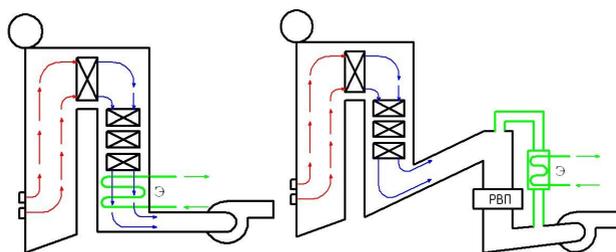
(УрФУ, г. Екатеринбург)

РЕЗЕРВЫ ПЛАСТИЧНОСТИ РАБОТЫ ГАЗОВЫХ ТЭЦ НА РЫНКИ ТЕПЛОТЫ И ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Глубокое снижение температур уходящих газов котлов обеспечит повышение КПД использования топлива на тепловых электрических станциях (ТЭС) на 2-4%. Теплота уходящих газов составляет обычно до 7-8 % от теплоты сожженного топлива и теряется. Даже часть ее трудно использовать традиционным приемом - установкой в газоходе котла за воздухоподогревателем дополнительных экономайзеров (Э) для подогрева какого – либо потока воды (вар.1, рис.1). Это связано с большими габаритами таких Э из-за низких температурных напоров в них, в также и из-за их высокого аэродинамического сопротивления. Еще отметим появление режимов, опасных для дымовой трубы зимой и при сильных разгрузках, а при отключении подачи воды имеют место лишние бесполезные затраты энергии на собственные нужды.

Но дополнительное снижение температур уходящих газов в этих Э является резервом для более эффективного использования теплоты топлива при их работе совместно с подключением по воде к сетевым бойлерам паровых турбин. Это можно использовать для усиления независимости отпуска теплоты и электроэнергии с ТЭЦ в сложных погодных условиях, когда отбор пара с турбин на подогрев сетевой воды вызывает недопустимое отклонение отпуска электроэнергии на рынок от суточного графика Сетевого Оператора (СО). Отклонение от графика СО более чем на 2% наказуемо. Долю отклонений от графика СО можно полностью или частично заменить теплотой уходящих газов, произведя изменения отпуска пара из отборов турбин на нагрев сетевой воды для коррекции мощности паровой турбины с целью соблюдения суточного графика СО. При этом самой эффективной будет схема подогрева части потока сетевой или подпиточной воды. Схема была предложена, в частности Е.В.Волковым, более 50 лет тому назад на кафедре ТЭС УПИ, и была отработана на СУГРЭС в 70-е годы.

Одной из главных особенностей этой схемы является размещение дополнительного подогревателя воды (Э) в параллельном газоходе котла, байпасирующим участок газового тракта воздухоподогревателя. Это позволит интенсифицировать теплообмен в Э до 4-5 раз, а также снизить его габариты и массу. Такой же подход использован позже на котлах самых экономичных сегодня блоков тепловых электростанций ФРГ с подогревом разных потоков в байпасе воздухоподогревателя. Это вместе с утилизацией низкопотенциальной теплоты дымовых газов до реактора сероочистки и в нем обеспечило самый высокий КПД нетто блока (46 - 47%) даже при сжигании бурых углей. Варианты подобных решений предлагаем применить и на одной из местных ТЭЦ с котлами БКЗ-320 и турбинами серии Т-100 (вариант 2, справа на рисунке 1). Снижение температуры ходящих газов при этом полагаем пока ограничить со 105-110 °С до 80-90 °С - по условиям безопасной работы дымовой трубы зимой.



Вариант 1

Вариант 2

Рис.1. Традиционная (вариант 1) и новая, предлагаемая схема (вариант 2) установки ДПВ (Э) на газовом котле любого типа

Очевидно, вариант 1 (рис.1) установки дополнительного Эявне не приемлем для практики. Его габариты и масса соизмеримы или даже превышают габариты и массу самого воздухоподогревателя. При работе котла на низких нагрузках и зимой поставит дымовую трубу ТЭЦ в недопустимые температурные режимы и при том существенно увеличатся затраты энергии на дутье а тепловая мощность Э реально будет не выше 5-6 Гкал/ч. Дополнительную теплоту 8-12 Гкал/ч можно будет получить в подогревателе Э, если его разместить в параллельном газоходе по варианту 2. Удельные затраты топлива на ее получения с компенсацией недогрева воздуха увеличением подачи природного газа в топку оставит 80 - 90 кг/Гкал, что на 60-70 кг/Гкал меньше тех же затрат на нагрев сетевой воды с сетевых бойлерах турбины. Установка

ДПВ на 5 котлах обеспечит отпуск коммерческой теплоты до 10-25% отопительной мощности одной турбины типа Т-100, обеспечив дополнительную возможность регулировки мощности турбин на 2-3 %, гарантируя соблюдение суточного графика и даже работу на балансирующий сектор рынка. Мы оценили регулирование нагрузки при резких внешних условиях на тех же сегментах рынка установкой малой газовой турбины с электрогенератором и со сбросом ее выхлопных газов в газоход перед дополнительным подогревателем воды (Э).

А.Е. Волков, К.О. Кубатулина, студ.;

рук. Б.Л. Шельгин, к.т.н., проф. (ИГЭУ, г. Иваново)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА УТИЛИЗАЦИИ УХОДЯЩИХ ИЗ ГТЭ-6П ГАЗОВ В КОТЛОАГРЕГАТЕ «П-102»

Согласно технической политике в электроэнергетике РФ в настоящее время большое внимание уделяется вводу в эксплуатацию энергоагрегатов, содержащих газотурбинные установки (ГТУ) и котлы-утилизаторы (КУ). Студенты, как будущие специалисты, должны хорошо разбираться в особенностях отмеченного оборудования.

Настоящая работа подготовлена для более детального изучения процессов, протекающих в энергоустановке, и предназначена для использования в учебном процессе на лабораторных и практических занятиях.

Целью рассматриваемого материала является не только объяснение создания расчетной модели КУ «П-102» и подготовки исходных данных, но и определение максимальной величины его паропроизводительности в режиме утилизации теплоты уходящих из ГТЭ-6П газов при проектных значениях электрической мощности $N_e = 6$ МВт и температуре наружного воздуха $t_{нар} = 15$ °С.

Модель расчета энергоустановки выполнена с помощью простого в обращении программного продукта «ТРАКТ». Схема расчета КУ включает газовый, водопаровой, воздушный тракты и тракт сетевой воды. Все рабочие тракты представляют собой цепочки последовательно расположенных и пронумерованных элементов. В модели после камеры сгорания (КС) ГТЭ-6П предусмотрен отвод от продуктов сгорания количества теплоты, соответствующий электрической мощности газовой турбины.

Применительно к проектным условиям, использованию в качестве топлива природного газа с теплотой сгорания $35,7$ МДж/м³ и коэффициенте избытка воздуха за ГТУ $4,43$ расход топлива в её КС равен

$2,7 \cdot 10^3$ нм³/ч. При этом расход воздуха, нагреваемого в осевом компрессоре ГТУ до 290 °С, равен 35,4 кг/с. Количество теплоты, передаваемой с ним в газовый тракт, составляет 2360 ккал/с.

В случае тепловой мощности газового потока, расходуемой на выработку электрической энергии в количестве 1455 ккал/с, температура газов за ГТУ составляет 480 °С, а за КУ она равна 106 °С. При этом КПД КУ (брутто) 80,1 %. В этих условиях паропроизводительность 16 т/ч (33 % от номинальной величины), а температура перегретого пара 228 °С.

Апробация разработанной модели подтверждает правильность принятых методических решений при хорошем соответствии полученных результатов проектным данным КУ.

Созданная модель расчета КУ «П-102» позволяет в зависимости от значений N_3 и $t_{\text{нар}}$ выполнить анализ изменения показателей энергоустановки в утилизационном режиме её работы.

*А.Е. Волков, О.О. Титов, студ.; рук. Б.Л. Шельгин, к.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК КОТЛА-УТИЛИЗАТОРА Е-50-0,7-250 ПРИ СЖИГАНИИ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ТОПЛИВА В ПОТОКЕ ГАЗОВ, УХОДЯЩИХ ИЗ ГТЭ-6П

Входящий в состав организации «Ивгортеплосеть» котел-утилизатор (КУ) марки Е-50-0,7-250 вырабатывает пар для технологических нужд текстильных предприятий. При его эксплуатации в утилизационном режиме его производительность не превышает 17 т/ч. Для обеспечения проектного значения $D = 50$ т/ч необходимо сжигание в его топочной камере дополнительного топлива в потоке уходящих газов из ГТЭ-6П.

При этом в качестве окислителя горючих веществ дополнительного топлива в горелочные устройства подается лишь часть уходящих из ГТУ газов. Оставшаяся часть по линии байпасирования вводится в верхнюю часть топки.

Целью настоящей работы являлось определение применительно к проектным значениям электрической мощности ГТЭ-6П N_3 , температуры наружного воздуха $t_{\text{нар}}$ и $D = 50$ т/ч:

- расхода топлива, дополнительно сжигаемого в топке B_T ;
- доли байпасирования газов d_G ;
- КПД котла (брутто) $\eta_k^{\text{бр}}$.

Анализ выполнялся с использованием ранее разработанной расчетной модели КУ «П-102», согласно которой в топочной камере предусматривалась передача дополнительного количества теплоты от факела к топочным экранам за счет тепловыделения от сжигания дополнительного топлива.

Применительно к проектным условиям и теплоте сгорания природного газа $35,7 \text{ МДж/нм}^3$ расход топлива в камеру сгорания ГТУ равен $2,7 \cdot 10^3 \text{ нм}^3/\text{ч}$. Значения количества теплоты, отбираемой для привода осевого компрессора и электрогенератора, соответственно составляют 2360 и 1455 ккал/с.

Предварительно согласно приращению паропроизводительности КУ 24 т/ч по сравнению с минимальным значением (в случае утилизационного режима работы) рассчитывается расход дополнительно сжигаемого в топке топлива ($2,68 \cdot 10^3 \text{ нм}^3/\text{ч}$). При доле байпасирования газов 0,5 дополнительное тепловыделение в топке составляет 6100 ккал/с.

В случае $D = 50$ т/ч температура газов на выходе из топки составляет $1110 \text{ }^\circ\text{C}$, а за КУ – $107 \text{ }^\circ\text{C}$ при КПД (брутто) равном 88,1 %. Температура перегретого пара $230 \text{ }^\circ\text{C}$, что является достаточным по требованиям технологических процессов на текстильных предприятиях.

На основании результатов выполненного анализа имеется возможность проследить изменение характеристик КУ «П-102» в условиях совместного режима его работы с ГТЭ-6П при сжигании дополнительного топлива и использования в качестве окислителя уходящих из ГТУ газов.

*С.Д. Горшенин, соискатель; рук. Г.В. Ледуховский, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ рН ВОДЫ ЗА АТМОСФЕРНЫМИ ДЕАЭРАТОРАМИ

При проектировании деаэрационных установок и их режимной наладке требуется определять значения рН деаэрированной воды в том или ином режиме работы деаэратора. В настоящее время математические модели, обеспечивающие решение этой задачи, отсутствуют. Однако в ИГЭУ разработана модель [1], описывающая химическое равновесие в деаэрированной воде, предназначенная для оценки эффективности декарбонизации воды по результатам измерения общей щелочности и рН исходной воды и рН деаэрированной воды. Нами ранее получены экспериментальные значения константы скорости процесса термического разложения гидрокарбонатов в деаэраторах, и методика

расчета кинетических характеристик этого процесса с учетом гидродинамической обстановки в системе [2, 3]. Синтез этих моделей позволил решить задачу разработки методики прогнозирования значений рН воды, вырабатываемой деаэраторами атмосферного давления.

В докладе рассматривается методика расчета значений рН воды, вырабатываемой деаэраторами атмосферного давления, по заданным конструктивным характеристикам деаэратаора и теплотехническим показателям режима его работы, а также значениям общей щелочности и рН исходной воды. Основные расчетные выражения следующие:

$$pH_o = \lg \left(\frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \right); \quad a = C_{HCO_3^-}^o + \frac{1}{11,24} \cdot \frac{f_{II}}{f_I} \cdot 10^{-3};$$

$$b = \frac{1}{11,24} \cdot \frac{f_{II}}{f_I} \cdot 10^{11} \cdot \left(C_{HCO_3^-}^o - Щ_o^{XOB} 10^{-3} + 10^{-pH_{XOB}} \right);$$

$$c = -\frac{1}{11,24} \cdot \frac{f_{II}}{f_I} \cdot 10^{11}; \quad C_{HCO_3^-}^o = 10^{-6} \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m C_i,$$

$$C_i = \begin{cases} C_0 \exp(-K_{n=1} \tau_i), n = 1; \\ \left[(C_0)^{-1} + K_{n=2} \tau_i \right]^{-1}, n = 2; \end{cases} \quad C_0 \approx Щ_o^{XOB} \cdot 10^3,$$

где pH_o и pH_{XOB} – значения рН в охлажденных пробах деаэрированной и химически очищенной (исходной) воды соответственно; $C_{HCO_3^-}^o$, моль/дм³ – концентрации гидрокарбонатов в охлажденной пробе деаэрированной воды; f_{II}, f_I – коэффициенты активности, которые для условий деаэрации химочищенной воды могут быть приняты равными 0,95 и 0,85 соответственно; $Щ_o^{XOB}$, мг-экв/дм³ – общая щелочность химической очищенной воды; m – число струек воды, на которые в модели разбивается общий поток воды на входе в деаэрационный бак (рекомендуется $m = 1000$); C_i , мкг-экв/дм³ – концентрация гидрокарбонатов в i -ой струйке воды на выходе из бака; индексы $n = 1$ и $n = 2$ указывают соответственно на первый или второй порядок реакции; K – константа скорости реакции термического разложения гидрокарбонатов в деаэраторе; τ_i , с – время пребывания в баке i -ой струйки воды.

Подробнее рассмотрим разработанный нами алгоритм расчета концентрации гидрокарбонатов в деаэрированной воде. Задача решается с помощью программного комплекса FlowVision, предназначенного для моделирования течений жидкости, следующим образом. Для моделируемого режима работы деаэратаора в программном комплексе

FlowVision рассчитывается распределение скоростей воды в деаэра-
торном баке. После получения решения входной поток воды деаэра-
торного бака в модели условно разбивается на m линий тока. Для каж-
дой из линий тока определяется время τ_i , затрачиваемое соответст-
вующим элементарным объемом воды на прохождение деаэрационного
бака. Порядок реакции n , моделирующей процесс, а также соответст-
вующее значение константы скорости реакции K определяется по по-
лученным нами ранее данным [2, 3] в зависимости от Щ_o^{XOB} .

Апробация методики на обширном экспериментальном материале
показала, что относительные средние квадратичные отклонения рас-
четных значений рН от экспериментальных составили: 2,0 % для де-
аэраторов с паровым барботажем в баке; 2,1 % для деаэраторов без
барботажа в баке.

Библиографический список

1. Оценка эффективности декарбонизации добавочной воды атмосферными деаэра-
торами / Б.М. Ларин, А.Б. Ларин // Теплоэнергетика. – 2015. – № 2, С. 77-80.
2. Уточнение механизма процесса и константного обеспечения модели термического
разложения гидрокарбонатов в атмосферных деаэраторах без парового барботажа в баке
/ Г.В. Ледуховский, С.Д. Горшенин, А.А. Коротков // Вестн. Ивановского гос. энергетич.
ун-та – 2013. – вып. 3. – С. 9-15.
3. Влияние парового барботажа в баке атмосферных деаэраторов на кинетику про-
цесса термического разложения гидрокарбонатов / Г.В. Ледуховский, С.Д. Горшенин,
А.А. Коротков // Вестн. Ивановского гос. энергетич. ун-та – 2015. – вып. 3. – С. 5-12.

А.П. Зимин, асп.;
рук. Г.В. Ледуховский, к.т.н., доц., В.П. Жуков, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)

О МЕТОДЕ СВЕДЕНИЯ МАТЕРИАЛЬНОГО БАЛАНСА ПРИ ОБРАБОТКЕ ОПЫТНЫХ ДАННЫХ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ ТУРБОУСТАНОВКИ

Ранее нами предложен ряд методов сведения материальных и энер-
гетических балансов в энергетических системах сложной структуры в
условиях недостаточности (неопределенности) первичной информации
[1]. В рамках настоящего этапа работы выполнена реализация предло-
женных методов при решении задачи обработки экспериментальных
данных в ходе тепловых испытаний турбоустановки.

При обработке результатов тепловых испытаний паровых турбин, в
соответствии с «Методическими указаниями по тепловым испытаниям
паровых турбин» (СО 34.30.740), одним из этапов является сведение
материального баланса по установке. Этот этап позволяет оценить

степень точности экспериментальных данных и обеспечивает достоверность последующего расчета технико-экономических показателей оборудования. СО 34.30.740 предписывает метод сведения материального баланса, который не позволяют учитывать степень достоверности определения отдельных параметров и, тем более, находить разумный компромисс между невязкой балансов, обусловленной несовершенством метрологических характеристик приборов учета, и величиной вносимых в первичные данные корректировок. В работе выполнена обработка результатов испытаний турбины ПТ-26/29-2,9/1,3 различными методами: методом, предписанным СО 34.30.740; а также предложенным нами методом, учитывающим степень достоверности определения отдельных параметров в комплексе экспериментальных данных.

Задачей собственно испытаний было определение номинальной электрической мощности турбогенератора после модернизации системы регулирования. Эта задача решалась следующим образом: проведены четыре опыта при режимах, максимально близких к номинальным условиям; затем результаты обработаны с введением поправок на отклонение фактических параметров работы турбоустановки в каждом опыте от номинальных (кроме расхода свежего пара G_0); в результате выполнено построение участка диаграммы режимов (зависимости мощности, приведенной к номинальным условиям, N_T^H от G_0), по которому и определено искомое значение номинальной электрической мощности при номинальном значении расхода свежего пара.

Результаты вариантных расчетов (при разных методах сведения материального баланса) приведены на рисунке. Видно, что от выбора метода сведения материального баланса существенно зависят показатели тепловой экономичности (в данном случае искомая номинальная электрическая мощность варьируется в диапазоне 3,7 %). При номинальном расходе свежего пара $G_0^H = 237,5$ т/ч отклонение N_T^H , определенной по нашему методу (с учетом реальной степени достоверности определения исходных расходов теплоносителя), и в соответствии с руководящим документом, составляет 0,76 %. В конкретных случаях такое отклонение может оказаться критичным, поскольку решается задача проверки соответствия реальных показателей работы оборудования характеристикам, заявленным заводом-изготовителем.

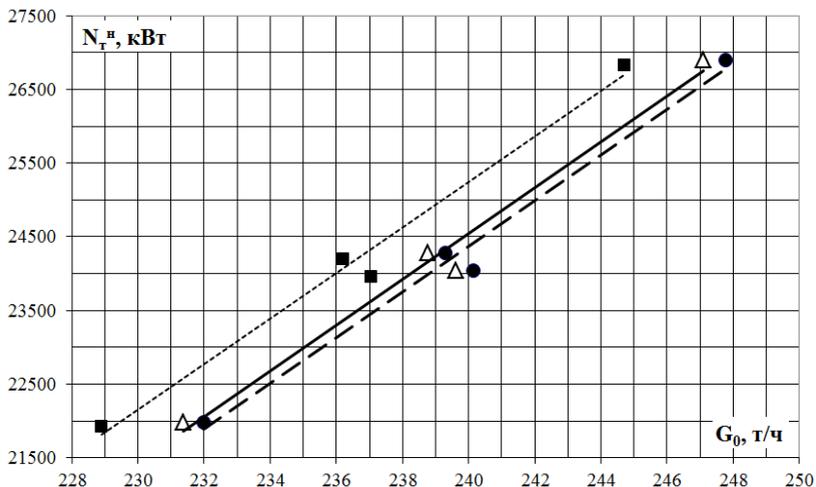


Рисунок – Результаты расчета электрической мощности, приведенной к номинальным условиям, в опытах: точки – результаты расчета N_t в опытах; линии – аппроксимация опытных данных; ■ и пунктирная линия – расчет в соответствии с методом авторов при отнесении невязки материального баланса к показаниям расходомера турбинного конденсата; ● и штриховая линия – то же, при отнесении невязки материального баланса к показаниям расходомера свежего пара (соответствует СО 34.30.740); △ и сплошная линия – расчет в соответствии с методом авторов с учетом реальных метрологических характеристик приборов контроля

Библиографический список

1. Задача многокритериальной регуляризации потоков энергии и теплоносителя в энергетических системах сложной структуры/ Г.В. Ледуховский, В.П. Жуков, Е.В. Барочкин и др. // Вестник ИГЭУ. – 2013. – вып. 6. – С. 5-10.

*И.А.Иванов, студ.; рук. Г.Г. Орлов, к.т.н, профессор
(ИГЭУ, г Иваново)*

ПРИМЕНЕНИЕ ПАРООХЛАДИТЕЛЕЙ В ТЕПЛОВЫХ СХЕМАХ ТЭС

В настоящее время на ТЭС подогреватели высокого давления (ПВД), а на установках с промежуточным перегревом пара и часть подогревателей низкого давления (ПНД), выполняются со специальными отсеками, именуемыми пароохладителями (ПО), для съема перегрева пара, поступающего в них. Эти ПО могут быть встроены в корпус ПВД, назовем их $ПО_F$, или могут быть вынесенными, располагаясь вне корпуса ПВД. Причем, вынесенные ПО могут быть установлены на всем потоке питательной воды ($ПО_E$), или эти вынесенные ПО могут по-

лучать только часть потока питательной воды ($ПО_{RN}$), поступающей в них после соответствующего ПВД или ПНД (рис. 1). Обозначение $ПО_{RN}$ связано с именем авторов (Рикар, Некольный), впервые предложивших такой тип ПО для применения в тепловых схемах ТЭС.

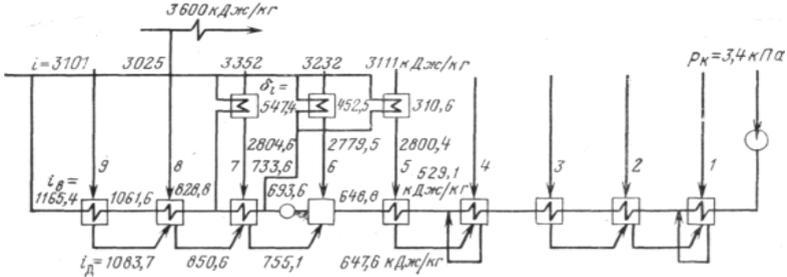


Рис. 1. Принципиальная тепловая схема турбоустановки К-500-23,54-2 с $ПО_{RN}$

Рассмотрим общий подход для выявления эффективности того или иного типа ПОВ тепловой схеме блока ТЭС.

Наиболее просто и наглядно это можно осуществить, если использовать метод коэффициентов изменения мощности [1]. Этот метод позволяет достаточно быстро рассчитать внутренний абсолютный КПД цикла η_i с учетом схемы регенеративного подогрева питательной воды, в которой установлены те или иные типы ПО.

Для схемы блока с промежуточным перегревом пара, когда в схеме регенерации применены только встроенные пароохладители типа $ПО_F$, внутренний абсолютный КПД цикла определится по выражению:

$$\eta_F = \frac{h_0 + \Delta h^{n,n} - h_k - A}{h_0 + \Delta h^{n,n} - h_{en} - B}, \quad (1)$$

где h_0 – энтальпия острого пара, кДж/кг; $\Delta h^{n,n}$ – прирост энтальпии пара в промежуточном пароперегревателе, кДж/кг; h_k – энтальпия пара, поступающего в конденсатор турбины, кДж/кг; h_{en} – энтальпия питательной воды за ПВД № 9; $(A - B\eta_F) = \sum e_i \Delta h_{ei}$ – сумма произведений коэффициента изменения мощности e_i , соответствующего регенеративного отбора пара, на величину повышения энтальпии воды в соответствующем подогревателе Δh_{ei} , кДж/кг. Эта сумма $\sum e_i \Delta h_{ei}$ включает произведения для подогревателей, питаемых паром из отборов турбины считая от конденсатора до котельного агрегата.

Следует отметить, что для схемы с $ПО_F$ в сумме произведений $\sum e_i \Delta h_{ei} = (A - B\eta_F)$ зависимость от внутреннего абсолютного КПД цикла η_F будут иметь коэффициенты изменения мощности e_i отборов пара из

холодной линии промежуточного перегрева и из ЦВД турбины. Применительно к турбоустановке К-500-23,54-2 это коэффициенты изменения мощности регенеративных отборов №8 и №9.

Для схемы регенеративного подогрева питательной воды, когда применяются вынесенные пароохладители типа ПО_Е, внутренний абсолютный КПД цикла η_E определится по аналогичному выражению:

$$\eta_E = \frac{h_0 + \Delta h^{n,n} - h_{\kappa} - A_1}{h_0 + \Delta h^{n,n} - h_{en} - B_1}, \quad (2)$$

причем численные значения h_0 , $\Delta h^{n,n}$, h_{κ} , h_{en} оказываются теми же, что и в выражении (1), но в сумме произведений $\sum e_i \Delta h_{ei} = (A_1 - B_1 \eta_E)$ зависимость от внутреннего абсолютного КПД цикла η_E будут иметь коэффициенты изменения мощности e_i регенеративных отборов с №5 по №9 включительно.

Так как в схеме с ПО_{RN} (рис. 1) через подогреватели регенеративной схемы №7, №8 и №9 протекает питательной воды меньше, чем в схемах с ПО_Р и ПО_Е, то это обстоятельство сказывается на изменении мощности установки на величину ΔN , что в расчете на 1 кг пара, поступающего в турбину, может быть найдено по выражению

$$\Delta N = \left[(W_{RN-5} + W_{RN-6}) \sum_7^9 (\eta_{RN} - e_i) \Delta h_e + W_{RN-7} \sum_8^9 (\eta_{RN} - e_i) \Delta h_e \right] = C + D \eta_{RN}, \quad (3)$$

где W_{RN-5} , W_{RN-6} , W_{RN-7} — относительные величины расхода воды отводимой на вынесенные пароохладители типа ПО_{RN} к расходу пара на турбину для регенеративных отборов № 5, № 6 и № 7, в соответствии с рис. 1; e_i — коэффициенты изменения мощности ступеней регенеративного подогрева питательной воды с отбора № 5 по отбор № 9 включительно.

Для схемы регенеративного подогрева питательной воды, когда применяются вынесенные пароохладители типа ПО_{RN} (рис.1), внутренний абсолютный КПД цикла с учетом (3) будет определяться по выражению, которое существенно отличается от (1) и (2):

$$\eta_{RN} = \frac{h_0 + \Delta h^{n,n} - h_{\kappa} - A_2 + C}{h_0 + \Delta h^{n,n} - h_{en} - B_2 + D}, \quad (4)$$

численные значения h_0 , $\Delta h^{n,n}$, h_{κ} , h_{en} остаются теми же, что и в выражениях (1) и (2), но в сумме произведений $\sum e_i \Delta h_{ei} = (A_2 - B_2 \eta_{RN})$ зави-

симось от внутреннего абсолютного КПД цикла η_{RN} будут иметь коэффициенты изменения мощности e_i отборов с №5 по №9, как и для случая установки $ПО_E$; в числителе выражения (4) появляется слагаемое C , а в знаменателе D , определяемые по (3), которые учитывают отвод воды на вынесенные $ПО_{RN}$, установленные на отборах № 5, № 6 и № 7.

Проведенные исследования показывают, что наибольшее повышение внутреннего абсолютного КПД цикла достигается, когда в схеме регенерации применяются пароохладители типа $ПО_{RN}$. Наибольший эффект достигается для вновь проектируемых блоков, когда учитывается более высокая температура питательной воды $t_{пв}$ на входе в новый котельный агрегат из-за применения $ПО_{RN}$. Однако для существующих блоков ТЭС, модернизация тепловой схемы за счет установки $ПО_{RN}$ будет приводить не только к повышению экономичности за счет повышения $t_{пв}$, но будет также приводить и к ухудшению КПД существующего котельного агрегата за счет увеличения потерь тепла с уходящими газами на величину Δq_2 , что снижает эффект от установки $ПО_{RN}$. В соответствии с [2] возрастание температуры питательной воды на входе в котельный агрегат на величину $\Delta t_{пв}$ приводит к увеличению процента потерь тепла с уходящими газами равного

$$\Delta q_2 = 0,012 \Delta t_{пв}, \% \quad (5)$$

причем, $\Delta t_{пв} = t_{пвRN} - t_{пвF}$, если сравниваются пароохладители типа $ПО_{RN}$ с $ПО_F$ и $\Delta t_{пв} = t_{пвE} - t_{пвF}$, если сравниваются $ПО_E$ с $ПО_F$.

Библиографический список

1. Рубинштейн Я.М., Щепетильников М.И. Исследование реальных тепловых схем ТЭС и АЭС. М.: Энергоиздат. 1982. С. 272.
2. Змачинский А.В. Зависимость КПД котлоагрегата от температуры питательной воды // Электрические станции. 1961. № 5. С.5-7.

*А.В. Лагин, студ.; рук. Г.Г. Орлов, к.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПОВЫШЕНИЕ ЭКОНОМИЧНОСТИ ТЭС, СЖИГАЮЩИХ ВЛАЖНЫЕ И ВЫСОКОВЛАЖНЫЕ УГЛИ

В настоящее время доля угля в структуре топливного баланса ТЭС в мире составляет 28 %, природного газа около 70 %, мазута ~ 2 %. Относительно небольшая доля угля обусловлена тем, что уголь нельзя отнести к экологически чистому топливу. По некоторым оценкам запа-

сов природного газа хватит примерно на 100 лет, а угля на срок в несколько раз больше. В перспективе до 2050 года доля угля в структуре топливного баланса ТЭС в мире очевидно увеличится до 44 %, что связано с иссекаемыми запасами природного газа и нефти.

В России достаточно много запасов угля с высокой влажностью ($W_p > 35$ %). Чтобы рационально использовать запасы такого угля, желательно вначале повысить его теплотворную способность Q_n^p , подсушив этот уголь, например, используя теплоту уходящих газов котельного агрегата или теплоту пара регенеративных отборов турбины. При подсушке угля будет удаляться внешняя влага из топлива, возрастет процентный состав горючих компонентов и увеличится Q_n^p . Использование отборного пара из турбины для подсушки бурого угля в паровых сушилках является более рациональным способом, чем уходящими газами, позволяя снизить рабочую влажность бурого угля с $W_{p1} = 35$ % до влажности $W_{p2} = 12 \div 14$ %, а при использовании каменного угля после подсушки достичь влажности $W_{p2} = 1 \div 2$ %.

Данная работа преследует цель выбора оптимальной схемы подачи пара регенеративного отбора турбины в паровые трубчатые сушилки для подсушки влажного бурого угля и оценить её срок окупаемости. Схема должна обеспечивать температуру пара, поступающего в сушилки, величиной не выше 200 °С по условиям работы подшипников паровой сушилки. В качестве основного метода, который был использован для сравнения различных схем подачи пара к паровым трубчатым сушилкам был использован метод коэффициентов изменения мощности [1], который позволяет получить высокую точность расчетов при небольших временных затратах.

В качестве основного топлива для ТЭС с блоками 500 МВт был выбран Назаровский бурый уголь с начальной влажностью $W_{p1} = 39$ % и влажностью после его подсушки $W_{p2} = 14$ %. Пар для подсушки угля в трубчатых сушилках использовался из регенеративного отбора турбины К-500-240-2, идущий к деаэратору (рис. 1). Для снижения температуры пара с 385 °С (из отбора турбины) до 200 °С (на входе в сушилку) рассматривалось несколько схем: впрыск конденсата из системы регенерации в поток пара, идущего к сушилкам; установка вынесенного пароохладителя, включенного по общеизвестной схеме Виолен; установка пароохладителя по схеме Рикара-Некольного (рис. 1), которая оказалась наиболее рациональной, аналогичный вывод получен в [2].

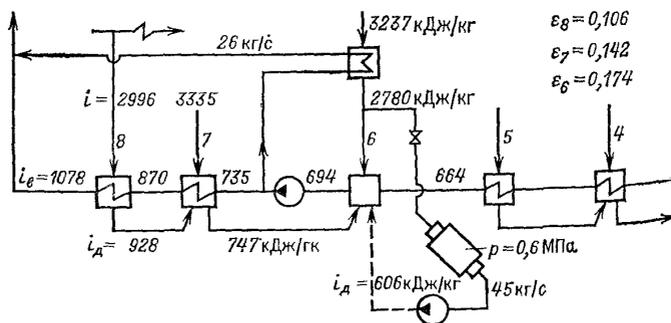


Рис. 1. Схема установки пароохладителя, расходуемого на сушку угля.

В схеме, представленной на рис. 1, указаны основные величины расходов пара и воды на вынесенный пароохладитель, а также их параметры. За счет установки пароохладителя температура питательной воды на входе в котельный агрегат возрастает на $\delta t_{п.в.} = 7,4 \text{ }^\circ\text{C}$, что позволяет получить экономию топлива. Однако с другой стороны, это повышение $\delta t_{п.в.}$ приводит к возрастанию потерь теплоты с уходящими газами δq_2 в соотношении $\delta q_2 = 0,012 \delta t_{п.в.}, \%$ [3], а это ведет к снижению КПД котельного агрегата и увеличению пережога топлива.

Как показали проведенные расчеты, при числе часов использования установленной мощности $\tau_r = 6500 \text{ ч/г}$, удельном расходе условного топлива на выработку электроэнергии $0,320 \text{ кг/кВт}\cdot\text{ч}$ и мощности блока 500 МВт , общая экономия топлива составит $2558,0 \text{ т у.т./г}$. С учетом капиталовложений в пароохладитель, затрат на монтаж, ремонт и амортизацию в размере 10% , срок окупаемости предлагаемой схемы снижения температуры пара перед сушилкой не превысит $3\text{-}3,5 \text{ лет}$.

Библиографический список

1. Рубинштейн Я.М., Щепетильников М.И. Исследование реальных схем ТЭС и АЭС. М.: Энергоиздат. 1982. –272с.
2. Щепетильников М.И., Орлов Г.Г. Об установке охладителя пара, расходуемого на сушку топлива // Теплоэнергетика. 1969. №5. С. 48-52.
3. Змачинский А.В. Зависимость КПД котлоагрегата от температуры питательной воды // Электрические станции. 1961, № 5. С. 5-7.

А.А. Малахов, студ.; рук. Г.Г. Орлов, к.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ПОДПИТКИ ТЕПЛОСЕТИ И РАСХОДОВ ПАРА НА СЕТЕВЫЕ ПОДОГРЕВАТЕЛИ В РЕЖИМЕ ДИАЛОГА С ЭВМ

Отпуск теплоты промышленным и бытовым потребителям в виде горячей воды для целей отопления, вентиляции и горячего водоснабжения, в большинстве случаев, осуществляется от теплофикационных установок ТЭС. Количество тепла, отдаваемое теплофикационной установкой ТЭС потребителям, зависит от температуры наружного воздуха. Чтобы обеспечить требуемое количество тепла для потребителя в соответствии с температурой наружного воздуха изменяют температуру воды в подающей магистрали к потребителю или применяют, так называемое, качественное регулирование.

В открытой системе теплофикации горячее водоснабжение осуществляется непосредственно из системы. Закрытые и открытые системы теплоснабжения требуют компенсации утечек теплоносителя в них. Расход воды на компенсацию утечек $G_{\text{комп.утеч}}$ в открытой системе теплофикации составляет 0,75 % от объема воды в тепловой сети $V_{\text{т.с}}$, плюс 0,5 % от объема воды в тепловых магистралях от ТЭЦ до города $V_{\text{т.м}}$, плюс расход воды на горячее водоснабжение с запасом в 20 % или $G_{\text{комп.утеч}} = 0,0075V_{\text{т.с}} + 0,005V_{\text{т.м}} + 1,2G_{\text{г.в.}}$

Для закрытых систем теплофикации величина компенсации утечек $G_{\text{комп.утеч}}$ не учитывает расход воды на горячее водоснабжение $G_{\text{г.в.}}$.

При отсутствии фактических данных объем горячей воды тепловых сетей принимается из расчета 43 м^3 на 1 МВт тепловой энергии, отпускаемой потребителю, при наличии транзитных магистралей, а при их отсутствии принимается равным 56 м^3 на 1 МВт тепловой энергии.

Для открытых систем теплоснабжения предусматривается установка баков-аккумуляторов подготовленной воды емкостью, равной десятикратной величине среднечасового расхода воды на горячее водоснабжение за отопительный период. Число баков принимается не менее двух по 50 % расчетной емкости в каждом, причем эти баки могут располагаться как на площадке ТЭС, так и в районе теплопотребления.

Для закрытых систем теплоснабжения предусматривается установка двух баков запаса подготовленной подпиточной воды емкостью, равной 3 % от объема воды в тепловых сетях.

Нами была разработана диалоговая система «человек–ЭВМ» для определения величины подпитки теплосети и расходов пара из регенеративных отборов турбины на сетевые подогреватели в зависимости от

типа системы по отпуску тепла потребителям. Система позволяет создать макет расчетной схемы, найти величины объемов воды в теплосети и тепловых магистралях, диаметры магистралей, параметры пара и воды, которая проходит через подогреватели системы подпитки теплосети, а также их расходы. Кроме того, в схеме подпитки определяются расходы и параметры рабочих сред для вакуумного деаэратора, осуществляющего деаэрацию подпиточной воды теплосети.

Разработанная программа позволяет наглядно увидеть составленную расчётную тепловую схему, которая в зависимости от типа ТЭС может включать в себя: один или два сетевых подогревателя, пиковый водогрейный котёл (или его отсутствие), сетевые насосы для одноподъёмной или двухподъёмной схемы, поток воды на подпитку теплосети из деаэратора подпитки, поток воды из химводоочистки в деаэратор подпитки и т.п.

Для определения термодинамических параметров пара и воды были использованы упрощенные уравнения ВТИ [1,2], охватывающие области температур до 600 °С и давлений до 26 МПа при величине энтропии выше 6,28 кДж/(кг·К).

Результаты расчета схемы подогрева сетевой воды выдаются на экран монитора в виде узлов тепловой схемы блока ТЭС, а также, параметров теплоносителей (вода, пар). Параметры указываются на участках схемы подогрева сетевой воды и могут также выдаваться в виде отдельной таблицы.

Разработанная диалоговая система рассчитана на применение в учебном процессе при выполнении лабораторных, курсовых и выпускных работ по направлению 13.03.01 теплоэнергетика и теплотехника, профиль ТЭС. Она также может применяться и для проведения исследовательских работ на этапе оптимизации.

Библиографический список

1. Ривкин С.Л. Уравнение состояния воды и водяного пара для машинных расчётов процессов и оборудования электростанций / С.Л. Ривкин, Е.А. Кремневская // Теплоэнергетика. 1977. № 3. С. 69-73.
2. Литинецкий В.В., Ривкин С.Л., Кремневская Е.А. Алгоритм расчета термодинамических свойств водяного пара на ЭВМ // Теплоэнергетика. 1986. №3. С. 48-50.

*В.И. Моисеев, соискатель; рук. Е.Н. Бушуев, д.т.н., доц.
(ИГЭУ, г.Иваново)*

АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВ ПЕРЕВОДА ТЭС В РЕЖИМ С ПОСТОЯННОЙ НАГРУЗКОЙ

На сегодняшний день в России развернута работа по перевооружению и модернизации ТЭС с заменой устаревшего оборудования с низким КПД по выработке электроэнергии на современные парогазовые установки. Мощность вводимых энергоблоков составляет внушительные величины, колеблясь от 420 МВт (Южноуральская ГРЭС, Верхнетагильская ГРЭС, ТЭЦ-20, ТЭЦ-21 г. Москва) до 800 МВт (Пермская ГРЭС). Ввод в эксплуатацию таких крупных энергоблоков ведет к перемещению в пиковую область графика электрических нагрузок энергоблоков малой, средней и большой мощности, в первую очередь работающих на угольном топливе с относительно невысоким КПД, поскольку маневренность мощных ПГУ ограничена условиями их безопасной и высокоэффективной работы, достижения максимального сокращения срока окупаемости и получения максимальной прибыли. Общая энергоэффективность отдельных ТЭС и системы в целом может не только не увеличиться, но при резко переменном «кинжальном» графике электрических нагрузок даже снизиться за счет маневренных (пуско-остановочных) перерасходов топлива. Перевод ТЭС в пиковый режим работы кроме топливных потерь ведет к ускоренному износу основного и вспомогательного оборудования с сокращением межремонтных периодов и ускоренным приближением предельного состояния оборудования ТЭС.

Указанные обстоятельства подтверждаются анализом официальной информации энергогенерирующих компаний ОРЭМ России, отраженной в официальных годовых отчетах ОГК и ТГК и статистической информации ОДУ энергосистемы. В частности, при рассмотрении особенностей работы объединенной энергосистемы Урала и Центра, отмечается характерный профиль их переменного графика электрических нагрузок, с ночным провалом генерирования мощности до 7 ГВт, дополнительным снижением генерации в выходные дни до 2 ГВт и форсированным сбросом и набором нагрузки до 1,2–1,4 ГВт/ч.

Выявляется прямая зависимость между вводом новых базовых мощностей ПГУ на Южноуральской ГРЭС суммарной мощностью порядка 810 МВт и снижением пылеугольной генерации. Так, в 2014 г. на Верхнетагильской ГРЭС за счет перераспределения выработки электроэнергии на высокоэффективные энергоблоки была снижена на 28 % генерация на пылеугольных блоках с сохранением отпуска элек-

троэнергии от энергоблоков на природном газе. Поскольку одновременно с внушительным уменьшением доли выработки электроэнергии на пылеугольных блоках с невысоким КПД практически не изменился удельный расход топлива на выработку электроэнергии, логично сделать вывод о появлении увеличенных маневренных и пусковых перерасходах топлива.

Анализ эксплуатационной статистической информации за 2008 - 2010 годы показал наличие существенного перерасхода топлива свыше 45 г/кВтч при работе отдельных блоков 300 МВт в переменном режиме в сравнении с блоками, работающими преимущественно в базовом режиме (рис. 1).

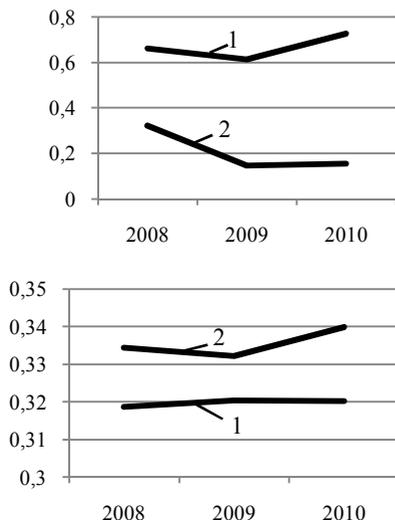


Рис.1. Коэффициент использования установленной мощности (а) и удельный расход топлива на выработку электроэнергии (б) на Конаковской ГРЭС:

1 – энергоблок №3; 2 – энергоблок №4

Перевод ТЭС в режим с постоянной электрической нагрузкой (рис. 1) возможен за счет максимального использования энергетического и производственного ресурса ТЭС для удовлетворения производственно-энергетических и хозяйственных нужд предприятий. Решение реализуется совмещением некоторых производственных и социально значимых функций, выполняемых на различных технологических объектах, на одном генерирующем предприятии, что приводит к общему снижению капиталовложений и издержек, а отношения между замещаемыми предприятиями приобретают взаимовыгодный для города и энергоотрасли симбиотический характер.

Наиболее перспективный путь реализации такого решения является электролизное производство молекулярного водорода и кислорода на ТЭС с реализацией водорода на внешнем рынке и использованием кислорода в технологической схеме ТЭС. В этом случае будут достигнуты проектные показатели генерации, заметно снизится повреждаемость оборудования, упростятся взаимоотношения между ТЭС и ОДУ энергосистемы.

*Л.М. Панов, Д.С. Ермолаев, студ.; рук. Б.Л. Шелыгин, к.т.н.,
проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА СХЕМЫ РАСЧЕТА КОТЛА-УТИЛИЗАТОРА «П-88» ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ПГУ-325

На сегодняшний день в теплоэнергетике Российской Федерации наиболее перспективными считаются парогазовые установки (ПГУ). Повышенная сложность ПГУ, включающую газотурбинную установку (ГТУ) и котел-утилизатор (КУ), компенсируется наилучшими экономическими показателями. Поэтому изучению этих технических объектов должно уделяться повышенное внимание.

Недостаточность методических материалов требует новых разработок для квалифицированной подготовки будущих работников энергопредприятий.

Настоящая работа посвящена созданию модели расчёта двухконтурного КУ «П-88» для возможного использования на практических занятиях и выполнения студенческих научных работ.

В данной работе не только объясняются особенности создания расчетной модели КУ «П-88» и подготовки входных параметров, но и определяются значения выходных характеристик при проектной мощности ГТЭ-110 и температуре наружного воздуха_{нар} = 15°C.

Расчетная модель КУ создана с использованием доступной для самостоятельной работы студентов программы «ТРАКТ». Она состоит из газового, воздушного (фиктивного) водопаровых трактов высокого и низкого давления (ВД и НД), представляющих комбинации последовательно расположенных теплообменников.

Деаэратор энергоблока и газовый подогреватель конденсата (ГПК) условно разделены на две части, отдельно включенные в схемы трактов ВД и НД. Предусматривается переток из воздушного в газовый тракт количества теплоты с воздухом, нагреваемым при сжатии в осевом компрессоре ГТЭ-110.

Применительно к проектным условиям в качестве топлива используется природный газ с теплотой сгорания $35,7 \text{ МДж/м}^3$. При коэффициенте избытка воздуха за ГТУ 3,23 для относительных нагрузок $0,9 \div 1,0$ и КПД ГТУ 0,35 расход топлива в ее камеру сгорания равен $31,5 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{ч}$. При этом воздух в осевом компрессоре ГТУ нагревается до $365 \text{ }^\circ\text{C}$, а количество теплоты, передаваемой с ним в газовый тракт, составляет 29897 ккал/с .

В случае тепловой мощности газового потока, расходуемой на выработку электрической энергии в количестве 26785 ккал/с , температура газов за ГТУ составляет $520 \text{ }^\circ\text{C}$, а за КУ она равна $105 \text{ }^\circ\text{C}$.

При значениях паропроизводительности контуров ВД и НД 160 и $39,6 \text{ т/с}$ температуры перегретого пара соответственно равны 481 и $229 \text{ }^\circ\text{C}$.

Апробация созданной модели подтверждает правильность принятых методических решений при соответствии результатов расчета литературным данным.

*Л.М. Панов, А.С. Тукмачев, студ.;рук. Б.Л. Шельгин, к.т.н.,
проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОТЛА-УТИЛИЗАТОРА «П-88» ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ НАРУЖНОГО ВОЗДУХА

В ходе эксплуатации парогазовые установки (ПГУ) электростанций работают в переменных режимах, когда технические показатели газотурбинной установки (ГТУ) и котла-утилизатора (КУ) отличаются от проектных значений, полученных при температуре наружного воздуха $t_{\text{нар}} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$.

Поэтому важно знать особенности работы КУ при изменении климатических условий. Учитывая сложность протекающих процессов, данный анализ может быть выполнен только с использованием расчетной модели энергоустановки.

Задачей рассматриваемого материала является определение применительно к проектным входным характеристикам выходных параметров КУ в зависимости от величины $t_{\text{нар}}$.

Расчетное исследование проводилось с использованием модели КУ «П-88» при постоянной относительной нагрузке ГТЭ-110, равной $0,9$ (100 МВт) и изменении температуры наружного воздуха в пределах $-30 \div 30 \text{ }^\circ\text{C}$. Коэффициент избытка воздуха за ГТУ не меняется ($3,23$).

С увеличением КПД ГТУ $\eta_{\text{ГТУ}}$ с 0,35 до 0,37 соответственно на $4 \div 6$ % возрастает электрическая мощность газовой турбины. На основании этих значений рассчитывается расход подаваемого в камеру сгорания (КС) топлива.

После определения количества теплоты, поступающей с воздухом в КС, и тепловой мощности, отбираемой от газового потока на выработку электрической мощности, задаются значения паропроизводительности контуров высокого и низкого давления (ВД и НД). При откладке конкретного варианта расчета эти значения корректируются (увеличиваются или снижаются). Доля циркуляции конденсата в ГПК должна поддерживаться в пределах $0,2 \div 0,25$ для обеспечения постоянной величины температуры на входе в него ($59 \div 61$ °С). Для окончательного расчета массовое паросодержание в испарительных поверхностях должно составлять более 90 %.

С повышением величины $t_{\text{нар}}$ с -30 до 30 °С температура газов перед КУ возрастает с 460 до 500 °С. При этом снижается значение паропроизводительности контуров соответственно со 145 до 110 т/ч для ВД и с 36 до 31 т/ч для НД. В случаях снижения температуры газов температура пара контура ВД снижается с 500 до 460 °С.

Результаты проведенного исследования позволяют дать оценку влияния значений $t_{\text{нар}}$ и N_5 на эксплуатационные характеристики и показатели работы КУ «П-88» при переменных режимах работы ПГУ-325.

*А.М. Потапов, магистрант; рук. Г.В. Ледуховский, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА УТОЧНЕННОЙ МОДЕЛИ ВАКУУМНО-АТМОСФЕРНОЙ ДЕАЭРАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ НА БАЗЕ ДЕАЭРАТОРОВ «ДСА» И «АВАКС»

Ранее на кафедре ТЭС ИГЭУ разработаны варианты технологических схем деаэрационной установки, объединяющей вакуумно-атмосферные кавитационные деаэрационные устройства «АВАКС» и деаэраторы «ДСА» со струйной колонкой [1]. Техническое решение рекомендовано к использованию в качестве малозатратного варианта реконструкции действующих установок с деаэраторами устаревших конструкций типа «ДСА», когда установка в них барботажных устройств невозможна или не выгодна из-за необходимости подачи на барботаж пара более высокого давления, чем давление основного пара.

Получены аналитические зависимости, обеспечивающие расчет показателей работы установки для рассматриваемых вариантов схем. При этом при разработке математического описания установки был принят ряд допущений, в частности, не учтено изменение показателей работы системы утилизации выпара деаэратора «ДСА» при изменении его нагрузки. Задачей настоящей работы является уточнение математической модели путем отказа от ранее принятых допущений.

Рассматриваются две альтернативных схемы. В схеме № 1 через деаэратор «АВАКС» проходит один из двух потоков воды, направляемых в «ДСА», – поток исходной воды, предварительно подогретый в пароводяном теплообменнике; вторым является поток исходной воды, не прошедший пароводяной теплообменник, но прокачиваемый через охладитель выпара деаэратора «ДСА». В схеме № 2 деаэратор «АВАКС» устанавливается на линию рециркуляции деаэрированной воды, забираемой насосом после «ДСА», со сбросом воды после «АВАКС» на вход деаэратора «ДСА». Для рассматриваемых схем получены расчетные выражения, связывающие концентрацию растворенного кислорода в деаэрированной воде за «ДСА» с его начальной концентрацией, долей расхода воды, проходящей через «АВАКС», а также эффектами деаэрации для деаэраторов «ДСА» и «АВАКС» (под эффектом деаэрации понимается отношение разности массовых концентраций газа в деаэрируемой воде до и после аппарата к массовой концентрации газа в исходной воде).

Работа охладителя выпара деаэратора «ДСА» учтена следующим образом (в отличие от ранее выполненной работы [1], где расход выпара этого деаэратора не учитывался). Поскольку расход воды через охладитель на практике не регулируется, при расчете он был установлен постоянным, определенным исходя из заданного удельного расхода выпара деаэратора при номинальной нагрузке и подогрева воды в охладителе в этом режиме до температуры 80 °С (по паспортным данным). Аналогично и расход выпара деаэратора «ДСА», который также не регулируется, устанавливался постоянным, обеспечивающим при номинальной нагрузке заданное значение удельного расхода выпара. При такой постановке задачи доля расхода воды, проходящей в схеме № 1 через «АВАКС» не регулируется (соответственно, содержание растворенного кислорода в деаэрированной воде за «ДСА» оказывается минимально возможным при данных условиях). Для схемы № 2 эта доля может меняться от нуля до максимального значения, которое выбирается из условия достижения средней по потокам температуры воды перед «ДСА» 94 °С (нагрев в «ДСА» не может быть меньше 10 °С для обеспечения нормальной вентиляции парового пространства). Вы-

полнены расчеты показателей работы схем. Эффекты деаэрации для деаэраторов «ДСА» и «АВАКС» в зависимости от режимных параметров приняты по данным натурных испытаний. Выявлено следующее:

1) для схемы № 1 нормативная концентрация растворенного в деаэрированной воде кислорода (в данном случае 50 мкг/дм^3) обеспечивается во всем регулировочном диапазоне гидравлической нагрузки (от 30 до 120 т/ч) и температуры исходной воды на входе в схему (от 30 до $70 \text{ }^\circ\text{C}$); однако при необходимости распространения такого технического решения на установки с нормативной концентрацией растворенного кислорода 20 мкг/дм^3 наступают ограничения по температуре исходной воды (не более $30 \text{ }^\circ\text{C}$); если же норматив установлен равным 10 мкг/дм^3 , то схема по рассматриваемому варианту вовсе не приемлема; кроме того, такая схема чувствительна к удельному расходу пара деаэратора «ДСА» и техническому состоянию охладителя пара, что может вызвать эксплуатационные затруднения;

2) схема № 2 позволяет изменения кратности циркуляции получать воду с концентрацией растворенного кислорода 10 мкг/дм^3 и менее во всем диапазоне изменения тепловых и гидравлических нагрузок установки; при этом схема характеризуется существенными дополнительными затратами электроэнергии, связанными с рециркуляцией воды, что нужно учитывать при выборе окончательного варианта.

Библиографический список

1. Реконструкция атмосферных струйных деаэраторов с применением кавитационных деаэрационных устройств «АВАКС» / Ледуховский Г.В. [и др.] // Вестник ИГЭУ, 2014, вып. 6. с. 5-10.

*А.А. Терентьева, студ.; рук. А.Е. Барочкин, т.н, доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ОТКАЗОВ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

В России для обеспечения потребителей тепловой энергией с горячей водой преимущественно используется система централизованного теплоснабжения, которая предполагает наличие одного или нескольких крупных источников тепловой энергии и протяжённых тепловых сетей. Тепловые сети чаще всего выполнены по радиальной схеме, т.е. имеется несколько тепломагистралей, которые проложены от ТЭЦ или котельной в разные районы города. Основным недостатком радиальной схемы является наличие большого количества нерезервируемых участков тепловых сетей. В случае возникновения аварии на таком

участке все потребители, подключённые к сети за местом аварии будут отключены от теплоснабжения.

В методических рекомендациях по разработке схем теплоснабжения (утверждены приказом Минэнерго и Минрегиона России от 29 декабря 2012 года N 565/667) для оценки надёжности теплоснабжения потребителей существует методика определения вероятности безотказной работы тепловой сети по отношению к каждому потребителю. Данная методика приведена в методически.

Частота (интенсивность) отказов каждого участка тепловой сети измеряется с помощью показателя λ_i , который имеет размерность 1/(км·год). Интенсивность отказов всей тепловой сети (без резервирования) по отношению к потребителю представляется как последовательное (в смысле надёжности) соединение элементов при котором отказ одного из всей совокупности элементов приводит к отказу всей системы в целом.

Для описания параметрической зависимости интенсивности отказов использовалась зависимость от срока эксплуатации, близкая по характеру к распределению Вейбулла:

$$\lambda(t) = \lambda_0 (0,1 \cdot \tau)^{\alpha-1},$$

где τ - срок эксплуатации участка, лет.

Для распределения Вейбулла рекомендуется использовать следующие эмпирические коэффициенты:

$$\alpha = \begin{cases} 0,8 & \text{при } 1 < \tau \leq 3 \\ 1 & \text{при } 3 < \tau \leq 17 \\ 0,5 \times e^{(\tau/20)} & \text{при } \tau > 17 \end{cases}$$

На графики выделяют три характерные области. Первая область (срок эксплуатации до 3 лет) характеризуется выявлением брака, допущенного при монтаже трубопроводов. Вторая область (срок эксплуатации до 17 лет) характеризуется минимальным количеством аварий на тепловых сетях. Третья область (срок эксплуатации более 17 лет) характеризуется возрастанием количества аварий вследствие старения тепловых сетей.

Интенсивность отказов должна определяться для каждой системы теплоснабжения на основании имеющихся данных по авариям на тепловых сетях за пятилетний период. При этом не учитываются аварии, возникшие в ходе ежегодных гидравлических испытаний тепловых сетей. В качестве примера на рис. 1, 2 приведён пример определения интенсивности отказов тепловых сетей Ижевской ТЭЦ-1.

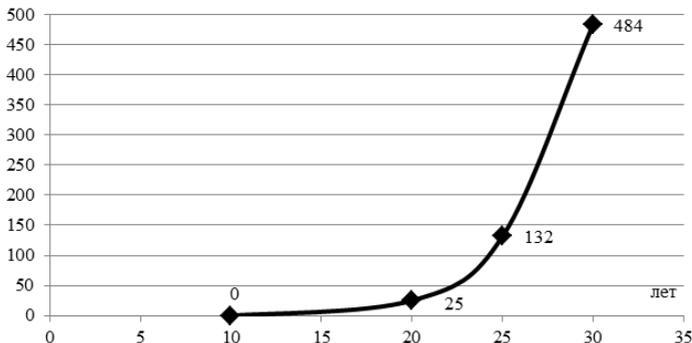


Рис. 2. Статистика отказов тепловых сетей в зависимости от срока эксплуатации

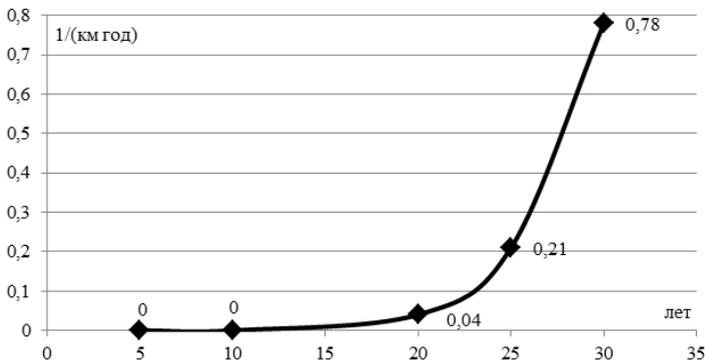


Рис. 3. Интенсивность отказов тепловых сетей

*А.А. Уранов, студ.; рук. Г.Г. Орлов, к.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПОСТРОЕНИЕ ПРОЦЕССА РАСШИРЕНИЯ ПАРА В H,S - ДИАГРАММЕ ДЛЯ ГЛАВНОЙ И ВСПОМОГАТЕЛЬНОЙ ПРИВОДНОЙ ТУРБИН ТЭС

Автоматизированное проектирование путем использования компьютерных систем позволяет повысить качество технологической и конструктивной проработки оборудования при одновременном сокращении сроков его разработки, кроме того, появляется наглядность выполняемой задачи.

Процесс расширения пара в турбине обычно строят, используя данные заводов-изготовителей турбин, накопленный опыт эксплуата-

ции установок и проведенные исследования. На практике приходится строить процесс расширения пара в турбине при значениях начальных параметров пара и параметрах промежуточного перегрева, отличающихся от известных. В этом случае значения внутренних относительных КПД для цилиндров и отсеков турбины могут быть определены по хорошо зарекомендовавшей себя методике [1], а также по значениям внутренних относительных КПД, приведенным в научной [2] и учебной литературе [3].

На кафедре ТЭС ИГЭУ была разработана диалоговая система определения параметров водяного пара в характерных точках процесса расширения пара в главной турбине с учетом внутреннего абсолютного КПД отсеков турбины [4]. Однако она не позволяла строить процесс расширения пара в h,s - и T,s -диаграммах для вспомогательных приводных турбин питательных насосов и воздуходувок.

В разработанной и более совершенной системе указанный недостаток устранен. Расчет параметров рабочего вещества и построения процесса расширения пара осуществляется непосредственно в h,s -и T,s -диаграммах ведется в диалоговом режиме, что в отличие от большинства существующих программ по расчету тепловых схем ТЭС, позволяет получить достаточную наглядность. Для каждой точки процесса расширения пара определяются пять параметров: давление, температура, энтальпия, энтропия, и удельный объем. Результаты расчета выводятся на экран дисплея, где представлен рассматриваемый участок процесса расширения пара в турбине, рассчитываемый в данный момент времени.

Результаты расчета могут сохраняться на диске как информация в виде таблиц параметров пара, а также в виде графиков в h,s - и T,s -диаграммах. В связи с тем, что в тепловых схемах паротурбинных ТЭС могут применяться как турбины с промежуточным перегревом пара, так и без него, с отборами пара на производство и теплофикацию или без них, поэтому разработанная система позволяет определить перечисленные выше термодинамические параметры с учетом типа турбины, а также назначения электростанции (КЭС, ТЭЦ).

В основу расчета термодинамических параметров разработанной системы положено упрощенное уравнение состояния водяного пара ВТИ [5]. Это уравнение имеет всего 10 коэффициентов и позволяет с достаточной для практики точностью рассчитать все термодинамические свойства водяного пара в области температур до 600 °С, давлений до 26 МПа и энтропии выше 6,28 кДж/кг.

Процесс расширения пара в турбине происходит как в области перегретого, так и влажного пара. Поэтому для каждой области исполь-

зовалось свое уравнение для адиабаты в соответствии с [6]. А точка перехода из одной области в другую определялась как деление отрезка пополам.

Разработанная программа рассчитана для проведения научно-исследовательских работ и использования в учебном процессе при выполнении лабораторных, курсовых и выпускных работ по направлению теплоэнергетика и теплотехника, профиль ТЭС.

Библиографический список

1. Спенсер Р., Коттон К., Кеннон С. Метод определения степени совершенства паровых турбин мощностью 16,5 МВт // Энергетические машины и установки. –М.: Мир. 1963. № 4. С. 3-45. (Труды Америк. общества инженеров механиков).
2. Бартлетт В.Л. Тепловая экономичность и экономика паровых турбин. –М.: Госэнергоиздат. 1963. № 4. –352 с.
3. Рыжкин В.Я. Тепловые электрические станции: учебник для теплоэнергетических специальностей вузов. –М.-Л.: Энергия. 1987. –400 с.
4. Орлов Г.Г., Охлопков М.А. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2008610955 от 22.02.2008. // Диалоговая система определения термодинамических параметров водяного пара в характерных точках процесса расширения пара в турбине.
5. Литинецкий В.В., Ривкин С.Л., Кремневская Е.А. Алгоритм расчета термодинамических свойств водяного пара на ЭВМ // Теплоэнергетика. 1986. №3. С. 48-50.
6. Бисярин А.Н. Разработка и исследование рациональных методов расчета тепловых схем атомных энергетических установок. Автореферат диссертации на звание канд. техн. наук. –М.: МЭИ. 1981. –20 с.

*Д.М. Магомедсайитов, студ.; рук. Г.Г. Орлов, к.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПОЛУЧЕНИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ МОЩНОСТИ НА ТЭС, СЖИГАЮЩИХ ГАЗ, ПУТЁМ ПРИМЕНЕНИЯ ТУРБОДЕТАНДЕРНЫХ АГРЕГАТОВ

В настоящее время наблюдается резкое возрастание потребления природного газа в энергетике многих стран мира, а к 2030 году потребление газа в мире удвоится. В России в ближайшие 20 лет увеличение добычи природного газа возрастет на 27 %, а общий объем добываемого газа достигнет 750 млрд. м³ в год. Доля использования природного газа в мировом топливно-энергетическом комплексе к 2050 году возрастет до 30 %, а в России уже к 2020 году до 57 %. Для достижения цели стабильного, бесперебойного и экономически эффективного удовлетворения, постоянно возрастающего внутреннего и внешнего спроса на природный газ, энергетической стратегией России

на период до 2020 года, предусматривается сокращение потерь и снижение затрат на всех стадиях технологического процесса при добыче, подготовке и транспорте газа, а также ставится задача осуществить ресурсо- и энергоснабжение.

С точки зрения энергосбережения в газотранспортной системе на сегодня весьма перспективной является утилизация энергии избыточного давления природного газа, подводимого по газопроводам к газораспределительным станциям и газораспределительным пунктам промышленных потребителей газа. Техническим средством при этом являются специально разрабатываемые энергосберегающие турбодетандерные агрегаты, преобразующие энергию избыточного давления природного газа, транспортируемого по газопроводам, в механическую, а затем в электрическую энергию.

В России значительными потребителями газа являются тепловые электрические станции (КЭС и ТЭЦ), на которые он поступает от газораспределительных станций (ГРС) с давлением $0,7 \div 1,3$ МПа. Перед котлами ТЭС давление газа должно составлять $0,13 \div 0,2$ МПа, что достигается за счёт снижения (дросселирования) давления газа в газорегуляторном пункте (ГРП). С точки зрения энергосбережения и получения дополнительной мощности ТЭС весьма перспективным является утилизация энергии избыточного давления газа, подводимого к ГРП в турбодетандерных агрегатах. Такие агрегаты мощностью 5 МВт успешно эксплуатируются с 1995 года на ТЭЦ-21, а с 2008 – на ТЭЦ-23 ОАО «Мосэнерго». На Средне-Уральской ГРЭС работает турбодетандер производства ОАО «Турбо-моторный завод» мощностью 11 МВт.

Нами для блочной ТЭС большой мощности был рассчитан эффект применения турбодетандерных агрегатов для получения дополнительной мощности за счет использования перепада давления газа от ГРС до котельного агрегата (рис. 1). Турбодетандеры устанавливались на ГРП

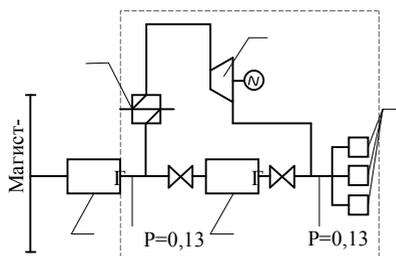


Рис. 1. Схема использования перепада давления газа для получения дополнительной мощности:

1 – газорегуляторная станция; 2 – газо-

и позволяли снижать давление газа с 1,3 МПа на входе в турбодетандер до 0,13 МПа на выходе из него, что соответствовало требованию давления газа на входе в котел. За основу расчета была взята ТЭС мощностью 3600 МВт. Проведенные исследования показали, что установка турбодетандера вместо простого дросселирования газа на ГРП позволяет повысить

регуляторный пункт; 3 – турбодетандер для выработки электроэнергии; 4 – теплообменник для подогрева газа; 5 – котельные агрегаты

мощность ТЭС примерно на 45 МВт, применяя существующие типы отечественных турбодетандеров.

В связи с тем, что при снижении давления газа в проточной части турбодетандера происходит одновременно и значительное падение его температуры, то возникает вопрос как обеспечить приемлемую температуру газа на входе в котельный агрегат. Этого можно добиться несколькими способами:

- подогревать газ, перед подачей его в турбодетандер, в специальном теплообменнике паром регенеративного отбора турбины;
- подогревать газ в теплообменнике водой, циркулирующей по замкнутому контуру: подогреватели низкого давления (ПНД) регенеративной схемы – подогреватель для газа перед турбодетандером – циркуляционный насос и снова ПНД (аналогично экономайзеру низкого давления);
- подогревать газ в теплообменниках, устанавливаемых на входе и выходе газа из турбодетандера, например на входе – паром из отбора турбины, а на выходе – водой из теплосети.

Наиболее экономичной оказывается схема, в которой газ подогревается водой из системы регенерации турбины, циркулирующей по замкнутому контуру, а наиболее простой – схема подогрева газа на входе в турбодетандер паром из отбора турбины.

*А.Р. Богачева, студ.; рук. Ледуховский Г.В. А.Е. Барочкин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

НОРМИРОВАНИЯ РАСХОДА ТЕПЛА НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКУЮ ВЕНТИЛЯЦИЮ

Нормативные энергетические характеристики котлов разрабатываются с учетом расхода тепла на калориферы при подогреве дутьевого воздуха от температуры холодного воздуха до температуры воздуха за калориферами. Температура холодного воздуха обычно отличается от температуры наружного воздуха, особенно в зимний период.

Расход тепла на технологический подогрев воздуха включает следующие расходы тепла:

- расход тепла на подогрев дутьевого воздуха от температуры наружного воздуха до температуры холодного воздуха;
- расход тепла на подогрев воздуха, замещающего путем инфильтрации расход воздуха с присосами в газовый тракт котла, от темпера-

туры наружного воздуха до температуры воздуха в помещении котельной.

Расход тепла на технологическую вентиляцию котла рассчитывается с учетом того, что на подогрев технологического воздуха частично или полностью расходуются:

- тепловые потери котлов от наружного охлаждения (q_5) – 100 %;
- потери теплового потока – около 60 %.

Расчет нормативного расхода тепловой энергии на вентиляцию выполняется с учетом методических рекомендаций, приведенных в методических указаниях по нормированию расходов тепла на отопление и вентиляцию производственных зданий тепловых электростанций.

Величины Q_5 (тепловые потери котла от наружного охлаждения) и $Q_{ТП}$ (потери теплового потока) удобно полностью учесть в расходе тепла на технологическую вентиляцию, связанном с подогревом дутьевого воздуха от температуры наружного воздуха до температуры холодного воздуха. В этом случае итоговое выражение для расчета этой составляющей затрат тепла на технологическую вентиляцию котла можно записать в виде:

$$Q_{Техн.В}^I = Q_{ПДВ}^{нв-хв} - Q_5 - Q_{ТП} = 0,2892 \cdot \left(1 + \frac{\Delta\alpha_{рвп}^{ном}}{100} \cdot \sqrt{\frac{Q_{ка}^{бр.ном}}{Q_{ка}^{бр}}} \right) \cdot V_0 \times$$

$$\times \frac{\left(\frac{100 \cdot Q_{ка}^{бр}}{\eta_{ка}^{бр}} - Q_{вн} \right)}{Q_{н\ наг}^p} \cdot (t_{ХВ} - t_{НВ}) - \frac{q_5}{100} \cdot Q_{ка}^{бр} - 0,009 \cdot Q_{ка}^{бр.ном},$$

где $\Delta\alpha_{рвп}^{ном}$ – протечки воздуха в РВП котла при номинальной нагрузке; $Q_{ка}^{бр.ном}$ и $Q_{ка}^{бр}$, Гкал/ч – теплопроизводительность котла соответственно номинальная и текущая; V_0 , м³/м³ или м³/кг – теоретически необходимый объем воздуха для сжигания топлива; $\eta_{ка}^{бр}$, % – исходно-номинальное значение КПД котла брутто при текущей теплопроизводительности; $Q_{вн}$, Гкал/ч – тепло, дополнительно вносимое в топку котла при текущей теплопроизводительности; $Q_{н\ наг}^p$, ккал/кг или ккал/м³ – низшая теплота сгорания на рабочую массу топлива; $t_{ХВ}$, °С – температура холодного воздуха, фактическая; $t_{НВ}$, °С – температура наружного воздуха, фактическая.

Расход тепла на подогрев воздуха, замещающего путем инфильтрации расход воздуха с присосами в газовый тракт котла, от температуры наружного воздуха до температуры воздуха в помещении котельной определяется аналогично. При этом учитываются присосы воздуха

в топку котла, а также присосы воздуха в конвективные поверхности котла

Итоговое выражение для расчета второй составляющей расхода тепла на технологическую вентиляцию котла – расхода тепла на подогрев воздуха, замещающего путем инфильтрации расход воздуха с присосами в газовый тракт котла, от температуры наружного воздуха до температуры воздуха в помещении котельной, можно записать в виде:

$$\begin{aligned} Q_{Техн.В}'' &= \alpha \cdot C \cdot \rho \cdot L \cdot (14 - t_{НВ}) \cdot 10^{-6} = \\ &= 1,0 \cdot 0,24 \cdot 1,205 \cdot (L_{прис}^m + L_{прис}^{конв}) \cdot (14 - t_{НВ}) \cdot 10^{-6} = \\ &= 0,2892 \cdot \left(\alpha_{рс} - 1 + \frac{\Delta\alpha_{конв}}{100} \right) \cdot V_0 \cdot \frac{\left(\frac{100 \cdot Q_{ка}^{бр}}{\eta_{ка}^{бр}} - Q_{ви} \right)}{Q_{н\ наг}^p} \cdot (14 - t_{НВ}), \end{aligned}$$

где $\alpha_{рс}$, ед. – коэффициент избытка воздуха в режимном сечении котла; $\Delta\alpha_{конв}$, % – присосы воздуха в конвективные поверхности котла.

Секция 2. ПРОМЫШЛЕННАЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

*Председатель секции
зав. кафедрой «Промышленная теплоэнергетика»
д.т.н., проф. В.П. Созинов
Секретарь секции к.т.н., проф. В.М. Захаров*

*А.И. Бадриев, вед.инж.; рук. В.Н. Шарифуллин, д.т.н., проф.
(КГЭУ, г. Казань)*

СПОСОБ АНАЛИЗА ВЛИЯНИЯ НАГРУЗКИ БАШЕННОЙ ГРАДИРНИ НА ЕЁ ОХЛАДИТЕЛЬНУЮ МОЩНОСТЬ

Испарительные градирни широко применяются в энергетической, металлургической, химической и других отраслях производства. Её охлаждающая способность во многом определяет важные показатели предприятий, таких как: мощность турбины, расход топлива для выработки электроэнергии, качество вырабатываемой продукции[1] и т.д. К примеру, на тепловых электростанциях, повышение температуры воды, поступающей от градирни в конденсаторы на 1°C , уменьшает мощность турбины на 0,4 %[2].

Исследованиям проблем повышения эффективности градирен посвящено большое количество работ, однако, проблема недоохлаждения воды остается актуальной. Востребованность в резервах охлаждающей способности проявляется в летнее время года, при высокой температуре воздуха, поступающего в аппарат.

Стоит отметить, что одним из немаловажных характеристик является распределение потока воды в объеме аппарата. В громоздких сооружениях, к которым относится градирня, присущи неравномерности распределения потока, что приводит к появлению плохо орошаемых или неорошаемых зон, характеризующее уменьшение поверхности теплообмена. В тоже время, распределению потока воды для ее охлаждения в литературе уделено недостаточное внимание. Поэтому, возникает задача оценки величины неравномерности распределения потока, а также оценки степени влияния неравномерности на интенсивность испарения. В докладе рассматривается вопрос экспериментального определения неравномерности распределения плотности орошения по сечению аппарата, разработка метода определения влияния неравномерности на интенсивность процесса массопереноса в ба-

шенной градири, а также разработка метода оценки характеристики градири, основанной на использовании неравномерности плотности орошения по секциям.

Экспериментальное определение неравномерности распределения плотности орошения по сечению проводилась на примере башенной градири БГ-2600 с плотностью орошения 2600 м^2 . В определенных точках каждой секции аппарата, замерялось время наполнения емкости водой, затем вычислялась плотность орошения в соответствующих точках. Согласно полученным данным обнаружился значительный разброс – 33 % от среднего значения. По результатам эксперимента построена гистограмма выборочной плотности распределения плотности орошения, согласно которому выбран теоретический закон распределения – нормальный закон распределения.

Анализ влияния неравномерности на интенсивность массопереноса установлен с помощью статической функций распределения плотностей орошения $f(u)$ [3]. В результате, получена формула средней плотности орошения по сечению U , определен коэффициент массоотдачи h , формула среднего коэффициента массоотдачи аппарата H . Получена зависимость, доказывающая что интенсивность массоотдачи зависит от распределения плотности орошения по сечению аппарата. Результаты свидетельствуют о существенном влиянии на интенсивность массоотдачи неравномерности распределения плотности орошения в аппарате, при этом с увеличением дисперсии распределения, скорость процесса падает.

При удовлетворительных погодных условиях выполнен замер плотности орошения q и перепада температур ΔT , в разных точках 12-ти секций градири. Согласно полученным данным, предложен упрощенный способ оценки рабочей характеристики градири, основанный на использовании неравномерности плотности орошения по секциям. Способ представляет собой зависимость перепада температур ΔT от гидравлической нагрузки q аппарата. В итоге, получена рабочая характеристика градири по результатам анализа охлаждающей мощности секций.

Из полученных результатов следует, что в башенной градири наблюдается значительный разброс плотности орошения по сечению и при увеличении дисперсии распределения плотности орошения скорость процесса массоотдачи падает. Получена рабочая характеристика, определяющая охлаждающую мощность градири.

Библиографический список

1. Берман Л.Д. Испарительное охлаждение циркуляционной воды. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1949. 440 с.
2. Пономаренко В.С., Арефьев Ю.И. Градири промышленных и энергетических предприятий: справочное пособие / под общ. ред. В.С. Пономаренко. М.: Энергоатомиздат.: 1998. -376 с.: ил.
3. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учебное пособие / В. Е. Гмурман. – М.: Высшая школа, 2003. – 479 с.

*М.Н. Баева, аспирант; рук. Р.А. Ильин, к.т.н., проф.
(АГТУ, г. Астрахань)*

ПРОБЛЕМА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАТРАТ ТОПЛИВА НА ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ И ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ

Основными характеристиками эффективности работы тепловых электростанций (ТЭС) являются удельные расходы условного топлива на отпуск электрической и тепловой энергии. Снижение удельных расходов условного топлива (УРУТ) на отпуск электрической и тепловой энергии обеспечивает экономию затрат на производство энергии и повышает конкурентоспособность тепловых электростанций на рынке электроэнергетики [1].

Определение себестоимости электрической и тепловой энергии, производимой в раздельных специализированных теплоэнергетических установках (электрической - в конденсационных паротурбинных, газотурбинных, парогазотурбинных; тепловой - в котельных) не вызывает сложностей, поскольку расчет расхода топлива поддается простому учету. Проблема возникает при определении реальных топливных затрат на каждый вид энергии (электрической, тепловой), производимый в комбинированном теплофикационном цикле (когенерационном), что обусловлено не только термодинамической и физической особенностью данного цикла, но и механизмом формирования тарифов на энергоносители, учитывающим коммерческие интересы производителей и потребителей энергии. А устанавливаемые тарифы, к сожалению, не всегда являются экономически реальными, как например, при перекрестном субсидировании промышленного и коммунального теплового потребления, когда платят за энергию, получаемую от централизованных источников, в несколько раз дороже ее себестоимости [2].

В данной статье рассмотрены и проанализированы методы распределения затрат топлива на производство электрической и тепловой энергии. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1

Проанализированные методы	УРУТ на отпущенную электроэнергию, г/кВтч	УРУТ на отпущенное тепло, кг/Гкал
Метод раздельного производства энергии	342,3	139,3
Метод раздельного производства с отнесением всех затрат электроэнергии на собственные нужды на УРУТ на электроэнергию	366,4	123,3
Физический метод распределения затрат топлива	286,7	176,2
Физический метод с отнесением всех затрат электроэнергии на собственные нужды на УРУТ на электроэнергию	309,3	161,2

В современных условиях необходимо искать и переходить на новые методы распределения затрат топлива.

Библиографический список

- 1) Денисов В.И. Метод расчета экономически обоснованных тарифов на электрическую и тепловую энергию, вырабатываемую ТЭЦ // Электрические станции. 2005. №8. С. 16-23.
- 2) Яковлев Б.В. Распределение топливных затрат на электрическую и тепловую энергию, производимую ТЭЦ // Новости теплоснабжения. 2006. №3. С. 29-33.
- 3) РД 34.08.552-93. «Методические указания по составлению отчета электростанций и акционерного общества энергетики и теплофикации о тепловой экономичности оборудования» / Утв. департаментом электроэнергетики Минтопэнерго РФ 01.11.93; Разраб. АО «Фирма ОРГРЭС». – М.: СПО ОРГРЭС, 1993. – 124 с.
- 4) РД 34.08.552-95. «Методические указания по составлению отчета электростанций и акционерного общества энергетики и теплофикации о тепловой экономичности оборудования» / Утв. департаментом электроэнергетики Минтопэнерго РФ 24.11.95; Разраб. АО «Фирма ОРГРЭС». – М.: СПО ОРГРЭС, 1995. – 124 с. Изменение №1 к РД 34.08.552-95. - М.: СПО ОРГРЭС, 1998. – 15 с.
- 5) Калмыков М.В. О возможных подходах к методологии распределения затрат сжигаемого топлива на отпуск электрической и тепловой энергии // Энергетик. 2010. №6. С. 13-15.

*Е.О.Красавина, студ., А.А. Звезинцев, асп.,
рук. Л. В. Плотникова к.т.н., доц.(КГЭУ,Казань)*

ПРИНЦИП ТЕПЛООВОГО НАСОСА КАК СРЕДСТВО СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОЕМКОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРОЦЕССОВ РЕКТИФИКАЦИИ

Ректификация - это процесс разделения многокомпонентных смесей путём многократного испарения жидкости и конденсации паров со значительными затратами энергии, необходимой для разделения компонентов. Следовательно, проблема снижения энергоёмкости промышленных процессов ректификации является актуальной.

При разделении имеет место выход низкотемпературных вторичных энергоресурсов (ВЭР), которые могут найти практическое применение. В частности, в ректификационной установке возможно использовать ВЭР при реализации принципа теплового насоса.

В традиционной схеме разделения в РК наблюдаются большие потери от необратимости вследствие больших разностей температур в ребойлере и теплопотери в конденсаторе. Снизить энергетические потери возможно включением схем с тепловым насосом (ТН) [1]. Применяются схемы разделения с ТН с промежуточным теплоносителем (рис. 1). В итоге имеет место экономия греющего теплоносителя в кипятильнике за счет использования теплоты верхнего продукта. Излишняя температурная депрессия в РК покрывается дополнительным сжатием паров, отчего происходит значительный перегрев паров и дополнительные потери в ребойлере из-за увеличенного температурного напора. В этом случае в установку следует включить промежуточный кипятильник. Более экономичной и наименее металлоёмкой может быть схема установки с одним теплообменным аппаратом в составе ТН (рис. 2).

Выбор схемы зависит от параметров ВЭР. Применение всех элементов теплового насоса усложняет и удорожает конструкцию. Следовательно, актуальна задача выбора целесообразного варианта, в связи с чем возникают предпосылки для создания ректификационной установки новой конструкции, которая позволит сэкономить энергоресурсы и материальные затраты.

Ректификационная колонна может быть выполнена в виде теплообменного аппарата типа «труба в трубе», причем пространство внутри труб ректификационной колонны может быть заполнено насадкой а стенки труб иметь гофрированную форму [2]. В ней также планируется

реализовать принцип теплового насоса открытого цикла, используя вторичную энергию сжатых паров верхнего продукта.

Таким образом, при использовании принципа теплового насоса, появляется возможность минимизировать затраты энергии при ректификации за счет собственных ресурсов установки.

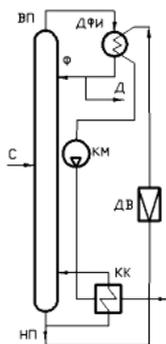


Рис. 1. Ректификационная колонна с ТН с применением промежуточного теплоносителя: С – сырьё; Ф – флегма; ВП – верхний продукт; НП – нижний продукт; Д – дистиллят; КК – конденсатор-кипятильник; ДФИ – дефлегматор-испаритель; КМ – компрессор; ДВ – дроссельный клапан.

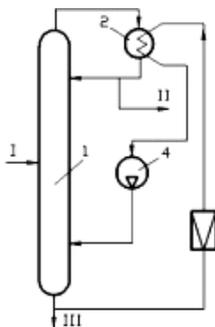


Рис. 2. Ректификационная колонна с ТН на нижнем продукте: 1 – ректификационная колонна; 2 - дефлегматор 3 – ребойлер; 4 – компрессор; I – разделяемая смесь; II – верхний продукт; Ш- нижний продукт.

Библиографический список

1. Янговский Е.И., Левин Л.А. Промышленные тепловые насосы. -М.: Энергоатомиздат, 1989. – 128 с.
2. Ефремов Г.И., Александров И.А., Плотникова Л.В., Галибина Г.В. Ректификационная установка // Патент России № 2393904. 2010. Бюл. № 1.

*Д.Г. Сотников, асп.; рук. А.Н. Мракин, к.т.н., доц.
(СГТУ имени Гагарина Ю.А., г. Саратов)*

ЭНЕРГОХИМИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА НА БАЗЕ РЕАКТОРА ЧАСТИЧНОГО ОКИСЛЕНИЯ

На сегодняшний день на малых и средних месторождениях углеводородов остро стоит проблема утилизации нестабильного конденсата, поскольку стабилизация и транспортировка его экономически целесообразна на крупных месторождениях или на специальных предприятиях [1]. Вместе с тем на промысле для обеспечения собственных нужд требуется значительное количество электрической энергии и метанола. Поэтому одним из возможных путей решения обеих задач является создание энергохимических установок на базе реактора частичного окисления (РЧО) конденсата.

Такие установки надо выполнять в блочном исполнении с учетом инфраструктурных ограничений, вариативности производительности и надежности работы. В полной мере этим требованиям отвечают мобильные газотурбинные установки контейнерного исполнения.

В [2] представлены тепловые схемы установок на базе РЧО природного газа интегрированные с ГТУ для получения синтез-газа. Однако его химический потенциал полностью используется для выработки электрической энергии, и использовать его как технологический газ не представляется возможным. В работе [3] РЧО в качестве исходного сырья также потребляет природный газ, но получаемый синтез-газ направляется на синтез метанола. При этом процессы, протекающие как в РЧО, так и в блоке синтеза являются каталитическими, а сама тепловая схема весьма сложная для применения в промысловых условиях.

Учитывая вышеизложенное и специфику удаленных нефтегазоконденсатных месторождений, нами предлагается энергохимическая установка с РЧО нестабильного конденсата для получения электрической энергии и синтеза метанола для покрытия собственных нужд. Тепловая схема такой установки представлена на рис. 1.

Установка работает следующим образом. Сжатый воздух после компрессора 1 поступает в РЧО 2, куда подается для сжигания газовый конденсат. Продукты неполного горения конденсата (синтез-газ) поступают в газовую турбину 3, где, расширяясь, совершают работу, вращая вал электрогенератора 4 и вырабатывая электроэнергию. При этом синтез-газ понижает свое давление и температуру. Уходящий газ подается в котел-утилизатор 5, где его тепло может полезно использоваться, например, для нагрева воды или генерации пара, а сам газ при

этом охлаждается до температуры необходимой для дальнейшего синтеза метанола в блоке получения метанола 6.

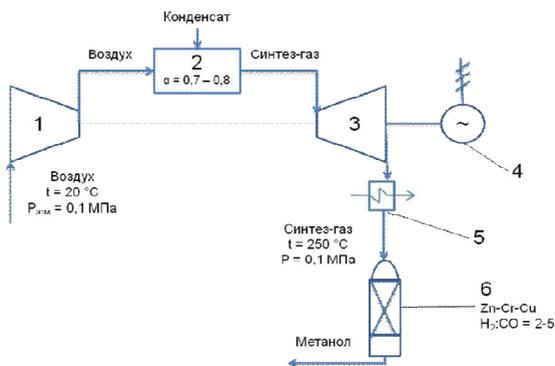


Рис. 1. Принципиальная технологическая схема энергохимической установки с получением электрической энергии и метанола: 1 – осевой компрессор; 2 – РЧО; 3 – расширительная газовая турбина; 4 – электрогенератор; 5 – котел-утилизатор; 6 – блок получения метанола.

В качестве исходных данных принято: газовый конденсат Коптевского месторождения (Саратовская область) следующего состава, % мольн.: $\text{CH}_4 = 16,1$, $\text{C}_2\text{H}_6 = 3,1$, $\text{C}_3\text{H}_8 = 1,6$, $i\text{-C}_4\text{H}_{10} = 1,1$, $n\text{-C}_4\text{H}_{10} = 1,0$, $i\text{-C}_5\text{H}_{12} = 0,5$, $n\text{-C}_5\text{H}_{12} = 0,9$, $\text{C}_6\text{H}_{14+} = 73,8$, $\text{CO}_2 = 1,8$, $\text{CH}_3\text{OH} = 0,1$; коэффициент избытка воздуха $\alpha = 0,75$; низшая теплота сгорания $Q_p^H = 45$ МДж/кг. Расчеты по методике [4] дали следующие результаты: состав продуктов реакции, % мольн.: $\text{H}_2 = 8$, $\text{CO} = 4$, $\text{H}_2\text{O} = 11$, $\text{CO}_2 = 11$, $\text{N}_2 = 66$; теоретическая температура $t_{\text{теор}} = 1892^\circ\text{C}$; удельный выход газов на 1 кг конденсата, $\text{м}^3/\text{кг}$: $\text{H}_2 = 0,862$, $\text{CO} = 0,364$, $\text{H}_2\text{O} = 1,123$, $\text{CO}_2 = 1,177$, $\text{N}_2 = 6,94$.

Библиографический список

1. Долотовский И.В., Ларин Е.А., Долотовская Н.В. Системный анализ энергетического комплекса предприятий подготовки и переработки газа. Саратов: Буква, 2014. 326 с.
2. Цанев С.В., Буров В.Д., Ремезов А.Н. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций: Учебное пособие для вузов / Под ред. С.В. Цанева М.: Издательство МЭИ, 2009. 584 с.
3. Аминов Р.З., Шкрет А.Ф., Гудым А.А., Гариевский М.В. Эффективность получения синтез-газа в конвертере комбинированной энергохимической установки // Проблемы совершенствования топливно-энергетического комплекса. Сб. науч. тр. Вып. 5. Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 2008. С. 123-134.
4. Тепловые и атомные электрические станции: Справочник / Под общ. Ред. В.А. Григорьева и В.М. Зорина. М.: Энергия, 1982. 624 с.

*Н.В. Мнушкин, асп.; рук. В.И. Игонин, д.т.н., профессор
(ВоГУ, г. Вологда)*

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ БАЛАНС ТЕПЛОГЕНЕРАТОРА

Разработка обобщенных показателей, позволяющих проводить оценку их энергопотребления и стоимости является весьма актуальной проблемой [1], [2].

В данной работе экспериментально-расчетным методом получен удельный показатель диссипации энергии для электродного теплогенератора. Разработанный коэффициент позволяет определять и сравнивать эффективность энергопреобразования в разных устройствах диссипативного типа.

Данная работа осуществляется с целью разработки методики получения пространства возможного энергетического состояния любых теплотехнических, теплоэнергетических и теплотехнологических систем.

Для исследований выбран источник теплоты в лабораторно-вычислительном комплексе «Децентрализованная система отопления с электродным теплогенератором».

Представим энергетический баланс теплогенератора (рис. 1).

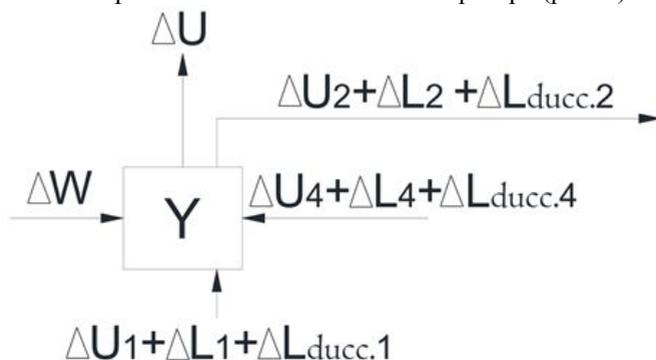


Рис. 1. – Энергетический баланс теплогенератора в случае электротермомеханического способа отопления.

Y – функционал теплогенератора; ΔW – поступление электроэнергии в теплогенератор; ΔU_i – потоки внутренней энергии теплоносителя; ΔL_i – потоки механической энергии теплоносителя; $\Delta L_{diss.i}$ – потоки диссипации механической энергии теплоносителя; ΔU – поступление теплоты от горячего источника в помещение с наружной поверхности теплогенератора.

Определим эффективность накопления энергии для электродного теплогенератора. Организуем удельный показатель, который поможет

охарактеризовать удельную диссипацию энергии $K_{y.д.э.}$, Дж/°С из соотношений [1], [2], формулой (1):

$$K_{y.д.э.} = \frac{\Delta U}{t_n} \quad (1)$$

где ΔU – поступление теплоты от горячего источника в помещение (2), Дж,

t_n – температура наружной поверхности теплогенератора, °С.

$$\Delta U = \Delta U_{дисс.1} + \Delta U_{дисс.2} \quad (2)$$

где $\Delta U_{дисс.1}$ – сумма диссипации механической энергии теплоносителя (3), Дж;

$\Delta U_{дисс.2}$ – потери тепловой энергии с поверхности теплогенератора в воздух помещения (4), Дж.

$$\Delta U_{дисс.1} = \sum \Delta L_{дисс.} \quad (3)$$

где $\Delta L_{дисс.}$ – потоки диссипации механической энергии теплоносителя (на основе формулы Дарси-Вейсбаха), Дж.

$$\Delta U_{дисс.2} = S \cdot q \quad (4)$$

где S – площадь поверхности теплогенератора, м²;

q – плотность тепловой энергии, Вт/м².

Плотность тепловой энергии определена экспериментально с помощью измерителя плотности теплового потока ИПП-2.

Библиографический список

1. **Мнушкин, Н.В.** Особенности системного анализа энергетической установки через её удельные характеристики. Н.В. Мнушкин, В.И. Игонин. Теплоэнергетика. Энергия-2015. Десятая международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых, 21-23 апреля 2015 г., г. Иваново: материалы конференции. – Иваново: ИГЭУ, 2015. – В 7 т. Т. 1 – С.48-50.
2. **Мнушкин, Н.В.** Иллюстративность неравновесной динамики моделирования энергетических систем с диссипативными составляющими. Н.В. Мнушкин, В.И. Игонин. Журнал "Современные наукоёмкие технологии". – 2015. – №1 (часть 1). – С. 23-30.

*В.Э. Зинуров, А.И. Хафизова, студенты; рук. В.И. Круглов,
к.т.н., доц.
(КГЭУ, г.Казань)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТЕЙ ОТКАЗА ЭЛЕМЕНТОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ КОНТРОЛЯ ЕГО СОСТОЯНИЯ

При оценке существенности отдельных контролируемых параметров без назначения весовых коэффициентов можно воспользоваться результатами расчета вероятностей отказа контролируемых параметров. Известно, что статистическая вероятность отказа $q_i^c(t)$ для i -го элемента технической системы определяется из соотношения:

$$q_i^c(t) = \frac{n_i(t)}{N(t)},$$

где $n_i(t)$ – количество отказов i -го элемента за время t ; $N(t)$ – количество отказов всех элементов за время t .

С другой стороны количество отказов i -го элемента за время t можно определить по формуле

$$n_i(t) = \frac{t}{T_{icp}},$$

где T_{icp} – среднее время наработки на отказ i -го элемента.

Общее количество отказов за время $t \sum_{i=1}^N n_i(t)$ можно выразить в виде $\sum_{i=1}^N (t : T_{icp})$. Следовательно, можно определить статистическую вероятность отказа для системы через среднее время наработки на отказ из выражения

$$q_i^c(t) = \frac{1}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{T_{icp}}}. \quad (1)$$

Предлагается для получения более объективных результатов подставить в выражение (1) вместо $T_{icp} T_i(t)$. Тогда:

$$q_i(t) = \frac{1}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{T_i}}, \quad (2)$$

где $T_i(t)$ – прогнозируемая величина остаточного ресурса по i -му параметру (элементу) в момент времени контроля t .

При этом для оценки $q_i(t)$ используется только интервал времени от текущего момента до ближайшего момента прогнозируемого отказа одного из элементов (параметров). Это позволяет учитывать только тот период эксплуатации, который начался с момента последнего ремонта или регулировки параметров двигателя.

*Л.А. Кашипова, асп., А.И. Фаздалова, магистрант;
рук. Л. В. Плотникова к.т.н., доц.
(КГЭУ, г.Казань)*

МЕТОДИКИ АНАЛИЗА ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ЦЕЛЬЮ ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМ РЕКУПЕРАЦИИ ВТОРИЧНОЙ ЭНЕРГИИ

Промышленные предприятия являются крупными потребителями энергетических ресурсов. Поэтому, в целях рационализации их использования наибольшее значение приобретает вопрос повышения энергоэффективности таких предприятий. Перспективным направлением решения данного вопроса является организация систем рекуперации вторичной энергии. Для подбора наиболее энергоэффективной системы рекуперации необходимо использовать актуальные методики анализа. Такими методиками являются анализ структурной организации исходных производств, располагающих вторичными энергоресурсами, и организованных систем рекуперации, а также анализ тепловой и эксергетической эффективности. В комплексе они представляют собой вариацию системного анализа.

Структурный анализ позволяет установить взаимосвязи между элементами схем производств, между параметрами входных и выходных потоков для каждого элемента и схемы в целом, а также определить наилучшую последовательность расчета схем [1] с целью дальнейшего выбора эффективных энергосберегающих мероприятий, реализуемых, в частности, в виде систем рекуперации вторичной энергии с включением теплоутилизационного оборудования, такого как котлы-утилизаторы, повышающие и понижающие трансформаторы тепловой энергии, в частности, тепловые насосы, теплообменные аппараты различного типа, в частности, на тепловых трубах и т.п. В качестве вторичной энергии могут выступать такие тепловые потоки, как дымовые газы, конденсат, отработанный пар, нагретая техническая вода, тепло-

та продукции. Также выделяют горючие вторичные энергетические ресурсы (ВЭР) и ВЭР избыточного давления.

Результаты, полученные в результате структурного анализа, позволяют провести упрощенный последовательный расчет тепловой и эксергетической эффективности промышленной теплоэнергетической системы.

Для осуществления структурного анализа была разработана программа на языке C# в среде Microsoft Visual Studio, в основе которой лежит алгоритм перемножения булевых матриц [2].

Проведение анализа тепловой и эксергетической эффективности, включающего определение для каждого потока схемы таких параметров, как теплота, термомеханическая эксергия (в частности, тепловая и механическая), химическая эксергия, а также определение соответствующих КПД элементов схемы, позволяет оценить степень термодинамического совершенства технологической схемы производства, выявить потери от необратимости для всей системы и для ее отдельных элементов, произвести оценку эффективности элементов в составе системы, определить величину технически работоспособной энергии.

Существующая на настоящий момент методика организации систем рекуперации ВЭР для технологических схем производств позволяет выбирать один вариант модернизации схемы с учетом определенных критериев - значений КПД элементов исходной схемы, величин теплоты Q и эксергии E потоков, не находящих применение в исходной схеме и значений коэффициента соотношения $K=E/Q$. Однако данные критерии неоднозначны, так как сложно определить, использовать ли в качестве утилизируемого поток с большими Q и E или с большим $K=E/Q$. То есть важно учесть соотношение планируемых к утилизации потоков с возможностью их «принятия» в «слабом месте» в имеющемся количестве G . Обычно выбранный по приведенным критериям поток ВЭР направляется для утилизации в аппарат с наименьшим КПД. Данный подход не гарантирует, что выбран наиболее энергоэффективный вариант. Это обусловлено тем, что при выборе «места» утилизации не учитывается «характер» утилизации, не учитывается соотношение КПД участка исходной схемы – потребителя ВЭР и КПД установки утилизации. То есть нельзя однозначно сказать, что наиболее эффективным вариантом является вариант утилизации ВЭР на участке с наименьшей энергоэффективностью.

Использование методики структурного анализа при проведении термодинамических расчетов исходной системы и системы рекуперации вторичной энергии позволит осуществлять быстрый поиск оптимального варианта системы рекуперации; а также, на основе по-

лучаемых данных о взаимозависимостях параметров ВЭР и КПД системы, произвести уточнение критериев выбора варианта системы рекуперации ВЭР.

Библиографический список

1. Назмеев Ю.Г., Коначина И.А. Организация энерготехнологических комплексов в нефтехимической промышленности. М.: Издательство МЭИ, 2001. 364 с.
2. Кашипова Л.А., Звезгинцев А.А., Маров В.Н., Плотникова Л.В. Оценка структурной организации систем рекуперации в.э.р. // Материалы VII-ой Международной школы-семинара молодых ученых и специалистов "Энергосбережение - теория и практика". - М.: Издательский дом МЭИ, 2014 (материалы доклада).

*В.В. Мясникович, рук. В.А. Седнин, д.т.н., проф.
(БНТУ, г.Минск)*

ВЫБОР КОНСТРУКЦИИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА В СХЕМЕ ГАЗОТУРБИНОЙ УСТАНОВКИ С ВНЕШНИМ ПОДВОДОМ ТЕПЛОТЫ

Ранее проведенные исследования показали высокую эффективность комбинированных энергетических установок на базе парогазовой технологии с внешним подводом теплоты, работающих на биомассе [1-2]. Высокотемпературный теплообменный аппарат (рекуператор) является неотъемлемой составляющей в исследуемой схеме и требует дополнительной конструктивной проработки, так как к теплообменнику предъявляются высокие эксплуатационные требования [3].

В зависимости от материала рекуператоры делятся на металлические и керамические. Важное преимущество керамического рекуператора – устойчивая работа при высоких температурах нагрева воздуха. Пожалуй, это единственное преимущество данного исполнения теплообменника, так как недостатки, имеющиеся у керамического теплообменника, в контексте исследуемой схемы неприемлемы. Прежде всего – это низкая газоплотность рекуператора, что не допускается для газотурбинного цикла. Остальные недостатки: высокая стоимость керамических элементов, сложность изготовления, монтажа, обслуживания и ремонта, хрупкость элементов, низкий коэффициент теплопередачи, громоздкость и необходимость в обустройстве бортовых и т. д. [4].

Среди большого многообразия типов исполнений металлических рекуператоров [5] в качестве основной конструкции был принят трубный рекуператор. Он обладает абсолютной газоплотностью, комплектуется из труб с широким диапазоном диаметров (для решения тех или

иных задач), прост в изготовлении и обслуживании, имеет удовлетворительные масса-габаритные параметры.

Однако металлические рекуператоры трубного типа не способны выдерживать высокие температуры, что является их недостатком; для решения этой проблемы поверхности нагрева должны быть выполнены из высоколегированной жаропрочной стали. Повышение температуры нагрева воздуха – столбовой путь увеличения эффективности работы газотурбинной установки. Поэтому использование более дорогих материалов для изготовления теплообменника полностью оправдано. Первые ряды труб по ходу горячих дымовых газов можно выполнять из жаропрочной стали большего диаметра, что также увеличит теплосъем с поверхности теплообмена, а последние ряды труб по ходу дымовых газов для удешевления теплообменника можно выполнить из обычной стали.

Второй проблемой трубного высокотемпературного теплообменника является то, что для труб требуется компенсация температурных расширений, при том, что разные ряды труб нагреваются по-разному. Здесь также можно использовать трубы большего диаметра в горячей части теплообменника, использовать изогнутые S-образные трубы или петлевые трубы [4].

Таким образом, была выбрана наиболее приемлемая конструкция высокотемпературного теплообменного аппарата для газотурбинной установки с внешним подводом теплоты. Предварительные расчеты показывают, что коэффициенты теплоотдачи от дымовых газов к стенке и от стенки к воздуху соизмеримы и ориентировочно равны, поэтому для уменьшения габаритов теплообменника (что также является важным параметром для реализации исследуемой схемы) следует производить интенсификацию теплообмена как внутри трубного пространства, так и в межтрубном пространстве. Дальнейшие исследования, учитывая вышесказанное, будут посвящены исследованию технических решений по интенсификации теплообмена и снижению габаритов высокотемпературного теплообменного аппарата.

Библиографический список

1. Седнин, В.А. Комбинированная энергетическая установка на биомассе / В.А. Седнин, А.В. Седнин, А.И. Левшеня, Д.Л. Кушнер // Энергия и менеджмент. - № 3. – 2012. – С. 12-17.
2. Седнин, В.А. Повышение эффективности энергетических установок на биомассе / В.А. Седнин, А.И. Левшеня // Энергия и менеджмент. - № 1. – 2014. – С. 24-29.
3. Tristan Vincent, Linking a Fluidized Bed Combustion Reactor with an Externally Fired Micro Gas Turbine. Dissertation to attain the academic title PhD from the faculty of Mechanical Engineering and Marine Technology University of Rostock

[Электронный ресурс]. Режим доступа: http://rosdok.unirostok.de/file/rosdok_derivate_000000003878/Dissertation_Vincent_2009.pdf 27.02.2012

4. Тебеньков Б.П. Рекуператоры для промышленных печей. М., «Металлургия», 1975. - 296 с.

5. Промышленные теплотехнологии: Методики и инженерные расчеты оборудования высокотемпературных теплотехнологий машиностроительного и металлургического производства: Учеб./ В. И. Тимошпольский, А. П. Несенчук, И. А. Трусова; Под общ. ред. А. П. Несенчука, В. И. Тимошпольского. – Мн.: Выш. шк., 1998. – 422 с.

*Д.Е. Кудряшова студ., А.Г. Сахарова студ.;
рук. С.В. Васильев к.т.н. доцент,
рук. А.В. Банников к.т.н. доцент
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ ПРИНЦИПИАЛЬНЫХ СХЕМ КОГЕНЕРАЦИОННЫХ УСТАНОВОК

Принципиальная схема – это графическое изображение основных элементов установки и их связей, дающее детальное представление о принципах работы данной системы.

Основной целью когенерационных установок является обеспечение потребностей в электрической и тепловой энергии при рациональном использовании топливно-энергетических ресурсов. Когенерационные установки предназначены для одновременного производства тепловой и электрической энергии, при этом один из видов выработанной энергии является приоритетным. Так, например, в установке, основанной на выработке электроэнергии, тепловая энергия отбирается из системы выхлопов или от масляного радиатора, при этом когенерационная установка работает параллельно с другим источником тепла.

В когенерационных установках электрическая энергия образуется при вращении электрогенератора посредством поршневого двигателя внутреннего сгорания, тепла возникающее в ДВС, через систему охладителей двигателя, масла и продуктов сгорания в дальнейшем эффективно используется, производительность КГУ находится в пределах 80 – 90%.

Главным топливом для сжигания в когенерационных установках является природный газ. Однако в последнее время встречаются установки, работающие на биогазе, свалочном газе, канализационном газе или при сжигании альтернативных видов топлива, например, рудничный газ, попутный газ и т.п.

Когенерация минимизирует потери при транспортировке энергии, поскольку, как правило, энергогенерирующее оборудование установлено в непосредственной близости от потребителя.

Проанализировав виды когенерационных установок и их образующие элементы, авторами работы были определены базовые подходы к построению их принципиальных схем на основе подсистем КГУ, отвечающих за воздухо-, водо-, масло-, топливо- и электроснабжение. Любая когенерационная установка состоит из четырех основных частей: первичный двигатель, электрогенератор, система утилизации тепла, система контроля и управления. В результате анализа выявлено, что главным отличительным признаком КГУ является тип используемого двигателя.

*А.С. Копосов, студ.; рук-ли А.В. Банников,
к.т.н., доц.; С.В. Васильев, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ПАРОВЫХ ТУРБИН В КОГЕНЕРАЦИОННЫХ УСТАНОВКАХ

Перевод котельных в режим работы мини-ТЭЦ позволяет решать основную задачу теплофикации – выработку электроэнергии на базе теплового потребления. Выработанная электроэнергия при этом используется как для покрытия электрических нагрузок предприятия, так и для собственных нужд котельной. В качестве паросиловых машин чаще всего используются паровые и винтовые турбины. Как правило, котельная именуется мини-ТЭЦ при суммарной выработке электрической энергии не более 3... 4 МВт.

В качестве котельных агрегатов на мини-ТЭЦ применяют в основном паровые котлы среднего давления.

Наибольшую инвестиционную привлекательность по сравнению с возможными другими вариантами когенерационных установок имеют мини электростанции с паровыми турбинами малой и средней мощности [2]. При этом производимой энергии в большинстве случаев бывает достаточно для полного покрытия собственных нужд котельной и некоторого экспорта электроэнергии.

При когенерации в котельных с использованием лопаточных паровых турбин малой и средней мощности расход условного топлива на выработку электроэнергии составляет приблизительно $0,15 \text{ кг} / (\text{кВт} \cdot \text{ч})$ [4].

В работе автором рассмотрены основные типы паровых турбин, выпускаемых отечественными и зарубежными фирмами, которые можно отнести к трем основным типам:

- конденсационные паровые турбины;

- конденсационные паровые турбины с регулируемым отбором пара;
- турбины с противодавлением.

В Российской Федерации на современном рынке представлены отечественные и зарубежные паротурбинные мини-ТЭЦ на базе блочных турбогенераторов с электрической мощностью от 0,1 до 4 МВт и тепловой мощностью от 1,1 до 27 Гкал/ч [1]. В последние годы выпуск таких турбин освоен на ряде российских предприятий: Калужском турбинном заводе, Кировском и Пролетарском заводах в Санкт-Петербурге и др.

Оптимальный уровень централизации теплоснабжения и повышения концентрации производства теплоты на ТЭЦ должен определяться, исходя из конкретных условий [3].

Таким образом, перевод промышленных или промышленно-отопительных котельных в режим работы мини-ТЭЦ с паровыми турбинами позволяет полезно использовать перепад давления и получать при этом попутную электрическую энергию, используемую как для собственных нужд котельной, так и для покрытия электрических нагрузок предприятия, стоимость которой гораздо ниже по сравнению с централизованными поставщиками.

Библиографический список

1. Приложение №3 к программе «Модернизация электроэнергетики России на период до 2020 года» [Электронный ресурс]. Анализ мирового опыта развития передовых технологий в теплоэнергетике. Режим доступа: http://nnhpe.spbstu.ru/wpcontent/uploads/2015/01/Analiz_mirovogo_opyta_razvitiya_peredovyh_tehnologiy.pdf
2. Проект: «Энергосбережение в электроэнергетике с использованием турбин малой и средней мощности», ЗАО НПВП "Турбокон", Калуга, 2001
3. Соколов Е. Я. Теплофикация и тепловые сети: учебник для вузов/ Е. Я. Соколов 7-е издание – М.: издательство МЭИ, 2001. – 472 с.

*А.О.Беляков, студ.; рук. С.В. Васильев, к.т.н., доц.;
О.Н. Махов, к.т.н., доц.,
(ИГЭУ, г. Иваново)*

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТА ТЕПЛОВОЙ СХЕМЫ КОТЕЛЬНОЙ С ПАРОВЫМИ И ВОДОГРЕЙНЫМИ КОТЛАМИ В MS EXCEL

Процесс расчета тепловой схемы котельной всегда был и остается актуальной задачей при проектировании любого источника тепловой энергии, а также при расчете возможных режимов работы самой ко-

тельной. Эта задача может решаться разными способами. Сейчас на рынке программного обеспечения большой выбор программ способных в режиме конструктора воссоздать практически любую тепловую схему, как котельной, так и ТЭЦ. Однако стоимость таких программ довольно высокая.

Если рассматривать одну или несколько типовых тепловых схем котельных, то весь расчет можно выполнить и самостоятельно. Программой, в которой можно выполнить такой расчет, может быть офисная программа MSExcel или любая другая математическая программа.

Нами создана такая программа расчета тепловой схемы котельной с паровыми и водогрейными котлами с возможностью выбора основного оборудования из встроенной базы данных (рисунок 1). Также есть список населенных пунктов, который связан с актуализированной климатологической базой данных из действующего свода правил. Для удобства приведены таблицы воды и водяного пара и сама принципиальная тепловая схема котельной.

Все расчеты производятся автоматически при изменении хотя бы одного из исходных параметров.

№ п/п	Исходные данные	Исходные параметры	Исходные значения	Исходные единицы	Исходные формулы	Исходные значения
1	Температура воды на входе котельной	$t_{вх}$	100	°C		100
2	Температура воды на выходе котельной	$t_{вых}$	120	°C		120
3	Температура пара на выходе котельной	$t_{п}$	150	°C		150
4	Температура воды на входе котельной	$t_{вх}$	100	°C		100
5	Температура воды на выходе котельной	$t_{вых}$	120	°C		120
6	Температура пара на выходе котельной	$t_{п}$	150	°C		150
7	Температура воды на входе котельной	$t_{вх}$	100	°C		100
8	Температура воды на выходе котельной	$t_{вых}$	120	°C		120
9	Температура пара на выходе котельной	$t_{п}$	150	°C		150
10	Температура воды на входе котельной	$t_{вх}$	100	°C		100
11	Температура воды на выходе котельной	$t_{вых}$	120	°C		120

Рисунок 1. Скриншоты программы с исходными и расчетными данными.

Созданная программа хороша тем, что в ней можно смоделировать любой фактический режим работы котельной. Плюсом программы является ещё и то, что можно самостоятельно скорректировать программу на свое усмотрение, а также внести свои изменения в расчет и

в интерфейс программы. Добавить дополнительные базы данных. Увязать программу с сайтами производителями основного и вспомогательного оборудования котельных. Все это развивает индивидуальное творчество и мышление, а также позволяет студенту, или другому пользователю, отследить порядок расчета, расчетные формулы, что в закрытых программах отсутствует.

Библиографический список

1. Бузников Е.Ф., Родатис К.Ф., Берзиньш Э.Л. Производственные и отопительные котельные.-М.:Энергоатомиздат,1984.-248с.
2. СТО 02494733.4-02-2006.Расчет тепловых схем котельных.СантехНИИпроект, 2006.www.complexdoc.ru.
3. Расчет тепловых схем теплогенерирующих установок: методические указания к курсовой работе / Сост. В.Д. Гладилин, А.Н. Хуторной.- Омск: Изд-во СибАДИ, 2010.- 40 с.
4. СП 89.13330.2012.Котельные установки. Актуализированная редакция СНиП 2-35-36.-М.ООО «Аналитик», 2012.-94с.
5. Попырин Л.С. Математическое моделирование и оптимизация теплоэнергетических установок.- М.: Энергия, 1978.- 416 с.
6. ДжинджерСаймон. Расчеты и анализ данных в Excel./ СаймонДжинджер. – М.: НТ Пресс, 2009. – 512 с.
7. Кашаев С.М. Программирование в MicrosoftExcel на примерах./ С.М. Кашаев. – М.: ВHV, 2007. – 320 с.

*А.С. Сафронов, маг.; рук. В.К. Пыжов, к.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ТРЕБОВАНИЯ К МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ «МИКРОКЛИМАТА» ПОМЕЩЕНИЯ

Наряду с вопросом энергосбережения актуальными становятся исследования по созданию комфорта для персонала на рабочих местах. Для поддержания требуемых метеорологических параметров воздуха для человека в различных помещениях при сохранении им работоспособности используются только системы кондиционирования воздуха (СКВ).

Однако в тех помещениях, где работник выполняет монотонную работу, связанную, прежде всего, с нервной нагрузкой, происходит снижение производительности по причине утомления и невнимательности. Например, нарушения в процессе управления сложными технологическими процессами на ТЭЦ, ТЭС и АЭС могут привести к неоправданным последствиям.

Данная проблема может быть решена при использовании систем кондиционирования «динамического микроклимата» (СКДМ). Эти системы способны создавать амплитудные колебания параметров воз-

духа, прежде всего, температуры и влажности, которые, в свою очередь, «не выпускают» работника из комфортного ему состояния. Решением данной задачи занимались несколько учёных. В.В. Ловцов и Ю.Н. Хомуцкий рассчитали температурный режим в ограждающих конструкциях и в помещении при кондиционировании динамического микроклимата [1]. А.А. Рымкевичем была предложена термодинамическая модель систем кондиционирования воздуха [2], а А.В. Гараниным впервые рассчитаны параметры допустимого динамического микроклимата и приточного воздуха для промышленного здания, а также разработаны алгоритмы и составлены математические модели, учитывающие некоторые внешние и внутренние воздействия на здание [3].

Однако в указанных работах не учтены закономерности и характер влагопереноса и воздухообмена в объеме помещения при создании динамического микроклимата. По этой причине исследования в данной области следует продолжать.

Необходимо определить все требования к математической модели создания «динамического микроклимата» трёхмерного помещения с введением уравнений влагопереноса и уравнений, описывающих развитие воздушных потоков в помещении.

Целью работы является создание системы уравнений, учитывающей динамические процессы во всех элементах исследуемого помещения, а также элементах системы кондиционирования, поддерживающих «динамический микроклимат».

А.В. Гараниным [3] в основе своего исследования было взято уравнение сохранения энергии (1). Было добавлено к нему уравнение сохранения массы влаги (2). Полученная система уравнений теплового и материального баланса представлена ниже.

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dQ_{ок}}{dt} + \frac{dQ_{стен}}{dt} + \frac{dQ_{пол}}{dt} + \frac{dQ_{покp}}{dt} + \frac{dQ_{инф}}{dt} + \frac{dQ_{оборуд}}{dt} + \frac{dQ_{осв}}{dt} + \\ + \frac{dQ_{люд}}{dt} + \frac{dQ_{предм}}{dt} + \frac{dQ_{инсол}}{dt} + \frac{dQ_{уд.в-х}}{dt} + \frac{dQ_{СКВ}}{dt} + \frac{dQ_{вн.в-х}}{dt} = 0; (1) \\ \frac{dW_{инф}}{dt} + \frac{dW_{люд}}{dt} + \frac{dW_{уд.в-х}}{dt} + \frac{dW_{СКВ}}{dt} + \frac{dW_{вн.в-х}}{dt} = 0 (2) \end{array} \right.$$

где $\frac{dQ_{ок}}{dt}$, $\frac{dQ_{стен}}{dt}$, $\frac{dQ_{пол}}{dt}$, $\frac{dQ_{покp}}{dt}$, $\frac{dQ_{инф}}{dt}$, $\frac{dQ_{оборуд}}{dt}$, $\frac{dQ_{осв}}{dt}$, $\frac{dQ_{люд}}{dt}$, $\frac{dQ_{предм}}{dt}$, $\frac{dQ_{инсол}}{dt}$, $\frac{dQ_{уд.в-х}}{dt}$, $\frac{dQ_{вн.в-х}}{dt}$, $\frac{dQ_{СКВ}}{dt}$ — тепловой поток во времени соответственно через окна, стены, пол, покрытие, с инфильтрацией, от оборудования, освещения, людей, предметов, инсоляции, удаляемого и внутреннего воздуха, в СКВ.

$\frac{dW_{\text{инф}}}{dt}$, $\frac{dW_{\text{уд.в-х}}}{dt}$, $\frac{dW_{\text{вн.в-х}}}{dt}$, $\frac{dW_{\text{люд}}}{dt}$, $\frac{dW_{\text{СКВ}}}{dt}$ – массовый поток во времени соответственно инфильтрационного, удаляемого и внутреннего воздуха, поток влаги от людей, поток воздуха в СКВ.

Полная система уравнений математической модели динамического микроклимата будет представлена в докладе. Адекватность разрабатываемой математической модели предусматривается проверить путём тестирования каждого её уравнения в отдельности.

В настоящее время проводится тестирование уравнений модели, описывающих теплообменные процессы ограждающих конструкций и воздухообмен в помещении с использованием программного комплекса Comsol Multiphysics.

Библиографический список

1. **Ловцов, В. В.** Системы кондиционирования динамического микроклимата помещений [Текст] / В. В. Ловцов, Ю. Н. Хомуцкий. - Л.: Стройиздат, 1991.
2. **А. А. Рыжкович, М. Б. Халамейзер.** Управление системами кондиционирования воздуха. – М.: «Машиностроение», 1977. – 274 с.
3. **Гаранин, А. В.** Разработка систем динамического микроклимата и создание на их основе энергосберегающих режимов работы оборудования: дис. . канд. техн. наук: 05.14.04 / Гаранин Алексей Валентинович.—Иваново: Б.и., 2010.—209 л: ил.

*К.М. Иванова, магистрант; рук. А.В. Банников к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОСОБЕННОСТИ МЕТОДОВ РАСЧЕТА РЕКТИФИКАЦИОННЫХ УСТАНОВОК

Ректификация – процесс разделения растворов жидкостей на практически чистые компоненты путем испарения за счет возвращения в аппарат части получаемого продукта для осуществления многократного тепломассообмена между парами, движущимися противотоком, и жидкостью. Разделение смесей обеспечивается в ректификационных колоннах. [2]

Для оценки энергоэффективности при разделении многокомпонентных смесей, необходимо проанализировать известные методы расчета ректификационных установок и обозначить наиболее точный метод.

В ходе работы авторами был произведен расчет ректификационной колонны непрерывного действия тарельчатого типа с ситчатыми тарелками для разделения бинарной смеси бензол-толуол. Теоретическое число тарелок было рассчитано 2-мя графическими методами: метод Мак-Кабэ– Тиле и метод Понсона – Меркеля. Графический метод

наиболее нагляден и прост в применении по сравнению с аналитическим методом.

Первый метод (метод Мак-Кабэ – Тиле) сводится к построению диаграммы фазового равновесия с помощью рабочих линий укрепляющей и исчерпывающей части колонны. При нахождении числа тарелок ректификационной колонны данным методом обязательным элементом является диаграмма зависимости концентрации компонентов жидкой фазы от концентрации паровой фазы, характеризующая паро – жидкостное равновесие для разделения жидких смесей. Данная диаграмма строится с помощью законов Рауля и Дальтана, а также уравнения Антуана.[1]

Метод Мак-Кабэ – Тиле позволяет быстро, хотя и не совсем точно, определить теоретическое число тарелок ректификационной колонны. Несмотря на простоту этого метода, единственное допущение, которое при этом приходится делать, - это то, что соотношение между жидкостью и паром в адиабатической части колонны остается неизменным.

В ряде случаев удобно представить равновесие в диаграмме энтальпия-концентрация. При разделении смеси компонентов, у которых молярные или массовые теплоты испарения сильно отличаются, потоки пара и флегмы уже нельзя принимать постоянными по высоте колонны. Следовательно, рабочие линии становятся не прямыми. При построении кривых рабочих линий необходимо учитывать энтальпии пара и жидкости с изменением этих свойств. В этом случае целесообразно применить метод Понсона – Меркеля.[1]

В результате расчета было определено теоретическое число тарелок обоими методами: в первом случае 14 штук, во втором – 9. Так как метод Понсона – Меркеля наиболее точен, то целесообразнее применить его в расчетах ректификационных колонн.

Библиографический список

1. **Захаров В.М.** Ректификационные установки: Учеб.пособие/ ФГБОУВПО «ИГЭУ им. В.И.Ленина». – Иваново, 2013. – 272 с.
Плановский А.Н. Процессы и аппараты химической технологии, 5-е изд. – М.:Химия, 1968. – 846 с.

*С.В. Андреев, И.М. Окатов, М.С. Щербаков, студ.
рук. Е.Г. Авдюгинд.т.н., проф., В.В. Сенников к.т.н., доц.*

(ИГЭУ, г. Иваново)

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ И ПЛАНИРОВАНИЯ ЗАМЕН УЧАСТКОВ ТРУБОПРОВОДОВ

Основным мероприятием необходимым и достаточным до доведения показателей надежности (ПН) тепловых сетей (ТС) до нормативных значений является замена участков ТС с продолжительностью (периодом) эксплуатации, выработавших эксплуатационный ресурс. Интенсивность отказов трубопроводов в зависимости от продолжительности их эксплуатации определяется на основании зависимости по закону Вейбула. В соответствии с этой зависимостью 1 км трубопровода с паспортным сроком службы 25 лет в нормальных условиях эксплуатации отказывает не более 1 раза за 20 лет. Таким образом определяется начальная (паспортная) интенсивность отказов (отказ – это разновидность технологического нарушения или аварийной ситуации) для двух линейного трубопровода.

Энергоснабжающие организации, при разработке схем теплоснабжения поселений столкнулись с проблемой, когда почти все тепловые сети поселений имеют срок службы более 25 лет. При этом возникает необходимость в нахождении значительных единовременных инвестиций для замены трубопроводов тепловых сетей, выработавших свой эксплуатационный ресурс. Таким образом, администрация муниципальных образований остро сталкивается с проблемой планирования замен участков ТС, т.е. с распределением денежных средств по годам планирования.

Методика эффективного планирования замен трубопроводов путем оптимального выбора участков тепловой сети, нуждающихся в замене, с минимальными временными и финансовыми затратами разработана Кирюхиным С.Н.

Относительные оценки вкладов (весов) выше приведенных параметров в общий объем информации о состоянии ТС в целом, вычисляются следующим образом:

- оценка интенсивности (удельного количества) отказов j -го участка d -го диаметра вычисляется относительно начального (допустимого, паспортного) значения интенсивности отказов теплопроводов d -го диаметра (группы диаметров);

- оценка среднего времени восстановления j -го участка вычисляется относительно нормированного значения для теплопроводов d -го диаметра;

- оценка продолжительности эксплуатации j -го участка вычисляется относительно его паспортного срока службы;
- оценка расхода теплоносителя в расчетном режиме функционирования j -го участка вычисляется относительно суммарного расхода теплоносителя в ТС при расчетном режиме ее функционирования;
- оценка отключаемой при отказе j -го участка суммарной тепловой мощности нагрузки вычисляется относительно суммарной тепловой мощности нагрузки сети в целом;
- оценка приоритета замены d -го диаметра (группы диаметров).

Из приведенных выше параметров, определяется суммарная относительная оценка технического состояния j -го участка тепловой сети с учетом веса каждого технологического параметра. Принимается вес каждого параметра в общем объеме информации равнозначным.

Суммарная относительная оценка:

$$\bar{p}_j = w_{jn_d}^g \cdot (\bar{\lambda}_{1j} \cdot w_{1j} + \bar{t}_{2j} \cdot w_{2j} + \bar{\tau}_{3j} \cdot w_{3j} + \bar{g}_{4j} \cdot w_{4j} + \bar{g}_{5j} \cdot w_{5j});$$

Нормированная суммарная относительная оценка технического состояния:

$$\bar{Z}_j = \frac{\bar{p}_j}{\sum_{j=1}^j \bar{p}_j};$$

Целевая функция оптимальных замен участков тепловой сети:

$$f(n) = \sum_{j=1}^j n_j \cdot \bar{Z}_j \rightarrow \max;$$

Решение задачи оптимального выбора замен участков ТС выполнено стандартным симплекс-методом линейного программирования с учетом того, что сумма средств, выделяемая на выполнение работ задаются исходя из принятых в теплоснабжающей организации инвестиционных программ развития схемы теплоснабжения поселения.

*С.В.Андреев студ., И.М.Окатов студ., М.С.Щербаков студ.; рук.
Е.Г.Авоюнн д.т.н, проф.; рук. А.В.Коновалов к.т.н, доц., рук.
В.В.Сенников
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ

ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ И ПЛАНИРОВАНИЕ НА ИХ ОСНОВЕ ЗАМЕНЫ УЧАСТКОВ ТРУБОПРОВОДОВ

Основным мероприятием необходимым и достаточным до доведения показателей надежности (ПН) тепловых сетей (ТС) до нормативных значений является замена участков ТС с продолжительностью (периодом) эксплуатации, выработавших эксплуатационный ресурс. Интенсивность отказов трубопроводов в зависимости от продолжительности их эксплуатации определяется на основании зависимости по закону Вейбула. В соответствии с этой зависимостью 1 км трубопровода с паспортным сроком службы 25 лет в нормальных условиях эксплуатации отказывает не более 1 раза за 25 лет. Таким образом определяется начальная (паспортная) интенсивность отказов (отказ – это разновидность технологического нарушения или аварийной ситуации) для двух линейного трубопровода.

Решение задачи оптимального выбора замен участков ТС[1] выполнено стандартным симплекс-методом линейного программирования. При этом учтено, что сумма средств, выделяемая на выполнение работ по замене всех участков ТС в текущем году, задается исходя из принятой в теплоснабжающей организации инвестиционной программы развития системы теплоснабжения поселения.

В качестве примера представлены результаты расчета тепловых сетей котельной городского поселения. Поскольку рассматриваемые тепловые сети имеют небольшие масштабы (присоединенная нагрузка, зоны теплоснабжения, диаметры головных участков), нормативные требования к надежности теплоснабжения потребителей были выполнены как для расчетного, так и для пониженного уровня теплоснабжения.

С целью предотвращения аварийных ситуаций на тепловых сетях котельной было рекомендовано выполнить замену участков тепловых сетей со сроком эксплуатации более 17 лет (интенсивность отказов участков ТС резко возрастает с приближением к эксплуатационному ресурсу).

Относительные оценки значений параметров, характеризующих техническое состояние участков тепловой сети и предлагаемый план замены участков тепловых сетей котельной, с указанием стоимости выполнения работ, по ранее приведенной методике[1] представлены в таблице 1. Стоимость строительства наружных тепловых сетей принята по государственным укрупненным нормативам цены строительства. Укрупненные нормативы представляют собой объем денежных

средств, необходимых и достаточных для строительства 1 км наружных тепловых сетей.

Таблица 1 – Предложение по замене участков тепловых сетей котельной

Номер участка	Нормированная суммарная относительная оценка технического состояния участка	Стоимость работ по замене участка	План замен по годам эксплуатации					
			\bar{z}_j	C_j	1	2	3	4
j	отн. ед.	руб.						
1	0,0273	6187889,6	1	0	0	0	0	0
10	0,0243	1189120,5	1	0	0	0	0	0
2	0,0222	5020731	0	1	0	0	0	0
4	0,0175	1856887,2	0	1	0	0	0	0
5	0,0172	5467501,2	0	0	1	0	0	0
3	0,0172	5673822	0	0	1	0	0	0
8	0,0170	567382,2	0	1	0	0	0	0
6	0,0170	6911746,8	0	0	0	1	0	0
9	0,0066	33574	0	0	0	1	0	0
7	0,0065	151083	0	0	0	0	0	1

Данная методика удачно дополняет модуль «Надежность» программно-расчетного комплекса «ZuluThermo».

Анализ полученных расчетных данных позволяет организовать плановые ремонты тепловых сетей с учетом всех внешних факторов и в оптимальные сроки.

Библиографический список

Авдюнин Е.Г., Сенников В.В., Андреев С.В. и др. Методика расчета показателей надежности тепловых сетей и планирования замен участков трубопроводов // Теплоэнергетика // Международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Энергия 2015»: Материалы конференции. Т1, ч.2 – Иваново;: ФГБОУ ВПО Ивановский государственный энергетический университет им. В.И.Ленина, 2016.

*М.В. Колесников, маг.; рук. В.П. Созинов, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

АЭРОДИНАМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ШАРОВОГО КОЛЛЕКТОРА СИСТЕМ АСПИРАЦИИ С РЕГУЛИРУЕМОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ

Коллектор (рис. 1) может являться элементом как одновентиляторной системы аспирации, так и многовентиляторной. [1].

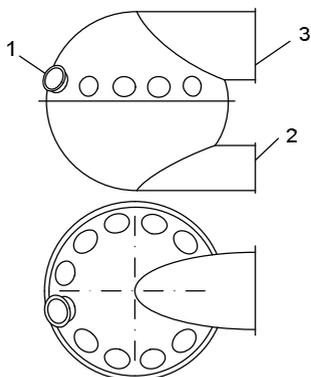


Рисунок 1 – Шаровой коллектор:

1-патрубок для подсоединения всасывающего трубопровода; 2-патрубок для подсоединения транспортного трубопровода; 3-патрубок для подсоединения трубопровода отбора воздуха.

Особенностью расчета регулировочных характеристик одновентиляторной системы аспирации является то, что приходится учитывать изменения коэффициентов местных сопротивлений входа коллектора, выхода в транспортный трубопровод, трубопровод отбора воздуха, а также динамического давления в коллекторе при регулировании производительности системы.

Более простые математические выражения, описывающие изменения расходов воздуха во всех участках трубопроводной сети и режимы работы вентиляторов, получаются, если оценивать потери давления в коллекторе как в тройниках, то есть на проход, не выделяя коэффициент местного сопротивления входа коллектора. Они применимы для расчета многовентиляторных систем аспирации.

Для получения уравнений, по которым можно рассчитать коэффициенты местных сопротивлений на проход - $\zeta_{\text{вх-тр}}$ и ответвление - $\zeta_{\text{вх-отб}}$, были использованы результаты экспериментальных исследований коллектора диаметром 1 м. Они позволяют просуммировать потери давления на входе коллектора и соответствующем выходе из него. Величина коэффициентов $\zeta_{\text{вх-тр}}$ и $\zeta_{\text{вх-отб}}$ определяется путем деления суммарных потерь давления на динамическое давление воздуха в патрубке для присоединения транспортного трубопровода или трубопровода отбора воздуха. Введя полученные результаты расчетов в матрицу планирования эксперимента, были получены следующие уравнения.

$$\zeta_{\text{вх-тр}} = -0,01 + 7y + 0,036z - 0,7yz \quad (1)$$

$$\zeta_{\text{вх-отб}} = 16,88 - 17,8y - z + 0,86yz \quad (2)$$

где y – отношение расхода воздуха в патрубке для подсоединения трубопровода отбора воздуха к суммарному расходу воздуха в всасывающих трубопроводах;

z – отношение суммарной площади сечения используемых всасывающих трубопроводов к средней площади их сечений

Уравнения охватывают диапазоны $y = 0,6 \dots 0,2$ и $z = 10 \dots 5$. Результаты расчета по уравнениям (1) и (2) отличаются от данных, относящихся к тройникам. Это вызвано тем, что воздух, входящий в коллектор, значительно расширяется и вызванные этим потери давления становятся сопоставимы, а в некоторых аэродинамических режимах даже больше потерь давления на выходе из коллектора.

Библиографический список

1. Созинов В.П. Аспирация в АПК. Учебное пособие. -Иваново, НЦП «СТИМУЛ», 1996. -424 с.

*А.А. Морозова, студ.; рук. А.В. Банников, к.т.н., доц.
(ИГЭУ им. Ленина, г.Иваново)*

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛНЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ В КОНТЕКСТЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПРЕОДОЛЕНИЯ ВИЗУАЛЬНОГО ВТОРЖЕНИЯ

*Машину нельзя проектировать,
ее нужно рисовать
П.Л. Капица*

Большинство существующих заводов, предприятий и станций имеют невзрачную, непривлекательную, а иногда и пугающую архитектуру, нарушающую окружающее пространство. Тема преодоления такого визуального вторжения является актуальной в настоящее время так как, эстетически подобранные формы, линии, цвета и структуры зданий способны благоприятно воздействовать на сознание людей, воспитывать их художественный вкус и корректировать культуру поведения. Под визуальным вторжением будем понимать нарушение естественного и искусственного ландшафта местности различными зданиями и сооружениями промышленного толка.

Как правило, решения задач эстетического оформления промышленных объектов вторичны по отношению к задачам техническим. Автор работы предлагает поменять приоритеты или сделать решения

задач равнозначимыми. Анализ информации по данному вопросу в России дает право говорить о том, что в такой постановке задача преодоления визуального вторжения еще не звучала.

В качестве примера диапазона возможных эстетико-технических решений можно привести задачу оптимизации конструкции дымовой трубы котельной системы теплоснабжения, высота которой обеспечивает рассеивание вредных выбросов, не превышающих предельно допустимую концентрацию в приземном слое. Особенностью таких решений будет то обстоятельство, что их спектр будет лежать в пределах от высоты дымовой трубы, определяемых нормативными требованиями [1] до нулевого значения в случае применения фильтроочистительных или утилизационных установок, что дает свободу конструкторам, архитекторам и художникам при соответствующем волевым и финансовом состоянии заказчика.

Необычное оформление сооружения не только снаружи, но и внутри может сделать его настоящей достопримечательностью города. В мире уже существуют оригинальные решения по преобразованию привычного всем образа заводского здания в нечто необычное и способное вызвать восхищение человека. Перечислим некоторые из них: мусоросжигательный завод «Майшима» в Японии городе Осака, преобразованный художником Фриденсрайхом Хундертвассером [2]. Оригинальная подсветка, необычные цвета и форма здания, труба в виде башни с куполом, внутри которой располагаются современные фильтры многоступенчатой очистки, делают обычный мусоросжигательный завод настоящим произведением искусства. На завод «Майшима» организуют экскурсии для взрослых и школьников. Еще одно необычное строение находится в Англии, а именно электростанция в виде вулкана, работающая на биомассе. Так же оригинальную архитектуру имеют: завод «Inotega» на Тайване, который производит полупроводниковые элементы; завод по производству стекла «Cristalchile» и маслобойный завод в Чили; котельная «Шпиттлау» в Австрии город Вена и др [3]. Но не только за рубежом дизайнеры зданий радуют жителей своими проектами. В России тоже располагается очень нестандартный трубопрокатный завод в Челябинске под названием «Высота 239» [4]. В оформлении завода использовались очень яркие цвета, как снаружи здания, так и внутри. Внутренние стены меняют окрас с насыщенного красного до более светлого оттенка от пола к потолку. Оборудование тоже отличается насыщенностью красок: пресс шаговой формовки - золотого цвета, краны – оранжевого, листоукладчик – ало-красный. Отличительной особенностью завода «Высота 239» является выпуск дизайнерских разноцветных полосатых труб. Кроме того на предпри-

ятии имеется уголок спокойствия, который представляет собой площадь покрытую 30 тоннами белого песка, где посажены 12 сакур. На данное производство так же организуют экскурсии.

Подводя итог вышеизложенному, хотелось бы выразить надежду, что при создании и модернизации систем теплоснабжения заказчик, проектные и монтажные организации наряду с решением технических задач не забудут и про эстетическую сторону их творений.

Библиографический список

1. **Методика расчета** концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. ОНД-86. Л.: Гидрометеоздат, 1987. 93с.

2. **Мусоросжигательный завод** Майшима в Осаке: [Электронный ресурс] URL: <http://tiptotrip.ru/tips/868-musoroszhigatelnyy-zavod-mayshima-maishima-incineration-plant-v-osake-yaropniya> . (дата обращения: 1.12.2015).

3. **Промышленные шедевры. Обзор самых необычных заводов в мире:** [Электронный ресурс] URL: <http://www.novate.ru/blogs/171210/16297/>. (дата обращения 1.12.2015).

4. **Никитский С.** Самый красивый завод в России [Электронный ресурс] // 2013. URL: <http://nikitskij.livejournal.com/172233.html>. (дата обращения 1.12.2015).

*В.А. Дмитриенко, студ.; рук. А.В. Банников, к.т.н.,
доцент, И.В. Архипов, инженер
(ИГЭУ, г.Иваново)*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОНДЕНСАЦИОННЫХ КОТЛОВ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Эффективность конденсационных котлов зависит от ряда факторов: качества теплообмена между продуктами сгорания и теплоносителем системы теплоснабжения, качества сгорания топливно-воздушной смеси, потерь тепловой энергии от наружной поверхности котла в окружающую среду и от потерь в системе распределения, адаптации к изменяющейся тепловой нагрузке, рекуперации скрытой теплоты парообразования.

Несмотря на то, что конденсационные котлы присутствуют на рынке теплогенерирующего оборудования в России более десяти лет, их распространение в современных системах теплоснабжения крайне редкое. А, зачастую, конденсационные котлы эксплуатируются в условиях, когда их эффективность сопоставима с традиционными водогрейными котлами.

Перед автором настоящей работы стояла задача опытным путем на действующем конденсационном котле определить обстоятельства его наиболее эффективного применения. Исходя из принципа работы

конденсационного котла, одним из этих обстоятельств является температурный график работы потребителя теплоты.

В качестве объекта исследования в работе принят конденсационный котел марки «DeDietrichInnoverse MCA-65» максимальной мощностью 65 кВт, включенный в электрическую сеть 230 В/50 Гц, расположенный в центре энергоэффективных технологий ИГЭУ.

На рисунке 1 приведен пример экспериментальной зависимости КПД конденсационного котла от температуры теплоносителя в «обратной» линии системы теплоснабжения.

Как показало экспериментальное исследование, конденсационный котел не всегда работает с максимально возможной эффективностью. Чтобы потери теплоты с дымовыми газами были минимальными, в теплообменнике котла должна происходить конденсация водяных паров из дымовых газов. Это возможно тогда, когда температура хотя бы части теплообменной поверхности равна или ниже температуры точки росы.

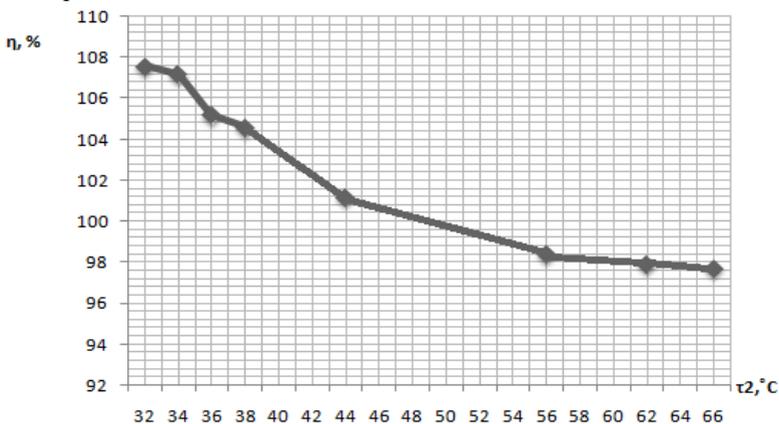


Рис. 1 - Зависимость КПД от температуры обратной линии τ_2

С ростом температуры теплоносителя в «обратной» линии, КПД конденсационного котла значительно уменьшается, и котел из конденсационного режима переходит в безконденсационный. Для эффективной работы котла необходимо, чтобы он работал в режиме конденсации. А режим конденсации напрямую зависит от температуры «обратки».

Исходя из вышеприведенного графика, можно сделать вывод, что наиболее эффективной будет считаться та система отопления, температурный график которой будет иметь температуру в обратной линии 50 °C и ниже. Например, температурный график 40/30. Однако,

для условий России, подобный температурный режим не будет востребован. Наиболее эффективными будут графики 90/70 и 80/60.

КПД конденсационного котла тем выше, чем ниже температурный режим системы отопления. Однако, даже в неконденсационном режиме работы, конденсационный котел по своей эффективности на несколько процентов превышает эффективность традиционного котла отопления.

Библиографический список:

1. DeDietrich:[Электронный ресурс]. URL: http://www.dedietrich-otoplenie.ru/produkcija/katalog/nastennye_kotly/nastennye_kotly_de_dietrich.

*В.А. Рутковский, магистрант; рук. В.И. Субботин, к.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РЕКОНСТРУКЦИЯ ПАРОВОЙ КОТЕЛЬНОЙ В МИНИ-ТЭЦ С ЦЕЛЮ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕЕ СОБСТВЕННОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЕЙ

В связи с повышением стоимости электроэнергии вопрос использования избыточной потенциальной энергии пара, вырабатываемого на котельной, с целью ее преобразования в электрическую энергию и ее использования на собственные нужды является актуальным.

В существующих промышленно-отопительных котельных в основном установлены паровые котлы ДКВР и ДЕ, способные производить от 4 до 25 т пара в час. Чаще всего это котлы насыщенного пара с давлением до 1.4 МПа. Для нужд технологии промышленных предприятий требуется пар более низкого давления – 0,5-0,6 МПа, а для системы отопления – 0,12-0,15 МПа. Поэтому на практике эксплуатация паровых котлов ведется либо с понижением давления (0,6–0,7 МПа), либо в номинальном режиме с последующим дросселированием пара до требуемого потребителем давления. В первом случае котлы эксплуатируются в нерасчетных режимах с резко сниженной экономичностью. Во втором случае в процессе дросселирования пара происходит необратимая потеря его потенциальной энергии.

В данных целях была предложена реконструкция котельной. К установке предлагается две турбины типа Р-0.5-2.4/0.6 (по одной турбине на каждый из котлов марки Е-50-2,4-250Г). Турбины устанавливаются параллельно редукционно-охладительной установке (РОУ), которая во время работы турбин находится в резерве.

На рис. 1 изображена схема присоединения паровой турбины к котлу, параллельно редукционно-охладительной установке.

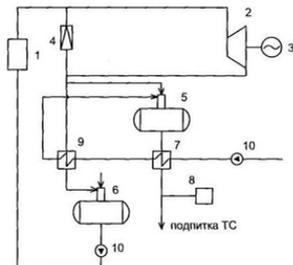


Рис.1 Тепловые схемы мини-ТЭЦ. 1 - паровой котел; 2 - паровая турбина; 3 – электрогенератор; 4 - РОУ котельной. 5 - деаэрактор подпиточной воды; 6 - деаэрактор питательной воды; 7 – охладитель деаэрированной воды; 8 - аккумулятор горячей воды; 9 - подогреватель подпиточной воды; 10 – насос; ТС - тепловая сеть;

Анализ энергетической и экономической эффективности данной схемы заключается в определении себестоимости вырабатываемой на ТЭЦ электроэнергии. Для этого определяются капитальные затраты на закупку необходимого оборудования, оплату транспортировки, монтажа турбин, работы обслуживающего персонала, а так же на ежегодное обслуживание оборудования.

Все виды затраченной и произведенной энергии были переведены в тонны условного топлива, был найден коэффициент пропорциональности между расходами топлива на электрическую и тепловую энергию. После этого производился экономический расчет турбин и определялась себестоимость 1 КВт·ч. Были найдены величина чистого ежегодного дохода и расчетный срок окупаемости.

В качестве исходных данных принимались следующие параметры пара [1]:

- Давление пара на входе в турбину $P_1=2,4$ МПа
- Температура пара на входе в турбину $T_1=220^\circ\text{C}$
- Расход пара через турбину $G=50$ т/час.
- Давление пара на выходе из турбину $P_2=0,6$ МПа
- Температура пара на выходе из турбину $T_2=160^\circ\text{C}$
- Годовой расход топлива на ТЭЦ равен 36225 т/год

Полученные результаты экономического расчета установки турбин на ТЭЦ представлены в [1]:

- Суммарные капитальные затраты составили $K_{\text{сумм}}=30$ млн.руб.
- Ежегодные суммарные издержки производства $I_{\text{сумм}}=3.92$ млн.руб
- Себестоимость производства электроэнергии $C_3=0,52$ руб/КВт·ч
- Расчетный срок окупаемости составил $T_p=1,843$ года

Библиографический список

1. **Субботин В.И.** Источники теплоснабжения и их режимы работы: учеб. пособие; изд. 2-е дополн. ГОУВПО «Ив. Гос. Энерг. Ун-т имени В.И.Ленина». – Иваново, 2010 – 400 с.
2. **Субботин В.И., Васильев С.В., Махов О.Н.** Энергосбережение в системах теплоснабжения: Учеб. Пособие/ФГБОУВПО «Ивановский Государственный Энергетический Университет имени В.И.Ленина». -Иваново, 2012.-264 с.

Секция 3. АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Председатель секции

Профессор кафедры «Автоматизация технологических процессов»

к.т.н., проф. А.В. Кондрашин

Секретарь секции ст. преподаватель Е.Л. Малкова

*Е.Н. Ботько, студ.; К.Г. Савко студ.; В.В. Кравченко (к.э.н.)
(БНТУ, г. Минск)*

ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ УРОВНЕМ В ПАРОГЕНЕРАТОРЕ

Автоматизация является важным средством повышения эффективности технологических процессов. Экономичное, надежное и безопасное функционирование сложных промышленных объектов, каковыми являются технологические процессы на АЭС, может быть обеспечено с помощью лишь самых совершенных принципов и технических средств управления.

В процессе работы проводились расчет параметров оптимальной динамической настройки и моделирование различных структурных схем, а также их сравнение и определение прямых показателей качества.

В результате полностью устранены недостатки, широко распространенной сегодня, трехимпульсной системы автоматического регулирования уровня воды в парогенераторе, путем использования каскадной системы автоматического регулирования с коррекцией задания.

Модернизация типовой каскадной системы автоматического регулирования, схема которой приведена на рисунке 1, позволяет несколько улучшить отдельные характеристики данной системы.

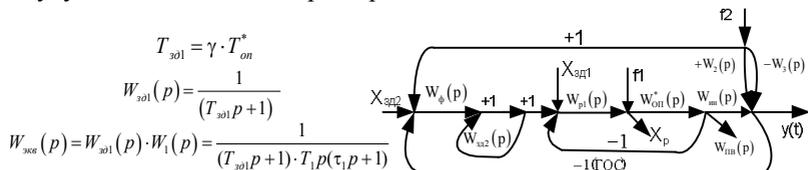


Рис.1. Схема моделирования модернизированной каскадной системы автоматического регулирования, где $x_{зад}$ – заданное значение регулируемого параметра; x_p – регулирующее воздействие; f_1, f_2 – внутреннее и внешнее возмущения; $y(t)$ – основная регулируемая величина; W_2, W_3 – передаточные функции характеризующие явление «набухания уров-

ня»; $W_{оп}^*$ – передаточная функция опережающего участка; \square – число по правилу «золотого сечения»

В данном случае при выборе структуры корректирующего регулятора, учитывается динамика внутреннего контура с помощью передаточной функции $W_{зод1}(p)$, приняв за целое $T_{оп}^*$. При этом при отработке скачка крайнего внешнего возмущения f_2 для схемы рисунка 1 были рассмотрены случаи с датчиком по расходу пара (добавление импульса расхода пара +1 в $x_{зод2}$ из f_2) и без такового.

На основе передаточной функции оптимального регулятора и эквивалентного объекта была определена передаточная функция корректирующего регулятора.

Расчет оптимальной динамической настройки ПИ – регулятора проводился с использованием чисел по правилу «золотого сечения».

Эффективность предлагаемой оптимизированной системы автоматического регулирования определяется отсутствием статической ошибки регулирования при отработке скачков внутреннего и внешнего возмущений.

Графики переходных процессов типовой и модернизированной каскадных систем автоматического регулирования приведены на рисунке 2.

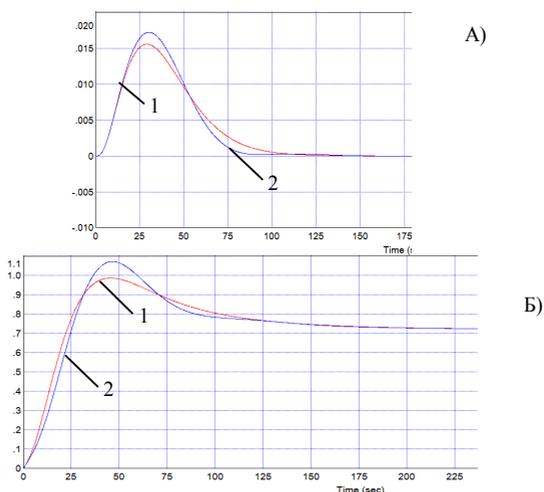


Рис. 2. Отработка скачка внутреннего А) и внешнего Б) (с явлением «набухания» уровня) возмущений f_i для типовой 1) и модернизированной 2) каскадных систем автоматического регулирования для $\square=0,618$

Основные конструктивные и технико-экономические показатели: количество датчиков снижено до двух (датчик по расходу пара и датчик по уровню в парогенераторе), что обусловлено их малым влиянием на ход измеряемых процессов, следовательно, система обладает сравнительно невысокой стоимостью и непродолжительным периодом обслуживания.

Библиографический список

1. Кулаков, Г.Т. Теория автоматического регулирования/ Г.Т. Кулаков, И. Ф. Кузьмицкий – Минск: БГТУ, 2010. – 458 с.
2. Кулаков Г.Т. Инженерные экспресс-методы расчета промышленных систем регулирования / Г.Т. Кулаков – Мн: Высшая школа, 1984 – 192 с.
3. Плетнев Г.П. Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике: учебник для студентов вузов / Г.П. Плетнев – М.: Издательский дом МЭИ, 2007 – 352 с.

*С.Ю.Бурцев, А.А. Коршикова, Э.К.Аракелян, д.т.н., проф.
(НИУ «МЭИ», г. Москва)*

УЧАСТИЕ ЭНЕРГОБЛОКА ПГУ-450Т В НОРМИРОВАННОМ ПЕРВИЧНОМ РЕГУЛИРОВАНИИ ЧАСТОТЫ

Учитывая современные тенденции активного привлечения парогеновой установки (ПГУ) к регулированию частоты и мощности энергосистемы, участие ПГУ в Общем и нормированном первичном регулировании частоты (ОПРЧ и НПРЧ), которое должно осуществляться с постоянным составом оборудования в рамках определенного сертификационными испытаниями регулировочного диапазона, а для дублирующих верхнего и нижнего полудиапазонов, остро стоит вопрос обеспечения надежной автоматической работы оборудования в максимально широком диапазоне нагрузок с наименьшими дополнительными затратами [1, 2].

На рисунке 1 по данным исследований, проведенных ОАО «ВТИ» на блоке №1 (ПГУ-450Т) Северо-Западной ТЭЦ Санкт-Петербурга, показан регулировочный диапазон ПГУ-450Т в зависимости от температуры наружного воздуха.

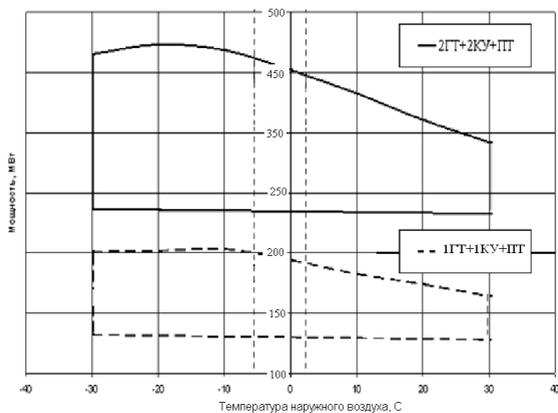


Рис. 1. Зависимости мощности блока ПГУ-450Т от температуры наружного воздуха

Бинарная ПГУ дубль-блочной компоновки имеет в своем составе два активных элемента регулирования нагрузки: газовые и паровая турбины. Большие скорости набора и сброса нагрузки в сочетании с малой инерционностью обеспечивают газовой турбине высокие показатели маневренности и ставят ее главным элементом в системе управления мощностью парогазовой установки. С другой стороны, высокая маневренность ПТ при использовании аккумулированного в барабанах котлоутилизаторов тепла позволяют использовать определенные возможности паровой турбины в процессе регулирования частоты энергосистемы.

Особенностью управления мощностью газотурбинной установки (ГТУ) является поддержание определенного состава топливо-воздух, подаваемого в камеру сгорания. Расход топлива на горелки регулируется за счет топливного клапана ГТУ и меняется практически мгновенно, что нельзя сказать про расход воздуха, который регулируется при помощи входного направляющего аппарата (ВНА) компрессора ГТУ. Например, ВНА газотурбинной установки ГТЭ-160 имеет постоянную скорость перемещения 5,6 %УП/с. Разница в скоростях регулирования топлива и воздуха может негативно влиять на ресурсные характеристики ГТУ вследствие значительных колебаний температуры газов на выходе из камеры сгорания. Стоит также отметить, что на пониженных нагрузках КПД ГТУ значительно снижается [3].

КПД паровой турбины (ПТ) напротив, в широком диапазоне нагрузок мало изменяется, а скорость открытия ее РК ничем не ограничивается. Колебания температуры пара высокого давления при этом небольшие.

Из вышесказанного следует, что в наиболее ответственный, начальный момент отклонения частоты скорость изменения нагрузки ГТУ может сильно уступать скорости реакции ПТ.

Предлагается распределить роли между ГТУ и ПТ при участии ПГУ в НПРЧ следующим образом: ГТУ обеспечивает быстрое изменение интегральной мощности, а паровая турбина мгновенную реакцию на отклонение частоты.

Библиографический список

1. Аракелян Э.К., Хуршудян С.Р., Бурцев С.Ю. Способы расширения регулирующего диапазона ПГУ-450 и их сравнительная оценка по экономичности // Энергосбережение и водоподготовка. 2014. № 2 (88). С. 45-50.
2. Коршикова А.А. Исследование метода расширения регулирующего диапазона энергоблока ПГУ-450Т // Энергосбережение. Теория и практика. Тез.докл.: в 3-х т.-М.: Изд. дом МЭИ, 2014, Т.1, С. 240-241.
3. Аракелян Э.К., Бурцев С.Ю. Оптимизация режимов работы ПГУ при участии ее в регулировании мощности и частоты в энергосистеме // Сборник материалов докладов Национального конгресса по энергетике: В 5 т. Т. 2. — Казань: Казан.гос. энерг. ун-т, 2014. — С. 11 20.

*П.Г. Дозморов, В.О. Шатских, студ.; рук. И.В. Тетеревков,
доц. (ИГЭУ)*

ОБУЧЕНИЕ НЕЙРО-НЕЧЕТКИХ СИСТЕМ С ПОМОЩЬЮ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ

Технической базой современных АСУ являются сети микропроцессорных контроллеров и операторских станций, способных обеспечить практически любую вычислительную мощность и, следовательно, реализовать любой сложный алгоритм управления. Это позволяет создать систему, не только повышающую качество управления, но и решающую основную проблему традиционных систем на основе ПИД-регуляторов – неспособность качественно обрабатывать параметрические возмущения.

Наиболее перспективными с точки зрения этой задачи являются системы нечеткой логики, оценивающие ситуацию с помощью набора качественных понятий. При этом специалист, создающий систему, должен математически формализовать свои представления об управлении, что далеко не всегда осуществимо. Чаще всего человек, выступающий в роли эксперта, может всего лишь указать, какие решения по управлению он примет в конкретных технологических ситуациях, то есть сформулировать некоторый набор правил, не объясняя логики их получения.

Для того чтобы система сама выявила эту логику и оказалась способна в дальнейшем проводить рассуждения подобно эксперту, нечеткие системы удобно представлять в виде нейронных сетей, основным достоинством которых является способность к обучению и возможность получения новых знаний. Подобный подход позволяет создать новый класс систем управления – нейро-нечеткие системы, сочетающие в себе качественную работу систем нечеткой логики и возможность к обучению нейронных сетей.

Такой подход позволяет значительно упростить задачу настройки нечеткой системы. Выбрав лингвистические переменные, термножества, функции принадлежности и способ логического вывода (что вполне может быть осознанно рекомендовано экспертом), параметры логических правил и диапазоны нормирования значений лингвистических переменных могут быть получены за счет обучения нейро-нечеткой системы (см. рис. 1). Фактически задача сводится к такому перестроению весов связей сети (соответствующих параметрам нечеткой системы), чтобы система при подаче на ее вход описания конкретной ситуации делала тот же вывод по поводу управляющего воздействия, что и эксперт.

Список лингвистических переменных и термножеств, вид функций принадлежности и логические правила



Рис. 1. Реализация процесса создания и обучения нейро-нечеткой системы

Стандартные методы обучения сети (например, наиболее часто используемый для этой цели метод обратного распространения ошибки) основаны на применении градиентных алгоритмов. Существенным недостатком этих методов является вычислительная неустойчивость, что требует проведения длительного процесса обучения с большим количеством предъявлений обучающей выборки с низкой скоростью обучения.

Широко известный в теории оптимизации класс генетических алгоритмов отличается от градиентных методов повышенной вычислительной устойчивостью, что делает привлекательным его применение к задаче обучения нейро-нечеткой системы. Проведенные авторами исследования показывают, что при этом не только снимается проблема вычислительной неустойчивости, но и заметно снижается время на обучение сети. Например, рассматривалась нейро-нечеткая система с двумя лингвистическими переменными (ошибка управления и ее производная), тремя терм-множествами и экспоненциальными функциями принадлежности, а задача обучения сводилась к настройке диапазонов нормирования лингвистических переменных. Обучающая выборка содержала в себе описание всего семи технологических ситуаций. Обучение системы на основе градиентного метода потребовало предъявить системе выборку 5000 раз, а обучение с помощью генетического алгоритма – всего 300 (30 особей на 10 поколений), причем результаты обучения в обоих вариантах оказались сопоставимы. Подобные результаты получены и для систем, в которых подстраивались параметры логических правил. Таким образом, утверждение о преимуществе генетического подхода к обучению нейро-нечетких систем подтверждается опытными данными.

*В.С. Колесов, Д.В. Кузнецов, студ.; рук. И.В. Тетеревков, доц.,
А.Р. Горнушкин, к.т.н., доц. (ИГЭУ)*

МАТРИЧНЫЕ ОПЕРАЦИИ В ЗАДАЧАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ И ИХ РЕАЛИЗАЦИЯ

Современные цифровые системы управления, как правило, работают с применением SCADA-систем, что предполагает наличие легко масштабируемой компьютерной сети. Это позволяет реализовывать сложные задачи управления, связанные с повышенной вычислительной сложностью. При этом решаться такие задачи могут с применением как аналитических, так и численных методов, причем последние часто являются более предпочтительными.

Большой интерес представляют способы организации матричных операций, связанные в первую очередь с транспонированием, сложением и умножением матриц, нахождением обратных матриц и собственных чисел матрицы. Из этого списка никаких проблем при реализации не создают лишь операции транспонирования, сложения и умножения.

Типичным примером необходимости нахождения обратной матрицы является решение задачи идентификации с помощью построения модели с использованием авторегрессии и скользящего среднего. В этом случае размерность исходной матрицы определяется количеством параметров разностного уравнения. Желание построить модель достаточной точности приводит к работе с матрицей с размерностью не ниже пяти. Аналитическое нахождение обратной матрицы удобно в случае размерности не выше трех, поэтому на практике задача решается численно, например, с помощью метода Гаусса [1]. При этом вид матрицы не создает никаких проблем для применения указанного метода.

Одним из перспективных подходов к управлению является использование пространства состояний. В этом случае рассматривается и используется для управления не только выходная координата объекта, но и набор координат состояния, которые могут быть как реальными физическими, так и фиктивными. При этом модель объекта представляется в виде системы матричных уравнений [2]. Использование пространства состояний позволяет построить систему оптимального управления. Синтез как оптимального наблюдателя, так и оптимального регулятора производится на основе решения матричного уравнения Риккати, требующего расчета обратной матрицы. В данном случае также не возникает никаких проблем с применением метода Гаусса.

Гораздо более существенные сложности возникают при необходимости нахождения собственных чисел матрицы. В методе пространства состояний часто удобно работать с матрицей, приведенной к виду канонической формы Жордана

$$\mathbf{A}_J = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_2 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \lambda_{n-1} & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & \lambda_n \end{bmatrix}.$$

Такой вид может быть получен, если для матрицы в канонической форме управляемости (которая легко может быть записана из дифференциального уравнения, описывающего систему) найти ее собственные числа λ_i . Аналитическое решение этой задачи является труднодостижимым, поэтому для нахождения собственных чисел необходимо применять численные методы. Одним из таких методов является метод итераций. Но его реализация в данном конкретном случае приводит к потере вычислительной устойчивости. Это объясняется спецификой исходной матрицы, имеющей вид

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \\ -\alpha_0 & -\alpha_1 & -\alpha_2 & \dots & -\alpha_{n-1} \end{bmatrix}$$

Поэтому задачу стоит свести к построению характеристического уравнения вида

$$\det(\lambda \mathbf{E} - \mathbf{A}) = 0$$

корни которого и представляют собой собственные числа исходной матрицы \mathbf{A} . Наиболее практичным в данном случае является применение метода Берстоу[3], позволяющего найти все корни характеристического полинома.

Библиографический список

1. **Тетеревков И.В.** Maple в инженерной практике. Часть 3. Решение уравнений [Электронный ресурс]: учеб. пособие. Иваново: Б.и., 2014. – Электрон. версия печ. публикации. – Режим доступа: <https://ivseu.bibliotech.ru/Reader/Book/2015031614190451700000748356>.
2. **Кондрашин А.В.** Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами. Вопросы и ответы: учеб. пособие. Иваново, 2004. 220 с.
3. **Тетеревков И.В.** Maple в инженерной практике. Часть 1. Основы математического анализа [Электронный ресурс]: учеб. пособие. Иваново: Б.и., 2014. – Электрон. версия печ. публикации. – Режим доступа: <https://ivseu.bibliotech.ru/Reader/Book/2015031614130960000000749830>.

*Ю.С. Колосова, асп.; рук. А.В. Кондрашин к.т.н., проф.
ИГЭУ, г. Иваново*

О ПРИМЕНЕНИИ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ К ЗАДАЧЕ ДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ В РАСПРЕДЕЛЁННЫХ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ УПРАВЛЕНИЯ

Практически любой сложный объект автоматизации представляет собой единую взаимосвязанную структуру, состоящую из отдельных технологических процессов, которые пространственно распределены. В ходе разработки систем управления такими объектами возникает потребность имитационного моделирования, обеспечивающего отработку алгоритмических, информационных, программных и технических ресурсов АСУ ТП.

пература воздуха T . Направленность потоков на рисунке носит условный характер. Потоки могут быть как положительными (соответствующими рисунку), так и отрицательными (направлены в обратную сторону). Это определяется знаками разностей давлений и температур в смежных участках модели объекта.

На рис. 3 представлен фрагмент модели, отражающий схему взаимодействия переменных на трёх сопряжённых участках объекта. Каждый элемент (ячейка) представлен двумя векторами входных переменных (X и Z), а также двумя векторами выходных переменных (Y и V).

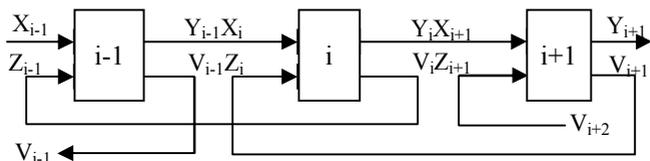


Рис. 3. Пример схемы взаимосвязи моделей ячеек распределённого объекта

Необходимость такого разделения переменных объясняется характером влияния их на смежные участки. Первым двум векторам соответствуют прямые связи, вторым – обратные. В докладе представлены как сама модель, так и результаты моделирования.

G. V. Kustova, M.;
adv.: A. V. Kondrashin, Ph.D., assoc. prof.
S. A. Ezhova, senior teacher
(ISPU, Ivanovo)

**THE DEVELOPMENT OF METHODS AND
 MEANS OF ADJUSTING THE CONTROL SYSTEMS
 BY USING THE VIRTUAL SIMULATOR
 «AUTOLAB»**

The course of study «Metrology, certification, technological measurements and automation of thermal processes. Part 2» includes laboratory-worksonthevirtualsimulator «AutoLab». During the course students consistently study the fundamentals of automatic control theory by using the virtual simulator. But this system has notbeen implemented fully yet: it is constantly updated, modified and functionally expanded. Therefore, it was decided to develop software for a new laboratory work «Cascadeautomatic control system (ACS) with an endangered signal from the intermediate point».

The application software for the laboratory work is developed in the program Borland Delphi 7. The program calculates the optimal settings of the primary controller (master) and the secondary controller (slave) by the object parameters: the coefficient k , the time delay T and the damping index ψ (Fig.1).

Таблицы | Графики 1 | Графики 2

Параметры объекта и степень затухания

k	T	Psi
1	4	0.9

РАСЧЕТ

Параметры линии равной степени затухания для корректора

№	Wk	kd	Td	I2
1	0.0060968	219.43	110.06	1.2341E006
2	0.012194	107.78	57.088	1.5681E005
3	0.01829	70.676	39.459	47475
4	0.024387	52.201	30.668	20505
5	0.030484	41.174	25.414	10765
6	0.036581	33.867	21.93	6397.6
7	0.042678	28.682	19.458	4142.9
8	0.048774	24.823	17.621	2857.9
9	0.054871	21.845	16.208	2069.6
10	0.060968	19.483	15.093	1557.7

Параметры линии равной степени затухания для регулятора

№	Wp	kp	Ti	I2
1	0.0070026	0.0052806	96.831	1.8003E006
2	0.014905	0.010956	51.416	2.2657E005
3	0.021008	0.017062	36.884	67624
4	0.02801	0.023335	29.972	29490
5	0.035013	0.029258	25.861	16233
6	0.042016	0.034402	22.891	10434
7	0.049018	0.038679	20.417	7402.4
8	0.056021	0.042287	18.232	5569.2
9	0.063023	0.045504	16.295	4335.7
10	0.070026	0.048574	14.608	3447.2

Оптимальные параметры настройки для корректора

№	Wk	kd	Td	I2
35	0.21339	5.6495	12.299	138

Оптимальные параметры настройки для регулятора

№	Wp	kp	Ti	I2
42	0.29411	0.25302	10.514	135.73

Fig.1. Tab «Calculation».

The calculation of the optimal settings consists of several stages:

1. Finding settings of the secondary controller by using enhanced complex frequency response method.

2. The choice of the optimal settings of the secondary controller according to a minimum of squared integral control quality index I_2 .

3. Finding settings of the primary controller by using enhanced complex frequency response method. A distinctive feature of this stage is the fact that when calculating settings of primary controller the optimal settings of the secondary controller found in stage 2 are used.

4. The choice of the optimal settings of the primary controller according to a minimum of squared integral control quality index I_2 .

The program also has two tabs with charts where one can see the form of gain-frequency characteristic, the spectrum at a given frequency, and watch the view of the line of equal margin of stability for the secondary controller and primary controller.

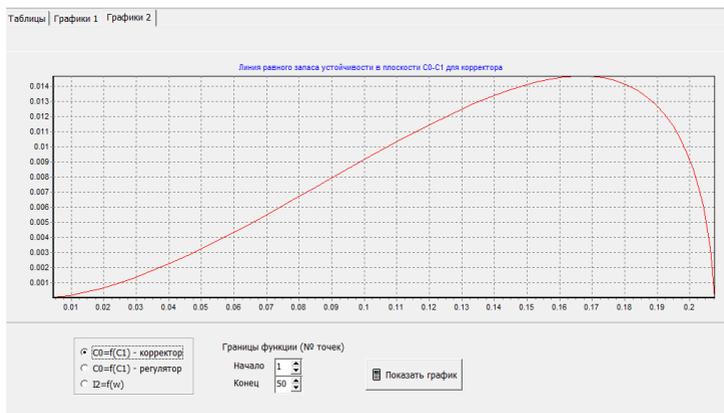


Fig.2. Tab «Charts».

This program allows the users to save time and facilitates the problem of the calculation of the optimal settings of the controllers. With the help of this software students can see the advantages of cascade control systems compared to single-loop control systems.

The set of laboratory works on the virtual simulator «AutoLab» allows the users to know more about the possibilities of automatic control systems. The developed software may be used by students in the course of study.

References.

1. **Кондрашин А.В.** Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами. Вопросы и ответы: учеб.пособие / Иван. гос. энерг. ун-т. – Иваново, 2004.
2. **Ротач В.Я.** Теория автоматического управления. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008.

*Е.Л. Малкова ст.преподаватель
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ВАРИАТИВНОСТЬ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АСУ ТП

Под метрологическим обеспечением (МО) понимается применение научных, технических основ и методических разработок, которые необходимы для достижения единства измерений и требуемой погрешности результатов измерений, т.е. необходимого качества измерений. [1, 2]

В широком смысле понятие «метрологическое обеспечение» используется для систем управления, технологических процессов и про-

изводства, подразумевая при этом МО измерений (контроля, испытаний), другими словами, их качества в системах управления, в технологических процессах или производствах. Объектом МО являются все стадии жизненного цикла изделий и услуг, а именно – разработка, проектирование, производство и эксплуатация. [3]

Поскольку МО рассматривается как элемент системы менеджмента качества, постольку на него распространяется принятый в настоящее время процессный подход к организации работ по обеспечению и управлению качеством, который можно представить в виде схемы.

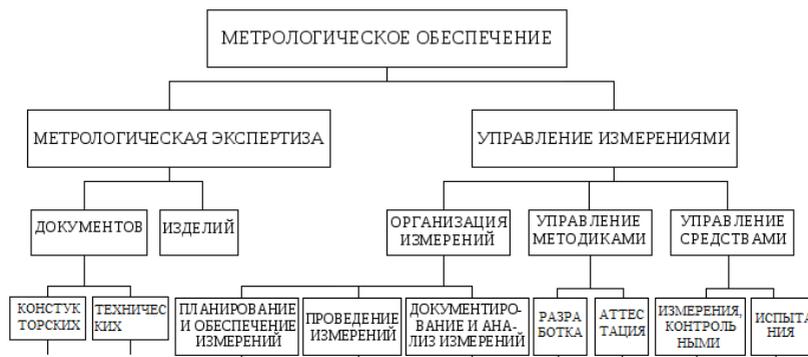


Рис. 1 Структура метрологического обеспечения предприятия [2]

Отмечу, что не стоит попустительски относиться к метрологической экспертизе документов, так как современные нормативные документы далеки от совершенства и могут содержать серьезные ошибки.

МО является нижшим уровнем АСУ ТП, центром которой является комплекс средств автоматизации (рис 2). На стадии проектирования АСУ, при выборе ПТК необходимо учитывать зависимую, в том числе и от метрологии, вычислительную нагрузку на драйверы периферийных устройств, на процессор, на интенсивность обмена информации по внутренним шинам ПТК, а также по сетевым коммуникациям.

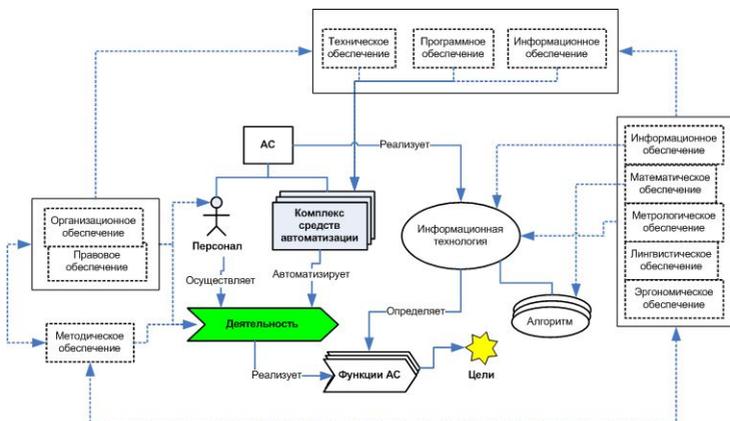


Рис 2. Структура современной системы управления

Во-первых, это связано с выбором методов и средств измерения. Например: при измерении расхода и температуры потока вещества в трубопроводе следует учитывать, что расход – величина, характеризующая направленное движение вещества, а температура – величина, характеризующая среднестатистическую скорость движения вещества. Очевидны влияние одной величины на другую. В тепловых расходомерах приходится учитывать температуру вещества установкой дополнительного температурного преобразователя для исключения влияния температуры на измерение расхода, а при измерении температуры, наоборот, исключается влияние скорости потока вещества, например с помощью тормозных камер. Это ведет к увеличению каналов связи.

Во-вторых, следует понимать, что почти все измерения проводятся многократно, т.е. с множества датчиков постоянно приходит информация, которую нужно обработать и передать дальше по системе.

Каналы связи должны обеспечивать бесперебойный пропуск потока информации, периферийные устройства должны справляться с обработкой большого количества данных.

Библиографический список

1. **ГОСТ Р 51672-2000.** Метрологическое обеспечение испытаний продукции для целей подтверждения соответствия. Основные положения
2. **ГОСТ Р 8.596-2002 ГСИ.** Метрологическое обеспечение измерительных систем. Основные положения
3. Кондрашкова Г.А., Бондаренкова И.В., Черникова А.В. **Метрологическое обеспечение систем контроля и управления: учебное пособие.** – 2-е изд-е, перераб. – / СПбГТУРП. СПб., 2011. – 132 с.: ил. 11.

*Д.А. Матюшкин, студ.; рук. И.В. Тетеревков,
доц., (ИГЭУ, г. Иваново)*

ПРИМЕНЕНИЕ ЭНТРОПИЙНЫХ ОЦЕНОК ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАКОНА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОГРЕШНОСТИ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Современные цифровые системы реализуют множество алгоритмов, предназначенных для обработки данных и управления технологическими объектами. Если в качестве исходных для расчета используются данные, полученные с помощью измерений технологических параметров, то (вследствие наличия погрешности измерений) и результат будет также определен с некоторой погрешностью. Систематическая составляющая погрешности может быть найдена без всяких проблем. Сложнее обстоит дело со случайной составляющей. Ее корректно характеризует ширина доверительного интервала, которая зависит от среднеквадратичного отклонения и значения квантильного множителя. Если оценка СКО – задача, решение которой не представляет никаких трудностей, то определение квантильного множителя осложняется тем фактом, что это значение зависит от закона распределения результирующей погрешности. Как правило, предсказать вид такого закона практически невозможно. Наиболее распространена ситуация, когда распределение погрешности считается нормальным и в лучшем случае эта гипотеза проверяется на непротиворечивость с помощью критериев согласия. В качестве основания такого решения обычно ссылаются на центральную предельную теорему.

Даже если мы допустим, что исходные данные получены с погрешностью, распределенной нормально (что по оценкам специалистов абсолютно неверно как минимум в 40 процентах случаев), то нормальность распределения для погрешности результата гарантировано сохранится лишь в случае, когда вся вычислительная обработка сводится к расчету суммы. Но большинство алгоритмов реализуют гораздо более широкий класс арифметических и логических операций, что (с учетом наличия в системе и аналоговой, и цифровой части) еще больше лишает нас оснований говорить о нормальном распределении погрешности результата. Более перспективным представляется другой подход, когда с помощью имитационных процедур получается выборка значений погрешности результата, а затем производится оценка вида закона распределения с использованием классификации законов в плоскости "энтропийный коэффициент – контрэксцесс"[1].

Методика позволяет работать со следующими классами распределений: экспоненциальные (наиболее распространенный класс, частными случаями являются нормальное и равномерное распределения), трапецидальные, арксинусоидальные, двухмодальные и уплощенные. Первые три класса описываются линиями в рассматриваемой плоскости. Автором получены аппроксимирующие зависимости, связывающие значение энтропийного коэффициента k и контрэксцесса χ для каждого класса. Например, для экспоненциального распределения имеем

$$k = 0,01438 + 9,869\chi - 19,81\chi^2 + 22,63\chi^3 - 12,72\chi^4$$

Двухмодальные и уплощенные распределения соответствуют известным подобластям в плоскости " $k - \chi$ ", параметры этих распределений можно найти исходя из полученных значений энтропийного коэффициента и контрэксцесса.

Автором проведен следующий эксперимент. Выборки значений с экспоненциальным законом распределения с нулевым математическим ожиданием, СКО = 0,5 и различными параметрами α подвергались фильтрации с помощью усредняющего фильтра с шириной окна 5. Результаты приведены в табл. 1, в которой указаны параметр $\alpha_{\text{входное}}$ исходной выборки, математическое ожидание и СКО результирующей погрешности, тип закона и параметры распределения результирующей погрешности, а также значения квантильного множителя t для погрешности результата при доверительной вероятности 0,95.

Таблица 1 – Результаты эксперимента

$\alpha_{\text{входное}}$	МО	СКО	Тип закона	Параметры	t
0,2	-0,373	0,195	двухмодальное	$a=1,46; \alpha=0,657; \sigma_{\text{экс}}=0,129; C_{\text{Д}}=1,13$	8,492
0,25	-0,38	0,195	двухмодальное	$a=1,45; \alpha=0,625; \sigma_{\text{экс}}=0,138; C_{\text{Д}}=1,048$	8,497
1/3	-0,006	0,177	экспоненциальное	$\alpha=0,992$	2,119
0,5	-0,013	0,2	экспоненциальное	$\alpha=1,326$	2,063
1	-0,015	0,226	экспоненциальное	$\alpha=1,714$	2
1,5	-0,004	0,229	экспоненциальное	$\alpha=1,845$	1,981
2	-0,007	0,222	экспоненциальное	$\alpha=2,171$	1,939
4	-0,01	0,214	экспоненциальное	$\alpha=2,218$	1,934
7	-0,013	0,215	экспоненциальное	$\alpha=2,196$	1,936
10	-0,014	0,213	экспоненциальное	$\alpha=2,41$	1,913

Результаты эксперимента показывают, что для малых значений α распределение погрешности результата существенно отличается от нормального. Так, для $\alpha = 0,25$ в квантиль распределения в 4,34 раза превышает квантильный множитель нормального распределения. Это наглядно показывает преимущество использования энтропийных оценок.

1. Новицкий П. В., Зограф И. А. Оценка погрешностей результатов измерений. Л.: Энергоатомиздат, 1991. 304 с.

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

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ В ПРОЦЕССЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ В САПР ВЕРХНЕГО УРОВНЯ АСУТП

Современные системы автоматизированного проектирования (САПР) обладают внушительным функционалом, позволяющим максимально сократить долю участия человека в процессе разработки проекта автоматизированной системы управления технологическими процессами (АСУТП). Многие виды работ выполняются в САПР в полностью автоматическом режиме на основе жёстких алгоритмов, не учитывающих в полной мере все характерные особенности проекта. В итоге, пользователю доступен результат, который часто не обеспечивает максимальную эффективность решения, так как каждый алгоритм разработан под типовую задачу и не учитывает специфики как самого объекта управления, так и требований к его эксплуатации. Не учитывается также и квалификация пользователей системы, на долю которых выпадает лишь обязанность корректного описания структуры (моделей) данных и самих данных. Некоторые САПР предоставляют пользователю возможность настройки или разработки собственного алгоритмов, но, в большинстве случаев, эти инструменты оказываются для пользователя чрезвычайно сложными, так как требуют владения дополнительными знаниями и навыками в области САПР.

Одна из основных задач, возникающих перед разработчиком САПР – создать механизм, результат которого не уступает по качеству и эффективности результату, который может быть получен при решении аналогичной задачи ведущими специалистами в данной области. И в то же время, алгоритмы проектных процедур в САПР должны быть максимально понятны пользователю и должны обладать способностью изменяться в соответствии со спецификой конкретного объекта и со стандартами проектной организации. Решение задачи находится в области экспертных систем, опирающихся на адаптивные прикладные базы знаний. Адаптивность таких систем должна иметь встроенные механизмы обучения и самообучения. Важнейшей составной частью подобных систем должна быть способность критериальной оценки реализуемости и эффективности проектных решений.

В качестве пилотной задачи, в рамках решения которой в САПР верхнего уровня АСУТП интегрирован функционал экспертной системы, выбрана задача компоновки комплекса технических средств (КТС) программно-технического комплекса (ПТК) АСУТП.

Среди основных особенностей экспертной системы, функционал которой реализован в механизме автоматизации стоит выделить наличие двух баз знаний:

- Глобальной базы знаний экспертной системы, расположенной на сервере, доступ к которому осуществляется по сети интернет. Данное решение позволяет любому клиенту САПР получить доступ ко всей информации, накопленной в процессе работы системы. Глобальная база знаний содержит типовые варианты решений.
- Локальной базы знаний, настроенной на конкретный проект и расположенной на сервере проектной организации или локальном персональном компьютере. Локальная база знаний содержит оригинальные варианты решений, адаптированные под конкретную организацию.

Обучение экспертной системы и совершенствование решений (формирование локальной базы знаний) производится постоянно в процессе работы пользователя – эксперта в ручном режиме (частичная автоматизация рутинных операций) или системы в автоматическом режиме (максимальная степень автоматизации). Таким образом, реализована возможность адаптации алгоритма и создания не типовых вариантов решений.

Оценка качества решений, являющихся результатом как автоматической работы системы, так и ручной работы пользователя. Оценка эффективности производится путем расчета показателей качества. Кроме того, присутствует возможность сравнения показателей качества, рассчитываемых в процессе анализа действительного результата (полученного автоматически в процессе работы системы или ручной работы пользователя) и эталонного результата (результат, который мог быть получен при применении типового решения).

В докладе приводится структура САПР и функциональные особенности её компонентов применительно к САПР, разработанной для АСУ ТП, реализуемых на средствах линейки ТЕКОН.. Обсуждаются принципы построения адаптивных баз знаний.

Секция 4. ТЕХНОЛОГИЯ ВОДЫ И ТОПЛИВА. ЭКОЛОГИЯ ТЭС И ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

*Председатель секции доцент «Химии и химических технологий в энергетике» к.т.н. Н.А. Еремина
Секретарь секции к.т.н., доцент Е.А. Карпычев*

*Е.Д. Римашевская, маг.; рук. В.А. Чиж, к.т.н., доц.
(БНТУ, г. Минск)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ БАРОМЕМБРАННЫХ СХЕМ ОБЕССОЛИВАНИЯ ВОДЫ НА ТЭС И АЭС

Переход на новейшие технологии обессоливания воды позволит достигнуть более высокого уровня надежности и экономичности работы энергообъектов и снизит их нагрузку на экологию[1].

Целью настоящей работы является исследование экологической эффективности схем обессоливания водонагревательных (ТЭС) и атомных (АЭС) электростанциях, основанных на баромембранных технологиях. Для достижения поставленной цели в работе проведены расчеты и анализ различных баромембранных схем обессоливания воды с использованием компьютерной программы IMSDesign 2015.

Научная новизна проведенных исследований состоит в проведении сравнительного анализа схем обессоливания воды, основанных на баромембранных технологиях, при проектировании ВПУ с использованием программы IMSDesign 2015. Личный вклад автора заключается в проведении сравнительной оценки экологической эффективности баромембранных схем обессоливания воды различных компоновок.

Результаты работы могут использоваться для решения широкого класса задач по очистке природных и технологических вод ТЭС и АЭС при проектировании новых и модернизации существующих ВПУ.

В качестве объекта для проектирования ВПУ выступает ТЭС мощностью 340 МВтс энергоблоками сверхвысоких давлений с барабанными котлами. Расчетная производительность ВПУ ТЭС по обессоленной воде составила 164,6 м³/ч.

В состав оборудования предочистки входят динамические осветлительные фильтры ДОФ-3,0-0,6-ОВТ [2], обеспечивающие высокое качество осветленной воды при меньших габаритах [2,3]. В качестве коагулянта используют сернокислый алюминий Al₂(SO₄)₃.

После предочистки весь поток осветленной воды направляется на установку нанофильтрации (УНФ), а затем на мембранный деаэрактор для удаления свободной углекислоты, образовавшейся в результате распада бикарбонатов. Деаэрированная вода подается на установку обратного осмоса (УОО).

После обработки по выбранным схемам качество воды соответствует нормам качества воды для подпитки барабанных котлов.

Результаты расчета схем обессоливания воды представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Сравнение эффективности схем обессоливания воды

	Схема 1	Схема 2	Схема 3	Схема 4
Тип предочистки	Динамические осветлительные фильтры ДОФ-3,0-0,6-ОВТ [2] максимальной производительностью 140 м ³ /ч, 2 шт., коагулянт Al ₂ (SO ₄) ₃			
УНФ	Одноступенчатая однокаскадная, гидравлический КПД установки 70%; мембранные элементы ESNA1-LF-LD (Hydronautics), 132 шт.			
Деаэрация	Мембранный деаэрактор, 4 модуля 10×28, производительность до 56,8 м ³ /ч			
УОО	Трехкаскадная	Трехкаскадная с рециклом концентрата	Четырехкаскадная	Четырехкаскадная с рециклом концентрата
	Гидравлический КПД установки 85%; мембранные элементы CPA6-LD (Hydronautics), 162/174/180/180 шт.			

Таблица 2 – Состав стоков схем обессоливания воды

Показатель	Схема 1	Схема 2	Схема 3	Схема 4
Объем стоков УОО, м ³ /ч	29,0	28,9	29,0	29,0
Солесодержание стоков УОО, мг/л	50,2	54,6	55,1	55,4
рН стоков УОО	7,65	7,60	7,60	7,61

В результате анализа полученных результатов проектирования, расчета и сравнения ВПУ с различными схемами обессоливания можно сделать следующие выводы:

- при одинаковых условиях работы и качестве используемой воды солесодержание пермеата составило не более 0,2 мг/кг, что соответствует требованиям к качеству обессоленной воды для подпитки барабанных котлов;
- при обессоливании воды во всех схемах использовались мембраны одного типа. Из расчетов видна экономия мембранных элементов при обессоливании воды по схеме 1 с трехкаскадной УОО;
- при обессоливании воды по всем схемам объем сточных вод примерно одинаков, однако наименьшее солесодержание стоков достигается при обессоливании воды по схеме 1 с трехкаскадной УОО.

Таким образом, наиболее экологичной и ресурсосберегающей является схема обессоливания 1 с трехкаскадной УОО.

Библиографический список

1. **Хяютина Е.С.** Новое оборудование требует модернизации водоподготовки и водного режима // Энергетика Беларуси, №17, 2015. С.5; №18, 2015. С.6.
2. **Балаев И.С.,** Кучма Г.Г., Репкин М.В., Ханларов Г.В., Мельников И.А. Опыт внедрения динамических осветлителей при очистке природных и сточных вод. –V научно-практическая конференция «Современные методы водоподготовки и защиты оборудования от коррозии и накипеобразования», 29 октября 2013 г., Москва, «Экспоцентр».
3. **Пантелеев А.А.,** Рябчиков Б.Е., Ларионов С.Ю., Жадан А. В., Шилов М.М.. Оборудование для осадительных методов очистки воды. Наиболее эффективные зарубежные решения. - www.mediana-filter.ru/st_p2.html

*Е.Д. Римашевская, маг.; рук. В.А. Чиж, к.т.н., доц.
(БНТУ, г. Минск)*

РАЗРАБОТКА И АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ УТИЛИЗАЦИИ НАТРИЙСОДЕРЖАЩИХ СТОКОВ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ОБЕССОЛЕННОЙ ВОДЫ НА ТЭС И АЭСПО БАРОМЕМБРАННЫМИ МЕТОДАМ

Переход на новейшие технологии обессоливания воды позволит достигнуть более высокого уровня надежности и экономичности работы энергообъектов и снизит их нагрузку на экологию[1].

При обессоливании воды на установках с сокращенными количествами стоков и сокращенными количествами реагентов образуются нейтральные или кислые стоки, не содержащие в своем составе катионов жесткости (солей кальция и магния) [2,3]. Эти стоки представляют собой растворы с ценными натриевыми солями, которые можно утилизировать в процессе получения подпиточной воды для тепловых сетей или же систем оборотного охлаждения конденсаторов паровых турбин ТЭС.

Целью настоящей работы является исследование экологической эффективности схем обессоливания воды на тепловых (ТЭС) и атомных (АЭС) электростанциях, основанных на баромембранных технологиях. Для достижения поставленной цели в работе проведены расчеты и анализ различных схем утилизации натрийсодержащих стоков баромембранных схем обессоливания воды.

Научная новизна проведенных исследований состоит в проведении сравнительного анализа разработанных схем утилизации натрийсодержащих стоков схем обессоливания воды, основанных на баромембранных технологиях.

Личный вклад автора заключается в проведении сравнительной оценки экологической эффективности баромембранных схем обессоливания воды.

Результаты работы могут использоваться для решения широкого класса задач по очистке природных и технологических вод ТЭС и АЭС при проектировании новых и модернизации существующих водоподготовительных установок (ВПУ).

Библиографический список

1. Хаютина Е.С. Новое оборудование требует модернизации водоподготовки и водного режима // Энергетика Беларуси, №17, 2015. С.5; №18, 2015. С.6.
2. Римашевская Е.Д. Совершенствование малоотходных технологий ХВО // Актуальные проблемы энергетики, №71, 2015. С.254-227.
3. Римашевская Е.Д. Разработка малосточной ВПУ ТЭЦ // Электроэнергетика глазами молодежи – 2015, том 2, 2015. С.358-363.

*А.А. Дроздов, маг.; рук. А.И. Пирогов, д.х.н., профессор
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ХИМИЯ АМИНОСОДЕРЖАЩИХ СОЕДИНЕНИЙ В ЭНЕРГЕТИКЕ

В теплоэнергетике широко используется целый ряд аминов, что обусловило выбор темы работы.

В настоящее время аминосодержащие реагенты благодаря своим свойствам прочно закрепились в качестве базовых реагентов для проведения следующих технологических операций: предотвращение образования железоокисных и медистых отложений, предотвращение накипеобразования, создание защитных пленок на поверхностях теплоэнергетического оборудования (пассивирование металлов), предотвращение коррозии оборудования, химические очистки оборудования и пр.

В ходе работы были рассмотрены следующие соединения: аммиак, гидразин, этилендиаминтетрауксусная кислота, хеламин, октадециламин. Аммиак и гидразин используются при ведении водно-химического режима на ТЭС с прямоточными и барабанными котлами, так называемый гидразинно-аммиачный водный режим (ГАВР). Также ГАВР используется и при ведении ВХР 2-го контура двухконтурных АЭС[1]. Хеламин и октадециламин нашли применение для коррекции ВХР барабанных котлов. Их применение обусловлено следующими специфическими свойствами:

1) эти пленкообразующие амины имеют полярные молекулы, которые сорбируются на поверхности металла или его оксидов, покрывая их защитным слоем.

2) соединения такого типа обладают щелочными свойствами, что исключает необходимость использования дополнительных реагентов для коррекции pH [2].

Хеламин нашел широкое применение в теплоэнергетике. Он применяется при ведении водно-химических режимов, для предпусковой отмывки и консервации теплоэнергетического оборудования и в системах теплофикации.

При наличии хеламина в воде скорость коррозии углеродистой стали и латуни снижается примерно в 1,8 раза при температуре от 25 °С до примерно 100 °С, уменьшается и скорость коррозии углеродистой стали в воде при температуре около 330 °С. Хеламин можно дозировать в питательную или добавочную воду, что определяется режимом работы ТЭС.

Следует отметить, что при хеламинном ВХР отпадает необходимость в проведении консервации, так как защитная пленка хеламина образуется на поверхности металла в процессе работы оборудования и сохраняется при его останове.

Хеламин является основной заменой гидразинно-фосфатно-аммиачному режиму для котлов как низкого и среднего, так и высоко-го и сверхвысокого давлений, котлов-утилизаторов и парогазовых установок [3].

Этилендиаминтетрауксусная кислота (ЭДТК) и ее Na-замещённые соли используются на ряде станций для коррекции водно-химического режима барабанных котлов. Комплексоны, в молекулы которых входят атомы трехвалентного азота, обладают способностью образовывать с ионами большинства металлов прочные комплексы, хорошо растворимые в воде. Этот реагент имеет ряд преимуществ перед фосфатной обработкой котловой воды, в частности, результаты испытаний показали, что толщина отложений при комплексно-щелочном водно-химическом режиме значительно меньше, чем при фосфатном.

При ведении этого ВХР образуются защитные плёнки на поверхности металла. Однако стоит отметить, что в связи с большим удельным расходом реагента и его высокой стоимостью, широкого распространения комплексно-щелочной водный режим не получил.

В настоящее время водно-химические режимы ТЭС и АЭС базируются на применении аминоксодержащих соединений и в перспективе большая роль будет уделяться использованию аминов в теплоэнергетике – этополиамины: хеламин, эпурамин, цетамин, в частности, на

энергоблоках ПГУ всё большее распространение набирает хеламинный водно-химический режим. Для АЭС – это морфолин, этаноламин, которые в последнее время успешно заменяют аммиак и гидразин.

Библиографический список

1. **Маргулова Т.Х., Мартынова О.И.** Водные режимы тепловых и атомных электростанций: Учеб. для вузов по спец. «Технология воды и топлива на тепловых и атомных электростанциях». - 2-е изд., испр. и доп. – М.: Высш.шк., 1987. – 319с.

2. **Воронов В.Н.** Водно-химические режимы ТЭС и АЭС: учебное пособие / В.Н.Воронов, Т.И.Петрова; под ред. А.П. Пильщикова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2009. – 240 с.: ил.

3. **Временный** регламент по коррекционной обработке хеламином теплоносителя котлов давлением 2,4 – 13,8 МПа (хеламинный водно-химический режим). РД 153 – 34.1 – 37.534 – 2002.

A. Yu. Budaeva, post-graduate; E.N. Bushuev, Doctor of Engineering Sciences, professor; M.V. Filatova, Candidate of Philological Sciences, assistant professor (ISPU, c. Ivanovo)

VALUATION AND CONTROL OF WATER CHEMICAL EXHAUST BOILERS' CONDITION FOR A STEAM-TO-GAS SYSTEM.

While designing water chemical condition maintaining of exhaust boilers the requirements of manufacturers and regulatory documents [1,2] are considered.

The necessary and sufficient complete conditions of water thermal liquid chemical parameters for exhaust boilers and steam to water channels and steam-to-gas systems of typical pressures diagrams PVT and coordination of these standards and methods of quantitative chemical analyses with the indication metrological characteristics are required.

Regulated chemical parameters are parameters defining the intensity of negative or positive processes in steam and water channels.

As an example it is possible to point out mass concentration of chlorides valuation [2] in feedwater (not more than 3 mcg/dm³) and boiler water (not more than 1200 mcg/dm³ while being phosphate or treated by sodium hydroxide) in exhaust boilers.

Mass concentration of chlorides in boiler's water in exhaust boiler is not regulated [3] when water aminocompound chemical condition is used.

The reasonable solution is to define the mass concentration of chlorides in boiler's water, though in this case one has to prove its necessity, because exhaust boiler's economizers and circulation contours are made of pearlitic steels.

The specified in the standard normative maximum allowable value of mass sodium concentration in steam for drum exhaust boiler (10 mcg/dm^3) is more than in its feedwater (5 mcg/dm^3) while feedwater treatment by amino-containing substances [2] is given in regulation.

As a rule steam as for its actual quality doesn't concede feedwater.

Thus expediency of derogation in some cases from the existing requirements (recommendations) [2] while designing the map for water chemical condition maintaining based on the results of thermal chemical test and trial operation is evident.

When inspecting water chemical conditions of exhaust boilers for steam-to-gas system the confirmation of this fact was received.

This report is based on data analysis of the operational control of water chemical condition exhaust boilers a number of steam-to-gas system. It is contained recommendations for the establishment of quality standards heat-transfers of one and two-circuit cascade exhaust boilers with continuous purging and the mapping on the maintaining water chemical condition. These recommendations are used in the industry of start-up and commissioning works.

References

1. **Rules of technical** operation of electric stations and networks of the Russian Federation. GD 34.20.501-95.
2. **Water treatment** plant and water chemistry of thermal power plants. The conditions of establishment. Regulations and requirements. IS 70238434.27.100.013-2009. – M. publ. INVEL, 2009.
3. **Gromov, E. B.** The study of the effect of octadecylamine on erosion and corrosion resistance of structural materials of power plants thermal and nuclear power plants: dis. Candidate of Engineering – Ivanovo, 2002.

*А.Ю. Будаева, аспиp.; рук. Е.Н. Бушyев, д.т.н., доц.;
Е. В. Зайцева, к.т.н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)*

ЛАБОРАТОРНАЯ ПРОВЕРКА ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОЮЩИХ КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ ОЧИСТКИ ОТ БУГОРЧАТЫХ ЖЕЛЕЗО- ОКСИДНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ИСПАРИТЕЛЬНЫХ ТРУБ ПАРОВЫХ КОТЛОВ

При любом качестве котловой воды и наличии внутритрубных отложений шлама неизбежна подшламовая коррозия труб [1, 2], хотя и с разными скоростями, в зависимости от водно-химического и тепло-гидравлического режимов парового котла. Уплотнившиеся отложения шлама неэффективно удаляются при очистках «на ходу» котлов. Сле-

довательно, для предотвращения дальнейших повреждений труб требуется эксплуатационная очистка внутренних поверхностей труб испарительных экранов и, в первую очередь, труб солевого отсека, где обнаруживаются бугорчатые уплотнившиеся отложения шлама на огневой стороне труб.

Данные научных исследований [1–3], и результаты химических анализов бугорчатых отложений шлама указывают на увеличенную массовую долю соединений меди в этих отложениях. Действительно, как отложениям шлама, так и переходу соединений меди в эти отложения способствуют большие тепловые потоки на экранные трубы котла.

При выборе технологии эксплуатационных химических очисток котлов существует необходимость:

- совмещения очистки относительно чистых труб испарительных экранов чистого отсека и значительно локально загрязнённых труб солевого отсека. Трубы чистого отсека могут быть очищены как химически простыми моющими растворами, так и парохимически при пароводо-кислородной обработке;

- обеспечения удаления плотных локальных отложений шлама, так как под их остатками возможно продолжение развития подшламовых язв;

- эффективного ингибирования коррозии при очистке из-за практического отсутствия пассивирующей плёнки на дне язв под отложениями шлама и наличием микротрещин межкристаллитной коррозии;

- предотвращения омеднения очищенной стали, которое возможно из-за большой массовой доли соединений меди. Омеднение стали провоцирует гальванокоррозию с анодным растворением железа;

- уменьшения скоплений шламовых продуктов очистки, подлежащих механическому удалению из котла.

В последние годы в России стали чаще использовать специализированные моющие кислотные ингибированные композиции (комплексные реагенты, моющие средства) как зарубежного, так и российского производства. В группу кислотных технических реагентов, находящихся спрос в энергетике России и характеризующихся как эффективные, входят Дескалер и МСК (ЗАО "ГД ХЕМИКС", Белоруссия), Ауге-PROAc (ООО "ПК МАХИМ", г. Казань, Россия). На основании сведений, полученных в ходе промышленной проверки этих реагентов, можно сделать следующие выводы:

- об эффективности указанных реагентов;
- недостаточности сведений для выбора реагента и технологических условий эксплуатационной очистки котла;

- необходимости проверки указанных реагентов с использованием образцов труб котла в лабораторных условиях (пробной очистки).

Несмотря на длительный положительный опыт российской теплоэнергетики и отработанность технологических регламентов с изложением их в руководящих документах, как и в случае химической очистки котла, ингибированной минеральной кислотой, при его очистке композицией, содержащей органические вещества, требуется предварительное лабораторное уточнение – подбор условий очистки с использованием образцов труб чистого и солевого отсеков.

В лабораторных условиях получена сравнительная оценка технологической эффективности кислотных ингибированных моющих реагентов Дескалер и МСК, AugePROAc60, AugePROAc55. Её результаты характеризуют кинетику удаления внутритрубных отложений и подтверждают техническую эффективность реагента AugePROAc60 при очистке котлов от медистых и плотных железоксидных отложений. Основной вклад в процесс очистки обусловлен их разрыхлением. Скорость очистки при этом пропорциональна загрязнённости труб.

Библиографический список

1. **Манькина Н.Н.** Физико-химические процессы в пароводяном цикле электростанций. М.: Энергия, 1977. 256 с.
2. **Акользин П.А.** Предупреждение коррозии металла паровых котлов. М.: Энергия, 1975. 294 с.
3. **Виноградов В.Н.** Нейтронно-активационный анализ отложений из экранных труб парового котла высокого давления. Отчёт по НИР. Иваново: 1980.

*Трухин Д.С. студ.; рук. ЛАРИН А.Б. к. т. н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНЫХ СТЕНДОВ ОЧИСТКИ ВОДЫ НА ТЭС И АЭС

В настоящее время все большее внимание уделяется совершенствованию обработки и химконтроля водного теплоносителя на ТЭС и АЭС. В связи с повышением требований и ужесточением норм, предъявляемых к качеству водного теплоносителя, необходимо совершенствование технологий водоподготовки и водно-химического режима [1].

На кафедре ХХТЭ ИГЭУ активно ведутся исследования по совершенствованию методов водоподготовки и водно-химического

режима ТЭС и АЭС, а также разработки по созданию и эксплуатации учебных и исследовательских лабораторных стендов, моделирующих различные системы очистки воды для ТЭС и АЭС [2, 3].

На основе результатов исследований, была разработана универсальная и наглядная стендовая установка для изучения и проведения исследования процессов, проходящих при обработке воды.

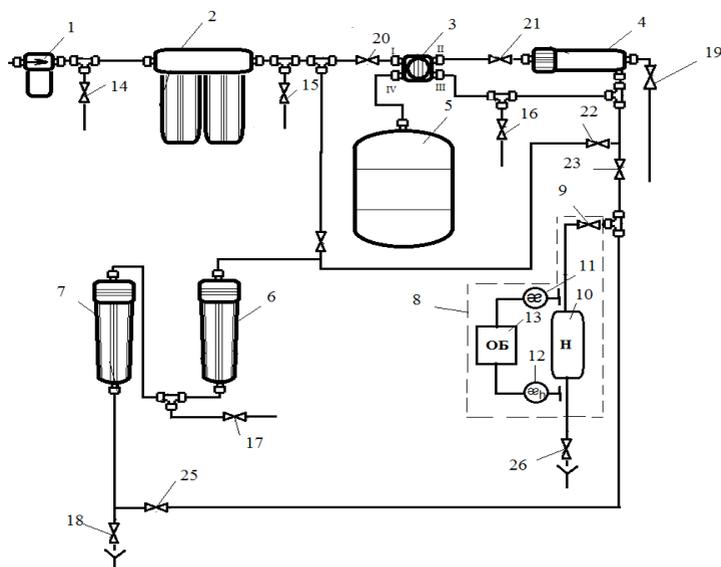


Рис 1. Лабораторная установка обратного осмоса и химического обессоливания:

1 - питательный насос, 2 - механический фильтр, 3 - четырехходовой переключатель потока, 4 - мембранный обратногоосмотический фильтр, 5 - накопительный бак, 6 - Н-катионитный фильтр, 7 - ОН-анионитный фильтр, 8 - автоматический измерительный блок, 9 - кран регулирующий расход пробы, 10 - Н-катионитная колонка, 11 - первый датчик электропроводности, 12 - второй датчик электропроводности, 13 - обрабатывающий блок, 14 - 18 задвижки отбора пробы, 19-26 задвижки.

Лабораторная установка обратного осмоса и химического обессоливания воды сконструирована с использованием оборудования, предоставленного фирмой «НПК Медиана-фильтр» с возможностью изменения схемы очистки воды и работы в следующих режимах:

- обработка воды по методу химического обессоливания, заключающаяся в процессе ионного обмена между ионами, находящимися в воде, и ионами функциональных групп ионообменных материалов Н-катионитных и ОН-анионитных фильтров;

- обработка воды по методу обратного осмоса, заключающаяся в пропуске обрабатываемой воды под давлением через полупроницаемую мембрану, которая задерживает на своей поверхности примеси растворенных в воде веществ;

- обработка воды по методу двухступенчатого обессоливания, т.е. доочистке воды на обратноосмотическом фильтре, получения воды лучшего качества на дополнительной ступени обессоливания.

Установка обеспечивает возможность лабораторного контроля изменения показателей качества воды на каждом этапе обработки контроль качества обработанной воды путем измерения электропроводности с последующим расчетом pH и концентраций ионных примесей в расчете на NaCl.

При разработке стенда был проведен патентный поиск, проанализированы известные технические решения в области подготовки и контроля качества воды и лабораторного и исследовательского оборудования, подтвердивший соответствие разработанного лабораторного стенда критериям патентоспособности, и подана заявка на получение патента РФ.

На стенде «Лабораторная установка обратного осмоса и химического обессоливания воды» проводились гидравлические и пусконаладочные испытания, разработаны методические указания для лабораторных работ и планируется его запуск в учебный процесс. В результате использования стендов в учебном процессе студенты специальности «Технология воды и топлива» могут получить обширные знания и навыки по технологиям обессоливания воды на ТЭС и АЭС.

Библиографический список

- 1. Развитие** автоматического химического контроля водного режима на ТЭС / А.Б. Ларин//Материалы Международной научно-технической конференции «Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологии»(XVIII Бенардосовские чтения)». – Иваново: ИГЭУ, 2015 – Т.2. – С. 106 – 110.
- 2. Пат.** 2348031 (RU), Анализатор примесей конденсата и способ их определения / Б.М. Ларин, Е.Н. Бушуев, Е.В. Козюлина, А.Б. Ларин, С.В. Киет// Официальный бюллетень «Изобретения. Полезные модели» 2009 №6 – 7 с.
- 3. Пат.** 2573453 (RU), Способ определения pHмалобufferных предельно разбавленных водных растворов типа конденсата / Б.М. Ларин, А.Б. Ларин, Сорокина А.Я., С.В. Киет//Официальный бюллетень «Изобретения. Полезные модели» 2016 №2 – 8 с.

**Ю.В. Сачихина, студ.; рук. Е.В. Зайцева, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)**

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ОЧИСТКИ ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ КОТЛА

Образование отложений и накипи в котлах неизбежный процесс. Отложения имеют малую теплопроводность и ухудшают теплопередачу. При появлении отложений происходит перегрев металла. Становится возможным образование отдулин, язв, трещин и, как следствие, разрыв теплообменных труб. Для предотвращения износа и разрушения труб в процессе эксплуатации необходимы их химические очистки. Своевременно и качественно выполненная эксплуатационная очистка котла способствует также уменьшению выноса в проточную часть турбины «пылевых» частиц отложений, отслаивающихся при резких изменениях теплогидравлического режима котла [1].

Скорость образования отложений на внутренних поверхностях теплообменных труб в процессе эксплуатации зависит от вида сжигаемого топлива и конструктивных особенностей котла, обуславливающих тепловые нагрузки, от водно-химического режима котла. На количество и состав эксплуатационных отложений существенное влияние оказывает количество пусков и остановов котла, эффективность проводимых во время остановов мероприятий по его консервации.

Химическая очистка включает следующие этапы: водная отмывка; химическая очистка; пассивация. Для эксплуатационной очистки теплоэнергетического оборудования чаще всего [2] применяют следующие химические реагенты: трилон Б, серная кислота, катамин АБ, каптакс, моноцитрат аммония, этилендиаминтетрауксусная кислота, лимонная кислота, винная кислота, а так же их комбинацию. Для правильного выбора комбинации реагентов необходимо изучить состав и количество отложений.

На Костромской ГРЭС в 2012 году была проведена химическая очистка котла ТГМП-1202. Этот котел был пущен в эксплуатацию в 1980 году.

В РД [3] сказано, что проведение эксплуатационной очистки пароводяного тракта котла блока СКД обязательно при достижении предельной температуры или загрязнённости труб, расположенных в наиболее теплонапряжённых участках, как правило, в НРЧ. Предельная загрязнённость обогреваемой стороны НРЧ при КАВР – 250 г/м². На рис. 1 приведено накопление количества отложений в НРЧ котла ТГМП-1202 за весь период его эксплуатации.

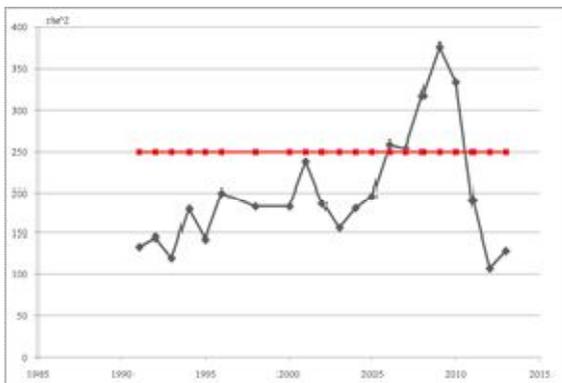


Рис. 1.Количество отложений в НРЧ котла ТГМП -1202

- ◆ максимальное количество отложений по вырезкам;
- ◆ допустимое количество отложений СО.34.37.306-2001;

Из рис. 1, видно, что критического уровня количество отложений достигло в 2009 году, что свидетельствует о целесообразности проведения кислотной промывки. Также в этом году было увеличение температуры по температурным вставкам до 520°С. Для проведения химической очистки, было выбрано применение этилендиаминтетрауксусной кислоты с последующей пассивацией аммиаком. По окончании отмывки был проведен анализ оставшихся отложений, который показал: удельная загрязненность внутренних поверхностей котла менее 250 г/м²(что соответствует нормам), при этом в составе отложений наблюдается снижение Fe₂O₃на 92,2% и CaO+MgOна 3,6%, содержание других соединений также снизилось.

Таким образом, проведение химической очистки теплоэнергетического оборудования снижает содержание малотеплопроводных отложений, что позволяет увеличить его коэффициент полезного действия при сжигании такого же количества топлива.

Библиографический список

1. **Зайцева Е.В.,** Шатова И.А. Выбор технологии эксплуатационной очистки внутренних поверхностей котла / Состояние и перспективы развития энерготехнологии. Материалы международной научно-технической конференции «XVIII Бенардосовские чтения», Иваново. 2015, с. 99 – 102.
2. **Маргулова Т.Х.,** Мартынова О.И. Водные режимы тепловых и атомных электростанций. М.: Высш. шк., 1987.-319с.: ил.
3. **РД 34.37.403-91.** Методические указания по эксплуатационной химической очистке котлов энергоблоков сверхкритического давления.

*И.А. Чернова, маг.; рук. Е.А. Карпычев, к.т.н. доц.
(ИГЭУ, г.Иваново)*

ПОДАВЛЕНИЕ ФЛОТАЦИОННОГО ВЫНОСА ШЛАМА НА ВПУ ТЭЦ

На водоподготовительных установках ТЭС, где для предварительной очистки воды используется коагуляция солями алюминия и железа, возможно ухудшение качества коагулированной воды в рабочем диапазоне гидравлических нагрузок осветлителя. В большинстве случаев причинами этого является флотационный вынос шлама. Возникает этот процесс в силу ошибочного выбора точек ввода реагентов в процессе обработки воды и несовершенства конструкции осветлителей.

Эффект флотации удается подавить при увеличении габаритов и (или) совершенствовании конструкции воздухоотделителей осветлителей. В некоторых случаях, из-за отсутствия возможности увеличения габаритов, требуется использование альтернативных методов. Одним из них является барботажная дегазация при аэрации воды.

Дегазацию воды можно осуществлять непосредственно перед осветлителем, после ввода коагулянта, например, в щелевых деаэраторах (декарбонизаторах) или при размещении в водяном объеме воздухоотделителя барботажных устройств (воздушных перфорированных коллекторов), по которым в объём коагулированной воды подается сжатый воздух.

Проанализированы лабораторные [1] и промышленные результаты использования барботажной дегазации воды. В первом случае эффект дегазации достигался путём барботирования пробы коагулированной воды сжатым воздухом с помощью аквариумного компрессора. Во втором случае для дегазации воды в приёмной камере горизонтального отстойника-сепаратора производительностью 300 м³/ч смонтировано два перфорированных барботажных коллектора.

В лабораторном эксперименте удалось достичь уменьшения концентрации свободной углекислоты в коагулированной воде, по сравнению с начальным значением, примерно на 70 % – в промышленном эксперименте около 15 %. Основной причиной различия результатов лабораторных и промышленных экспериментов является недостаточная интенсивность подачи барботажного воздуха. По данным лабораторных опытов оптимальное значение интенсивности аэрации воды составило 0,05 м³/(м³·ч). Полученные результаты целесообразно использовать для разработки и реализации малозатратных реконструкций ВПУ.

Библиографический список

1. Карпычев Е. А., Ларин Б.М. Исследование процесса выделения свободной углекислоты из исходной воды при её коагуляции сульфатом алюминия в установках предварительной очистки // Материалы докл. VIмеждународ. мол. научн. конф. «Тинчуринские чтения», 27-29 апр. 2011 г. / Под общ. ред. д-ра физ.-мат. наук, проф. Ю.Я. Петрушенко. В 4 т. Т. 2. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2010 – 239 с. С. 137 – 138.

М.А.Сивачева, О.А.Филинова, А.В.Чугрова, студ.;
рук. В.Б.Лукина, к.х.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

БАКТЕРИИ–ЭКСТРЕМОФИЛЫ В ЗАЩИТЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

В настоящее время главной проблемой в энергетике является захоронение радиоактивных отходов, их переработка и нейтрализация. Зная губительное действие радиации, возник вопрос, а могут ли существовать какие-либо организмы в таких условиях. Поэтому существование микроорганизмов, способных перерабатывать радиоактивные отходы, стало настоящим открытием.

В 1996 году ученые пытались установить уровень радиоактивного заражения в глубине ядерной свалки в Саванна-Ривер. Неожиданно они натолкнулись на нечто, приведшее их в состояние шока: на конце металлического прута, с помощью которого они делали замеры, было обнаружено склизкое прозрачное вещество. Они поместили это вещество в чашку Петри и изучили под микроскопом. Оказалось, что в нем живет целая колония странных оранжевых бактерий, адаптировавшихся к уровню радиации, который в 15 раз превышает смертельную дозу для человека.

Обнаружение этих бактерий стало прорывом для министерства энергетики США, уже давно занимающегося поиском микроорганизмов, которые могут выживать в самой враждебной среде, прекрасно перенося невероятные дозы радиации, процветая при температуре выше точки кипения и поедая токсичные химикаты, которые убили бы любое другое существо.

Все эти особенности делают их потенциально ценными инструментами в рамках усилий министерства по очистке огромных свалок ядерных отходов.

«Экстремофилы» уничтожают токсины, поедая их и разлагая таким путем на относительно безвредные компоненты. Эти микробы могут сокращать угрозу, исходящую от радиоактивных отходов, превращая

их в нерастворимые формы, которые уже не смогут попасть в водонесные пласты и ручьи. Ученые утверждают, что те «экстремофилы», которых они обнаружили в природе, не опасны для человека. Однако с выращенными в искусственных условиях бактериями не все так однозначно, ведь никто не знает, какими могут быть долгосрочные последствия.

Ученым известно около десяти видов «экстремофилов». Первый был обнаружен в 1956 году в штате Орегон. Ученые дали ему название *Deinosococcus*, однако, их настолько восхитила стойкость этой бактерии, что ее прозвали «Конан-бактерия». *Deinosococcus* является одной из самых устойчивых бактерий к действию [ионизирующего излучения](#). Впервые был выделен из консервированного мяса, подвергнутого действию [гамма-излучения](#) целью изучения возможности [стерилизации](#). Описан в 1960г. под названием *Microsococcusradiodurans*, переведён во вновь созданный род *Deinosococcus* в 1981г. Разрабатываются способы использования *Deinosococcusradiodurans* в биоочистке радиоактивно неблагоприятных сточных вод.

Не так давно «экстремофилов» обнаружили на пустынных горных пиках и в замороженных растениях Антарктики. Первая обнаруженная бактерия, Конан, могла адаптироваться к радиации, однако не поглощала химикаты, которые обычно присутствуют в ядерных отходах. Поэтому в 1997 году министерство энергетики начало работать над генетически модифицированной версией Конана, которую ученые назвали Суперконан. Сейчас Суперконан живет в чашке Петри в Военно-медицинском университете США в штате Мэриленд. Эта бактерия справляется и с химикатами, и с радиацией, однако, по словам одного из ее создателей, Майкла Дейли, правительство боится выпускать ее в природу, так как доподлинно неизвестно, чего еще от этих микробов можно ожидать.

Так как новые оранжевые бактерии живут в ядерных отходах, вернуть их в эту среду будет вполне естественным шагом. Ученые полагают, что смогут вырастить *Kineococcus* в пробирке, а затем ввести их в контейнеры и в почву в местах утечки. По мнению доктора Багуелла, потребуется еще лет пять изучать генетическую структуру этой бактерии, прежде чем станет возможен такой эксперимент.

Библиографический список

1. [**KsenijaZahradka**,DeaSlade, AdrianaBailone, SuzanneSommer, DietrichAverbeck, MirjanaPetranovic, ArielB.Lindner, MiroslavRadman. Reassembly of shattered chromosomes in *Deinococcusradiodurans* // Nature. 2006. 27 September 2006. Advanced online publication.][<http://6rasa.ru/yadernye-otxody-budut-poedat-bakterii/>].

2. **Сивачева М.А.**, Филинова О.А., Чугрова А.В., Микробы-экстремофилы в защите окружающей среды (0,2 п.л.), сборник материалов Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 23-26 сентября 2015 г., г.Курск, ЮЗГУ.

3. **Сивачева М.А.**, Филинова О.А., Чугрова А.В., Лукина В.Б. Микробы-экстремофилы в защите окружающей среды, сборник материалов I Международного заочного конкурса научно-исследовательских работ «Перспективы науки – 2015», 12 октября 2015 г., г. Казань, НОЦ «Знание».

Т.А. Смирнова, Ю.А. Жулькова, студ.;
рук Н.А.Ерёмина, к.т.н, доцент
(ИГЭУ, г.Иваново)

СОСТОЯНИЕ ПОЧВ В ИВАНОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Целью работы является определение основных источников загрязнения почв; анализ состояния земель в Ивановской области.

Основные загрязнения почвы начались в XX веке с бурным развитием промышленного комплекса. Под загрязнением почв понимают внесение в грунт нетипичных для него компонентов – так называемых «загрязнителей».

Главными источниками загрязнения являются:

1. Бытовых отходы: с твердыми бытовыми отходами в почву попадает большое количество органических веществ, микроорганизмов, яиц геогельминтов, которые сильно влияют на состав почвы.

2. Химические отходы: сильное загрязнение почвы тяжёлыми металлами приводят к изменению состава микроэлементов и возникновению техногенных пустынь.

3. Атмосферные осадки: по мере накопления органических веществ в почве из них начинают выщелачиваться токсичные металлы. Повышенная кислотность почвы способствует более высокой растворимости таких опасных металлов, как алюминий, кадмий, ртуть и свинец из донных отложений и почв.

4. Сухие осадки: с повышением атмосферного давления и под действием турбулентной диффузии усиливается поступление наружного воздуха в почву, тем самым загрязняя её сухими осадками, которые находятся в атмосфере [1].

В Ивановской области наиболее характерными негативными процессами являются переувлажнение и заболачивание земель, которому подвержены 271,7 тыс.га, подвержено водной эрозии 98,2 тыс.га сельскохозяйственных угодий, заросло кустарником и мелколесьем 22,6тыс.га. Прогнозы и рекомендации по устранению и предупреждению негативных процессов не разрабатывались.

В 2011 году начат X тур агрохимического обследования.[2] В 2014 году обследовано 84,9тыс.га в хозяйствах Гаврилово-Посадского и Родниковского районов. Вся площадь обследовалась с помощью современной техники.

Ивановская область располагает значительными ресурсами пахотных земель, которые год от года сокращаются. Избыточная кислотность – одна из основных причин низкого уровня плодородия, оказывающая отрицательное воздействие на величину урожая сельскохозяйственных культур и его качество. Из-за высокой стоимости работ по известкованию, площадь кислых почв пашни увеличивается, и с 1995 г. по 2010 г. прирост составил 65тыс.га.

Из-за отсутствия должного финансирования мероприятия по повышению плодородия почв выполняются не в полном объеме.[2]

Из числа элементов, подлежащих в настоящее время первоочередному исследованию в почве, являются мышьяк, ртуть, кадмий, свинец и цинк (Класс опасности). Содержание указанных элементов в почве является важнейшим показателем, характеризующим санитарно-гигиеническую обстановку, так как они способны накапливаться в организме человека и оказывать отравляющее и канцерогенное действие. Исследования на содержание токсических элементов в почвах на территории Ивановской области в 2014 году не проводились.

Основной проблемой исполнения функции по государственному мониторингу земель является отсутствие федеральной и региональной программы государственного мониторинга земель.[2]

Предприятия Ивановской области, загрязняющие почву:

1. ОАО «Ивановский бройлер». Опасность представляют жидкие отходы производства, которые приводят к загрязнению реки Шахматки, в результате чего их предельно допустимая концентрация (ПДК) превышена в 300-400 раз;

2. Опытнo-промышленный комплекс закачки промышленных отходов бывшего ОАО "Заволжский химический завод", город Заволжск. Опасность представляет возможность закачки и пролития на поверхность запрещенных веществ, в том числе радиоактивных, с неопределенными экологическими последствиями, так как до недавнего времени фирмой ЗАО «Стройхимматериалы» отходы закачивались не только с территории местного химзавода, но и с других предприятий страны;

3. Отходы бывшего Горкинского химзавода, Родниковский район. Опасность представляет высокая концентрация цинка в отходах, попадающих в ручей Юдинка, протекающий в непосредственной близости от завода, и далее – близлежащих рек. Загрязнения близлежащей

территории, так как завод расположен в черте деревни и доступ на территорию предприятия не ограничен.

Пути решения проблем: реконструкция очистных сооружений; перечисление в местный бюджет компенсации ущерба; решение суда о запрете подвоза промышленных отходов из других регионов страны.[3]

Заключение: в Ивановской области не самая плохая экологическая ситуация. В экологическом рейтинге, составленном общественной организацией «Зеленый патруль» на основании 15 критериев по трем основным сферам - экосфере, техносфере и социуму – Ивановская область улучшила свои позиции.[4]

Библиографический список

1. **Загрязнение** человеком почвы и его последствия. [<http://fb.ru/article/161501/zagryaznenie-chelovekom-pochvy-i-ego-posledstviya-otsenka-zagryazneniya-pochvy>]. Режим доступа (Время обращения 20.09.2015).
2. **Государственный мониторинг земель**. [http://to37.rosreestr.ru/kadastr/zem-monitor/sostoyanie_zemel/] Режим доступа (Время обращения 22.10.2015).
3. **Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека**. [<http://37.gospotrebnadzor.ru/topic/22/>] Режим доступа (Время обращения 18.11.2015).
4. **Организация "Зеленый патруль"**. [<http://greenpatrol.ru/ru/stranica-dlya-obshchego-reytinga/ekologicheskij-reyting-subektov-rf?tid=272>] Режим доступа (Время обращения 05.12.15).

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

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ РЕКИ УВОДЬ В ЧЕРТЕ ГОРОДА ИВАНОВО ПО ВЕЛИЧИНЕ рН

Каждый человек хочет жить в благоприятной среде, для этого необходимо знать, в каком состоянии находятся окружающие воздух, вода и почва, и что влияет на ухудшение их состояния.

Кислотные дожди - явление, которое способно изменить кислотность почвы и воды.

В данном работе мы рассматриваем влияние сточных вод предприятий и смывов с поверхности города Иваново на состояние реки Уводь в черте города.

Река Уводь берет начало в заболоченном лесном массиве юго-западнее д.Бугово Комсомольского района Ивановской области, впадает в реку Клязьму на территории Владимирской области на 30 км от устья. Длина реки 185 км. Река имеет 14 притоков длиной более 10 км.

Наиболее крупные притоки: р. Ухтохма (длина 89 км), р.Вязьма (длина 86 км). На Уводи расположен самый крупный промышленный центр области — г.Иваново. В 1966 году был пущен в эксплуатацию канал «Волга-Уводь» для подпитки Уводьского водохранилища волжской водой (4,4 м куб/с).

В ходе работы в течение двух месяцев проводились отбор проб воды из 4 контрольных точек реки Уводь и последующее измерение рН пробы (см. рис. 1):

- 1 точка (Парк), Парк имени Степанова до сброса сточных вод ОАО «Ивхимпром». Над местом сброса проходит железнодорожный мост. Во время осадков происходит смыв с поверхности земли;
- 2 точка (Хим. Завод), после сброса сточных вод ОАО «Ивхимпром». Рядом с местом сбора находятся гаражи, две текстильные фабрики. При осадках происходит смыв с поверхности земли и прилегающей автомобильной дороги;
- 3 точка (Мост), Соковский мост до сброса сточных вод ИВТЭЦ-2. Примерно в километре от него в Уводь впадает река Талка. Рядом с местом сбора расположены автомобильные дороги, поэтому на поверхности воды присутствуют нефтяные пленки;
- 4 точка (ТЭЦ-2), после сброса сточных вод ТЭЦ-2. Рядом с местом сбора проложены водопроводные трубы, в 300 метрах располагается небольшая автомастерская и автомобильная парковка магазина «Домашний склад».

Измерения проводились в лабораторных условиях на приборе рН-011 МП, результаты изменения водородного показателя представлены на рис. 1

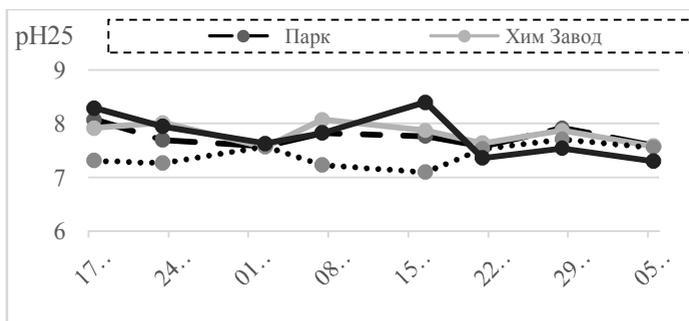


Рис. 1. Изменение рН₂₅ воды

Величина рН во всех точках лежит в пределах нормы от 6,5 до 8,5. На графике можно выделить 3 зоны. В 1 зоне наблюдается снижение величины рН до одинакового значения к 1 октября 2015. Это объясняется засушливой погодой, отсутствием смыва с поверхностей и сбросов сточных вод. Во 2 зоне (с 01.10 по 22.10) наблюдаются скачки величины рН. Это обусловлено обильным выпадением осадков в этот период и смыва с поверхности. Максимальное значение рН достигается 15 октября, в этот же день значения в разных точках существенно отличаются, что может свидетельствовать о сбросах сточных вод от ТЭЦ-2. В 3 зоне происходит выравнивание величины рН в связи с сухой погодой, пониженной температурой атмосферного воздуха, замерзанием поверхностей, отсутствием сброса сточных вод и смыва с поверхности. Для более точного учета факторов, приводящих к изменению величины рН в дальнейшем необходимо производить также измерение рН осадков и сточных вод.

Библиографический список

1. **Физико-химические процессы** в техносфере : учебник/ К.И.Трифонов, В.А. Девислов. – М. : ФОРУМ: ИНФРА-М, 2010.-240 с.
2. <http://ibrain.kz/ekologiya/kislotnye-dozhdi>.
3. https://ru.wikipedia.org/wiki/Кислотный_дождь.

Секция 5. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕПЛОТЕХНИКИ

Председатель секции

зав. кафедрой «Теоретические основы теплотехники»

д.т.н., профессор В.В. Бухмиров

Секретарь секции аспирант М.Г. Сулейманов

А.С. Шмыгалев, асп.; рук. Б.П. Жилкин, д.ф.-м.н., проф.,

(УралЭНИИУрФУ, г. Екатеринбург)

В.Н. Фасхиев, асп.; рук. Л.В. Жукова, д.т.н., проф.,

(ХТИ УрФУ, г. Екатеринбург)

ПЕРЕДАЧА ТЕПЛООВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ИНФРАКРАСНЫХ СВЕТОВОДОВ: ВЛИЯНИЕ ИЗГИБА ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА

В настоящее время волоконная оптика является одной перспективных отраслей науки. В рамках развития данного направления исследуются различные классы оптических материалов, наибольший интерес среди которых представляют оптические волокна, работающие в инфракрасном диапазоне длин волн. На данный момент существует ограниченный круг оптических кристаллов, из которых можно получить световоды, обладающие удовлетворительными характеристиками для их дальнейшего использования. Среди всех ныне известных материалов, особо выделяются кристаллы на основе твердых галогенидов серебра не только благодаря широкому диапазону спектрального пропускания (2-40мкм), но целому ряду уникальных свойств, таких как фотостойкость, нетоксичность, негигроскопичность и большая пропускная способность (80%). Кроме того данные кристаллы очень пластичны, что позволяет изготавливать из них оптические волокна простым и дешевым методом экструзии.

Ранее в наших работах описывалась принципиальная возможность передачи теплового излучения с помощью инфракрасных световодов, изготовленных из кристаллов на основе твердых растворов галогенидов серебра. Таким образом, было показано, что указанные оптические волокна можно применять для измерения температуры объектов мето-

дом инфракрасной термографии, в условиях, когда невозможно применять другие методы исследования. В данной работе представлены экспериментальные данные по влиянию изгиба оптического волокна на передачу через него теплового излучения.

Для проведения исследований был взят однослойный инфракрасный световод состава $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}$ длиной 150 мм и диаметром 1,12 мм. Диапазон спектрального пропускания волокна 2,5-25 мкм, показатель преломления 2,2. Для регистрации теплового излучения использовался тепловизор NEC 7102WV, работающий в длинноволновом диапазоне длин волн (8-14 мкм). Световод в защитной оболочке закреплялся в штативе и размещался горизонтально. На одном из торцов волокна фокусировался тепловизор, а к другому на фиксированное расстояние 1 мм подводился элемент Пельтье с температурой поверхности 120°C . По периметру торца световода, для исключения влияния излучений окружающего фона, располагался экран. Тепловизионная съемка показала, что распределение температуры на поверхности элемента Пельтье было равномерное (изменение температуры по поверхности менее $0,5^\circ\text{C}$). С использованием контактных измерений температуры был определен коэффициент излучения поверхности элемента Пельтье, который составил $\varepsilon=0,93$. Также, на основании сравнений результатов бесконтактных и контактных измерений температуры, был определен коэффициент излучения поверхности торца световода $\varepsilon=0,92$. На первоначальном этапе были проведены экспериментальные исследования свойств прямого (незагнутого) оптического волокна методом термографии. Далее световод изгибался до полного поворота торцов в одном направлении (на угол 180°) с шагом в 30° , при этом фиксировалось радиус изгиба световода сохранялся постоянным. На рисунке 1 приведены результаты эксперимента.

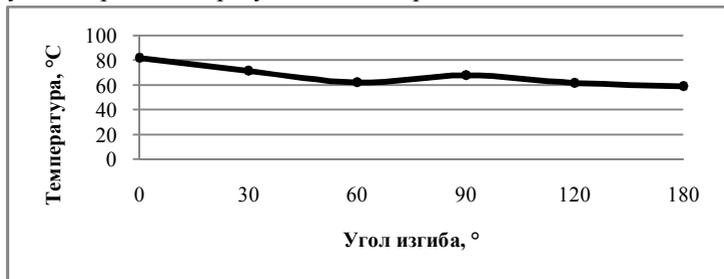


Рисунок 1 – Зависимость температуры на торце исследуемого световода от угла его изгиба.

Исходя из полученных данных, можно сделать вывод, что изгиб оптического волокна влияет на пропускание теплового излучения, что можно объяснить нарушением принципа полного внутреннего отражения, при этом наиболее критичным является изгиб на углы 60 и 120°. Интересно, что при изгибе волокна на 90 градусов пропускная способность падала меньше, чем при 60 и 120°. Для установления причин такого эффекта требуются дальнейшие исследования.

К.Н. Бубнов, А.С. Вышкин студ.; рук. И.М. Чухин к.т.н., доц., (ИГЭУ, г. Иваново)

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧИХ ТЕЛ ПГУ С КОТЛОМ-УТИЛИЗАТОРОМ

Оптимизация параметров рабочих тел парогазовой установки с котлом-утилизатором (ПГУ с КУ) весьма сложная многовариантная задача [1, 2]. Параметры рабочих тел газового контура ПГУ определяют допустимые значения параметров парового контура. В свою очередь при заданной температуре газов перед газовой турбиной t_3 оптимальное значение степени повышения давления воздуха в компрессоре ($v_{\text{оптПГУ}}$) зависит от параметров пара перед ПТУ p_0 и t_0 (рис.1).

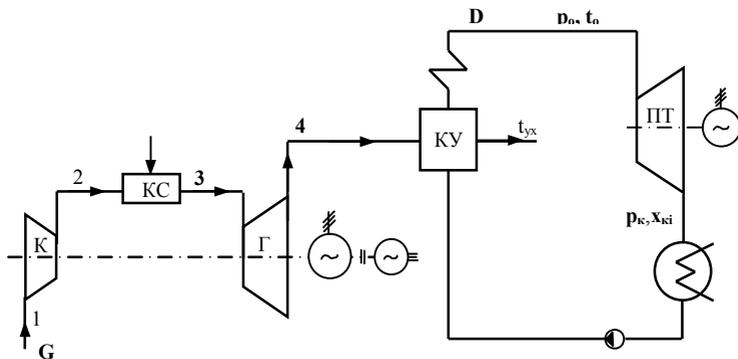


Рис. 1. Схема парогазовой установки с котлом-утилизатором:
 К – компрессор; КС – камера сгорания; ГТ – газовая турбина; КУ – котел-утилизатор; ПТ – паровая турбина; G – расход воздуха; D – расход пара

Особенностью выбора оптимальной степени повышения давления воздуха в компрессоре ($v_{\text{оптПГУ}}$) для ПГУ с КУ, по отношению к $v_{\text{опт}}$ автономно работающей ГТУ, является то, что кроме анализа КПД и удельной работы цикла ПГУ с КУ при оптимизации величины v необ-

ходимо оценивать допустимое значение температуры газов на выходе из газовой турбины, которое должно быть больше температуры пара на входе в паровую турбину t_0 . Для этого определяется область допустимых значений степени повышения давления воздуха в компрессоре для ПГУ с КУ при заданных значениях температур t_3 и t_0 .

Нахождение оптимального значения $v_{\text{оптПГУ}}$ требует вариантных расчетов с учетом практически всех параметров ПГУ.

Что касается выбора оптимальных параметров ПТУ p_0 и t_0 , их всегда целесообразно принимать при сопряженных параметрах, обеспечивающих допустимую степень сухости пара на выходе из паровой турбины $x_{\text{кп}}=0,88$, т.е. снижение p_0 или увеличение t_0 для увеличения $x_{\text{кп}}>0,88$ не приведет к увеличению экономичности ПГУ. Данный вывод подтверждают вариантные расчеты экономичности ПГУ с КУ, приведенные в табл. Эти расчеты выполнялись при $t_1=15$ °С, $t_3=1000$ °С и условии, что разница температур уходящих газов из ГТУ и пара на входе в ПТУ не должна быть менее 100 °С.

Таблица. Результаты оптимизации v , p_0 и t_0 для ПГУ при $t_1=15$ °С и $t_3=1000$ °С

$v_{\text{опт}}$	t_0 , °С	p_0 , бар	t_0 , °С	$x_{\text{кп}}$	$\eta_{\text{внут}}^{\text{ПГУ}}$	$\eta_{\text{внут}}^{\text{ГТУ}}$	$I_{\text{внут}}^{\text{ПГУ}}$, кДж/кг	$\eta_{\text{внут}}^{\text{ПГУ}}$
5	577,6	28	480	0,886	0,337	0,291	2806	0,4781
5	577,6	30	460	0,882	0,339	0,291	2812	0,4777
5	577,6	30	480	0,896	0,341	0,291	2861	0,4794
4	625,2	30	500	0,911	0,344	0,261	2989	0,4634
5	577,6	32	480	0,892	0,339	0,291	2855	0,4781

Обозначения величин, приведенных в таблице: $v_{\text{опт}}$ – оптимальное значение степени повышения давления воздуха в компрессоре; $\eta_{\text{внут}}^{\text{ПГУ}}$ – внутренний абсолютный КПД цикла ПТУ; $\eta_{\text{внут}}^{\text{ГТУ}}$ – внутренний абсолютный КПД цикла ГТУ; $\eta_{\text{внут}}^{\text{ПГУ}}$ – внутренний абсолютный КПД цикла ПГУ; $I_{\text{внут}}^{\text{ПГУ}}$ – удельная работа ПГУ на кг водяного пара.

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

- оптимальное значение степени повышения давления воздуха в компрессоре для ПГУ с КУ всегда соответствует максимально допустимой ее величине при заданных t_3 , t_0 и $\Delta t=t_4-t_0$;
- выбор оптимальных значений параметров пара перед ПТУ p_0 и t_0 для ПГУ с КУ всегда целесообразно вести при минимально допустимом значении степени сухости пара на выходе из турбины $x_{\text{кп}}=0,88$;
- выбор оптимальных значений параметров рабочих тел ПГУ с КУ необходимо вести при ориентации на максимальные значения КПД и работы цикла ПГУ.

Ограничение тепловой экономичности атомных электростанций (АЭС) на насыщенном водяном паре вызвано низкой температурой водяного пара на выходе из парогенератора (ПГ), т.к. она не может превышать температуру критической точки воды [1, 2].

В данной работе рассматривается возможность увеличения тепловой экономичности АЭС на насыщенном паре путем снижения давления пара в конденсаторе. Заявителем предлагается снизить давление пара в конденсаторе ПТУ за счет охлаждения циркуляционной воды в холодильной установке, работающей на аммиаке. Схема такой ПТУ представлена на рис.1. В холодильной установке такой схемы в охладителе используется конденсат ПТУ. Это предполагает получить дополнительное увеличение тепловой экономичности ПТУ за счет увеличения мощности АЭС и подогрева питательной воды.

Для решения данной задачи рассматривался цикл ПТУ АЭС со следующими параметрами рабочего тела: $p_0=6$ МПа, $x_0=0,995$, $x_c=0,99$, $p_{\text{нп}}=0,5$ Мпа, $t_{\text{нп}}=263$ °С, $p_k=4$ кПа (3 кПа), $\eta_{\text{oi}}^{\text{чвд}}=0,85$, $\eta_{\text{oi}}^{\text{чнд}}=0,9$.

Результаты расчета базовой схемы АЭС при давлении в конденсаторе турбины 0,04 бар и предложенной схемы АЭС при давлении в конденсаторе турбины 0,03 бар (АЭС+ХУ) представлены в табл.

Таблица. Данные расчета тепловой экономичности базовой и предлагаемой схем АЭС

Схема	p_k	α_c	$\alpha_{\text{нп}}$	α_1	$\alpha_{\text{ам}}$	$l_{\text{тi}}$	$l_{\text{кi}}$	η_i
	кПа				кГам/кг пара	кДж/кг	кДж/кг	%
Базовая АЭС	4	0,122	0,111	0,224	—	842	—	35,6
АЭС+ХУ	3	0,123	0,112	0,217	1,704	848	195	27,2

Анализируя результаты расчетов, приведенных в таблице можно сделать выводы:

- применение схемы с холодильной установкой снизит КПД АЭС с 35,6 % до 27,2 % при снижении давления в конденсаторе паровой турбины с 4 кПа до 3 кПа;
- снижение тепловой экономичности АЭС обусловлено большими затратами работы (195 кДж/кг_{пара}) на привод компрессора холодильной установки по сравнению с незначительным увеличением работы ПТУ (с 842 кДж/кг до 848 кДж/кг);
- практическая реализация такой схемы не целесообразна.

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.

Блок-схема программы, реализованной в среде программирования Delphi 7, представлена на рисунке 2.

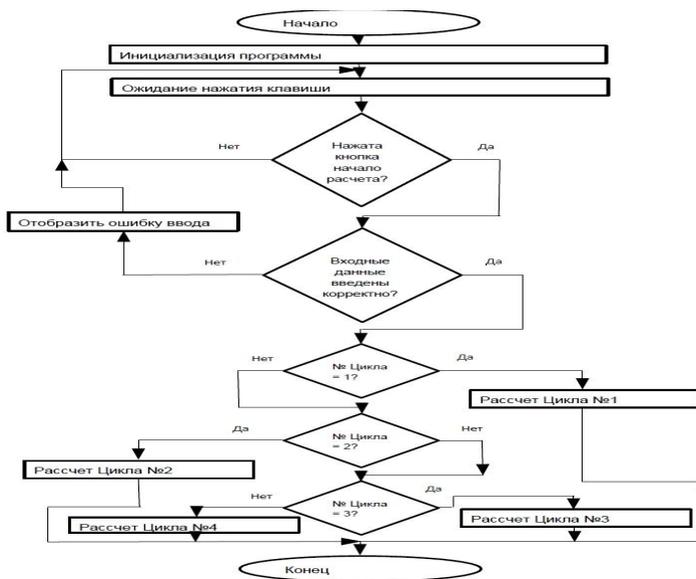


Рис.2 Блок-схема программы.

Разработанный программный комплекс можно использовать как для автоматизации расчета циклов указанных паротурбинных установок при различных параметрах работы технологического оборудования, а так же и в рамках преподавания дисциплин: «Теплотехника» и «Техническая термодинамика».

*А.Н. Горбунова, студ.; рук. В.В. Бухмиров, д.т.н., проф.,
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МИКРОТЕПЛООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ

Для поддержания рабочей температуры микросхем их охлаждают при помощи микротеплообменников, конструкции и расчет которых непрерывно совершенствуются в целях разработки оптимальной конструкции и режимов работы. Данные теплообменные аппараты можно отнести к классу теплообменников с внутренним источником теплоты в качестве которого выступает сама микросхема (микрочип), при работе которой и выделяется джоулево тепло. Микротеплообменник рас-

положен непосредственно на поверхности микросхемы и, как правило, имеет прямоугольные каналы, ширина которых равна $DH=100-500$ мкм ($0,01\div 0,5$ мм), а длина L находится в диапазоне 10-15 мм. Такой теплообменник состоит из нескольких десятков параллельных каналов, изготовленных из кремния или меди.

В микроканальных теплообменных аппаратах используют низкокипящие теплоносители-хладагенты марки R236fa или R245fa, поэтому в каналах протекает двухфазный флюид [2].

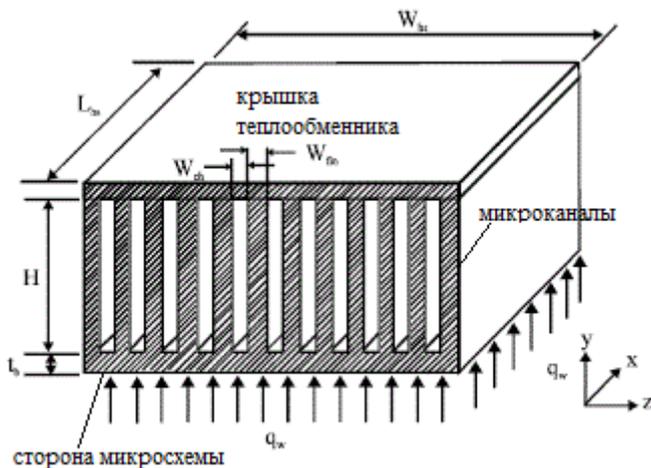


Рисунок 1 – Схема микротеплообменника

Методика расчета микротеплообменника для охлаждения микросхем основана на определении критического теплового потока кипения, для расчета которого профессор Чжан предложил формулу, полученную путем обработки многочисленных экспериментов [1]:

$$Bo = 0,0352 \left[We + 0,0119 \left(\frac{L}{d_h} \right)^{2,31} \cdot \left(\frac{\rho_G}{\rho_L} \right)^{0,361} \right]^{-0,295} \times \left[\left(\frac{L}{d_h} \right)^{-0,311} \cdot \left(2,05 \cdot \left(\frac{\rho_G}{\rho_L} \right)^{0,170} - x_{in} \right) \right] \quad (1)$$

где $Bo = \frac{Q_{кр}}{r \cdot G}$ – критерий кипения (boiling- кипение (англ.));

$We = \frac{\rho \omega^2 d_h}{\sigma}$ – критерий Вебера; ω – скорость потока; $Q_{кр}$ – критиче-

ский тепловой поток; G – поток массы; r – скрытая теплота парообразования; X_{in} – степень сухости пара на входе в теплообменник; ρ_G, ρ_L – плотности насыщенного пара и жидкости; d_h – гидравлический диаметр; σ – сила поверхностного натяжения.

По значению критерия кипения находят критический тепловой поток, зная который из закона теплоотдачи Ньютона можно найти коэффициент теплоотдачи α и выполнить тепловой поверочный или тепловой конструктивный расчет микротеплообменника.

В России микротеплообменники не выпускают. Теплообменные аппараты данного типа аппаратов в настоящее время изготавливают в основном в Китае. Стоимость одного микротеплообменника составляет примерно 48-67\$[3].

- Выводы. 1. Рассмотрена конструкция и принцип действия микротеплообменных аппаратов и область их применения.
2. Приведены основы методики расчета микротеплообменников.

Библиографический список

1. Hetsroni G.. Кипение в микроканалах, 2010.
2. Yougendra Joshi, Xiaojin Wei Micro and meso scale compact heat exchangers in electronics, 2005.
3. <http://ru.made-in-china.com/>

*Ю.А. Кривенко, Е.С. Лукьянова, студ.;
рук. В.В. Бухмиров, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г.Иваново)*

АТЛАС ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ

Теплообменным аппаратом называют устройство, предназначенное для передачи тепла от горячего теплоносителя, к холодному теплоносителю. По принципу действия теплообменные аппараты можно разделить на: регенеративные, рекуперативные и смешительные [1].

Атлас теплообменных аппаратов – это база теплообменников в электронном виде. Он предназначен для того, чтобы систематизировать и упорядочить все виды теплообменного оборудования.

В ходе работы на основе программы Excel был создан электронный каталог всех видов теплообменных аппаратов (рис. 1). Он включает в себя:

1. Информацию об изготовителе и основные характеристики теплообменного аппарата;
2. Общий вид (фотографии теплообменника);
3. Принципиальную схему теплообменного аппарата;
4. Методы расчета теплообменного устройства;
5. Каталог продукции фирмы-изготовителя;
6. Контактные фирмы-изготовителя (адреса, телефоны, ссылки на официальные сайты).

В настоящее время в атлас внесены теплообменное оборудование крупных фирм-производителей, таких как AlfaLaval, Klingenburg, Funke, Ридан, Этра, Машимпэкс, ТЕПЛО ПРОФИ (рис.2) и ряда других [2-5].



Рисунок 1 – Структура атласа теплообменных аппаратов

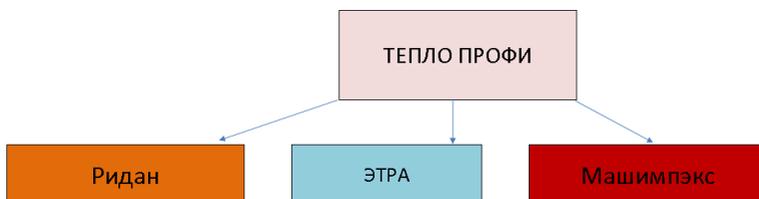


Рисунок 2. – Компании-производители и компании-поставщики

Вывод. Электронный атлас теплообменного оборудования позволяет оперативно получить информацию о существующих типах теплообменных аппаратов, ознакомиться с особенностями данного теплообменника, провести сравнительный анализ эффективности теплообменных аппаратов по заданному критерию.

Библиографический список

1. **Бухмиров В.В.** Теплообмен: Учеб. Пособие / ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2014.-360 с.
2. <http://www.alfa-laval.ru>
3. <http://www.teploprofi.com>
4. <http://etrann.com>
5. <http://www.teplotex.ru>

*Д.А. Кругликов, студ.; рук. В.В. Бухмиров, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОПТИМАИЗАЦИЯ ПЛОСКОГО ПРЯМОУГОЛЬНОГО РЕБРА

В настоящее время при проектировании различных технических устройств в целях сокращения их размеров и интенсификации теплопередачи применяют оребрение теплоотдающей поверхности. Оребрение широко применяется в аппаратах, работающих в условиях свободной конвекции (рис.1), например, для улучшения условий охлаждения узлов электронного оборудования. Кроме этого в электрических машинах, ядерных реакторах, космических аппаратах и других технических устройствах.

Под интенсификацией теплопередачи понимают увеличение количества переданной теплоты (теплового потока) при фиксированных температурах теплоносителей. Эффект достигается благодаря многократному (в десятки раз) увеличению площади теплоотдающей поверхности в расчете на единицу основной (неоребренной) поверхности стенки.

В компактных пластинчато-ребристых теплообменниках (рис.1) теплоносители разделены плоскими поверхностями, а гофрированные вставки играют роль оребрения.

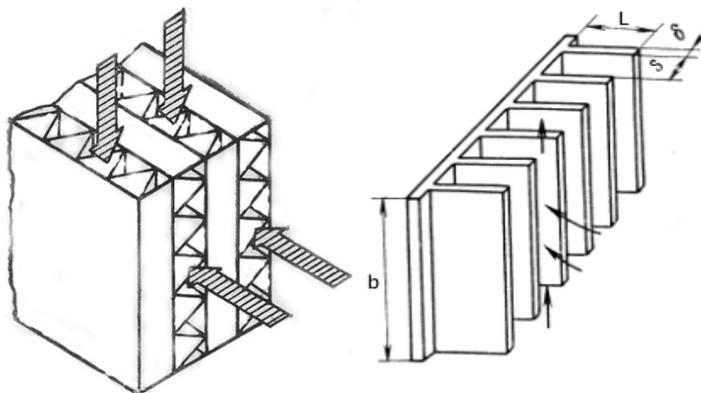


Рис. 1. Оребренные поверхности

L – длина ребра; δ – толщина ребра; b – ширина ребра; S – расстояние между ребрами

Объектом исследований является плоское прямоугольное ребро. Целью работы является поиск максимального значения теплового потока Q , Вт, снимаемого с поверхности прямоугольного ребра (рис.1), исследование влияния коэффициента теплопроводности λ , геометрии ребра (δ , L) на значение теплового потока. Предполагается, что объем ребра и, следовательно, его металлоемкость останутся в процессе поиска неизменными. Конструктивный параметр b задаем постоянным, и тогда в качестве варьируемого проектного параметра можно принять длину ребра L , определяя толщину из ограничения $L\delta = \text{const}$. Температуру основания ребра и температуру окружающей среды также принимаем неизменными. При такой постановке задачи в качестве целевой функции принимаем безразмерную величину теплового потока $Q/(\lambda\Delta tb)$.

Безразмерное значение теплового потока может быть вычислено по формуле [1]:

$$Q / (\lambda\Delta tb) = \sqrt{2Bi} \cdot \text{th}\left(\sqrt{\frac{\ell}{\delta}} \sqrt{2Bi}\right), \quad (1)$$

где Bi – критерий Био, или безразмерный коэффициент теплоотдачи, - определяющий критерий в задачах теплопроводности.

Максимум этой функции имеет место при некотором определенном значении безразмерного комплекса

$$\left(\sqrt{\frac{\ell}{\delta}} \sqrt{2Bi}\right)_{\text{опт}} \quad (2)$$

Поиск оптимальных конструкционных параметров L и δ реализован в среде MathCad и включает в себя следующие блоки:

1 блок – Выбор материала ребра, ввод исходных данных о геометрии ребра;

2 блок – Поиск целевой функции;

3 блок – График изменения целевой функции по длине ребра;

4 блок – Расчет коэффициента эффективности плоского прямоугольного ребра.

Выводы. Выполнена программная реализация алгоритма поиска максимального значения теплового потока. Исследовано влияние коэффициента теплопроводности и геометрии ребра на значение целевой функции. Разработанная программа позволяет удобно и быстро осуществлять поиск максимального значения теплового потока.

Библиографический список

1. Солодов А.П., Цветков Ф.Ф., Елисеев А.В., Осипова В.А. Практикум по теплопередаче / Энергоатомиздат. – Москва, 1986. – 296 с.
2. Ройзен Л.И., Дулькин И.Н. Тепловой расчет ребренных поверхностей, 1977. – 256 с.

Г.В. Кустова, А.С. Данилова, маг.;
рук. В.В. Бухмиров, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ БАЗЫ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ МЕРОПРИЯТИЙ «БЭСМ»

С выходом закона №261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» возникла проблема выбора энергосберегающих мероприятий (ЭСМ). Их технико-экономическое обоснование обуславливается ГОСТом Р «Измерения и верификация энергетической эффективности». В настоящее время предлагается большое количество отечественных и зарубежных решений в области энергосбережения. В связи с этим в «Центре энергоэффективности» ИГЭУ собрана и систематизирована информация об ЭСМ при производстве, транспортировке и потреблении энергии в Базе энергосберегающих мероприятий (БЭСМ), которая создана на платформе Microsoft Excel. Однако программа Microsoft Excel обладает

рядом недостатков, например, случайное нарушение программы или невозможность отследить и протестировать изменения. Поэтому было принято решение написать специализированную программу на языке Delphi.

Первым шагом в программе «БЭСМ» является выбор мероприятия по экономии тепловой и электрической энергии, а также водных и топливных ресурсов (рис. 1).



Рис.1. Начальная страница программы «БЭСМ».

Следующим шагом является выбор материала или оборудования, а также их поставщиков (рис. 2).

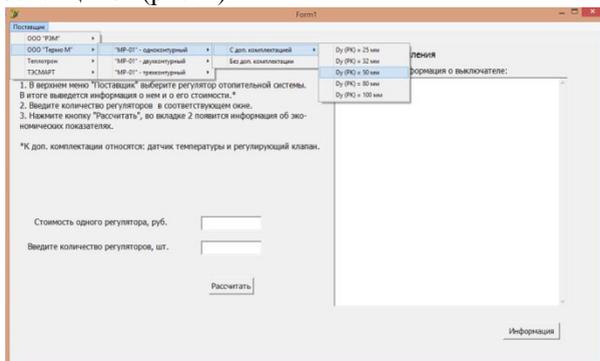


Рис.2. Выбор поставщика оборудования.

Далее в программе проводится расчет экономического эффекта и показателей эффективности проекта: чистого дисконтированного дохода и простого срока окупаемости (рис. 3).

Расчет экономического эффекта:		Расчет экономических показателей эффективности проекта:	
Капитальные затраты на реализацию мероприятий, руб.	41364	Простой срок окупаемости проекта, лет	2,3735
Экономия тепловой энергии, Гкал	22,92	ЧДД, руб.	31140,6
Экономия денежных средств, руб.	17427,222		

Расчеты приведены для тарифа на тепловую энергию в г. Иваново на 2015 г., равному 760,35 руб./Гкал.
Потребление тепловой энергии на отопление в 2015 г. = 0,01528 Гкал/кв.ж.

Рис.3. Расчет показателей эффективности проекта.

Программа записывает результаты расчетов в отдельный файл, с которым по желанию пользователь может ознакомиться.

Программа «БЭСМ» позволяет существенно сэкономить время и облегчает задачу поиска, так как вся информация заложена в «БЭСМ». Пользователю остается только выбрать соответствующий пункт из списка меню. В связи с изменением цен идет постоянный мониторинг крупнейших производителей энергосберегающего оборудования с целью обновления информации о затратности мероприятия.

Вывод:

1. Разработана программа «БЭСМ» на языке Delphi, которая существенно повышает эффективность выбора энергосберегающего мероприятия.

*Т.С.Поднебеснова, студ.; рук. В.В. Бухмиров, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ТЕПЛООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ С НАНОЖИДКОСТЯМИ

Наножидкости продемонстрировали большие возможности в усовершенствовании свойств теплообмена жидкостей и во многих других важных областях. В последние годы были обнаружены различные характеристики, присущие наножидкостям, включая возможность значительного увеличения теплопроводности по сравнению с жидкостями без наночастиц. Такие характеристики открывают широкие возможности для применения этих жидкостей, в частности в областях, где теплообмен играет главенствующую роль для достижения основных задач. Среди этих областей следует отметить кондиционирование возду-

ха, охлаждение и отопление, где использование наножидкостей может принести большую пользу в отношении энергетической эффективности, снижения громоздкости компонентов и усовершенствования смазки компрессоров.

Наножидкости это коллоиды, получаемые из жидкости и наночастиц. Вода, органические жидкости, масла, биожидкости, растворы подимеров и другие могут использоваться в качестве базовой жидкости. Металлы, оксиды металлов, оксид кремния, карбиды металлов, нитриды металлов, углерод в различных соединениях используются для изготовления наночастиц. В отличие от частиц микронного размера они медленнее осаждаются, не приводят к засорению и износу каналов и не подавляют турбулентность дисперсной фазы.[1]Стоимость нанопорошков зависит от частиц, из которых они состоят, в среднем стоимость нанопорошков 12-15 тыс. рублей за кг.

По своей структуре теплообменные аппараты с наножидкостями не отличаются от обычных теплообменных аппаратов. Главное отличие заключается в используемом теплоносителе. Теплопроводность, поверхностное натяжение, вязкость и плотность наножидкости изменяются в зависимости от материала, концентрации и размера наночастиц и оказывают влияние на характеристики теплообмена и течения теплоносителя.

Поскольку исследуемые наножидкости имеют неньютоновские свойства, то число Рейнольдса определяется как для степенной жидкости. Зависимость среднего коэффициента теплоотдачи от числа Рейнольдса сильно зависит от концентрации наночастиц. При увеличении концентрации наночастиц число Рейнольдса увеличивается. При фиксированном значении числа Рейнольдса значение коэффициента теплоотдачи для двух процентной наножидкости более чем на 40 % выше аналогично значения для воды. С уменьшением концентрации наночастиц величина коэффициента теплоотдачи монотонно стремится к значению соответствующему чистой воде. С увеличением концентрации наночастиц локальный и средний коэффициент теплоотдачи возрастают[2].

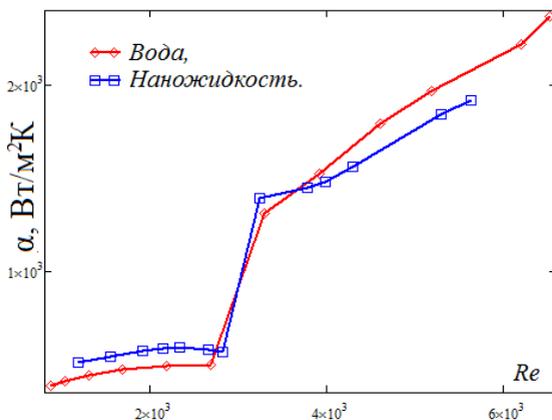


Рис. 1

Положительный для теплообмена эффект от добавки в теплоноситель наночастиц нелинейно зависит от соотношения между вязкостью и теплопроводностью получившейся наножидкости, а значит, от материала частиц и их концентрации. Это дает возможность управления процессом теплообмена путем выбора оптимальных концентраций и материала наночастиц.

Вывод: применение в качестве теплоносителя наножидкости существенно сказывается на величине коэффициента теплоотдачи. При этом может наблюдаться как интенсификация теплообмена, так и его ухудшение.

Библиографический список

1. **В.И. Терехов**, С.В. Калинина, В.В. Леманов. Механизм теплопереноса в наножидкостях: современное состояние проблемы (обзор). Часть 1. Синтез и свойства наножидкостей

*И.С. Соломатов, студ.; рук. В.В. Бухмиров, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г.Иваново)*

АНАЛИТИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ДЛЯ ТЕЛ ПРОСТОЙ И СЛОЖНОЙ ФОРМЫ. ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

Температурное поле в телах простейшей формы при их нагреве или охлаждении находят решением краевой задачи теплопроводности,

которая состоит из дифференциального уравнения и условий однозначности.

Дифференциальное уравнение Фурье имеет вид [1]

$$\frac{\partial \Theta}{\partial Fo} = \frac{\partial^2 \Theta}{\partial X^2} + \frac{k-1}{X} \frac{\partial \Theta}{\partial X}, \quad (1)$$

где $\Theta = (T_f - T)/(T_f - T_0)$ – безразмерная температура; $X = x_1/R$ – безразмерная координата; R – определяющий размер тела; $Fo = at/R^2$ – безразмерное время – критерий Фурье; k – коэффициент формы тела.

Аналитическое решение краевой задачи теории теплопроводности при граничных условиях Шрода в записи профессора Л.А. Бровкина имеет вид [1]:

$$\Theta(X, Fo) = \sum_{n=1}^{\infty} A_n \Lambda_2(\mu_n X) \exp(-\mu_n^2 Fo), \quad (2)$$

где комплекс A_n и лямбда-функция Λ_2 рассчитывают по формулам [1]; μ_n – n -й корень характеристического уравнения

$$Bi \cdot J_{\frac{k-2}{2}}(\mu_n) = \mu_n \cdot J_{\frac{k}{2}}(\mu_n), \quad (3)$$

в котором $J_m(u)$ – функция Бесселя первого рода m -го порядка.

Для программной реализации математической модели процесса теплопроводности был разработан алгоритм нахождения температуры в любой точке простейшего тела в вычислительной среде «Mathcad». На первом этапе решения поставленной задачи были заданы условия однозначности, а затем вычислены безразмерные координаты и критерии Био и Фурье.

Корни характеристического уравнения были найдены параболической интерполяцией табличных значений данных корней, приведенных в справочнике [2] в зависимости от критерия Био.

$$\begin{aligned} Cp11 &:= pspline(BioC, \mu1) & \mu_1 &:= interp(Cp11, BioC, \mu1, Bi1) = 1.4569 \\ Cp12 &:= pspline(BioC, \mu2) & \mu_2 &:= interp(Cp12, BioC, \mu2, Bi1) = 4.1902 \end{aligned}$$

Рисунок 1 – Параболическая интерполяция в среде «Mathcad»

Функции Бесселя были найдены при помощи стандартной команды «Mathcad» – J0. Затем рассчитывали значения комплексов A_n и лямбда-

функции Λ_2 в зависимости от формы тела простой формы. Рассчитанные значения сомножителей подставляли в решение (2). При этом для регулярного режима теплопроводности, который наступает при $Fo \geq 1/3k$, ограничивались только первым слагаемым ряда. Для начального периода теплопроводности расчет слагаемых ряда (2) ограничивали погрешностью $\varepsilon = 0,00001$.

Также разработан вариант программы для расчета температурных полей тел сложной формы (короткий цилиндр, бесконечный брус, параллелепипед) по формуле

$$\Theta = \prod_{i=1}^m \Theta_i, \quad (4)$$

где Θ_i – безразмерные температуры простых тел составляющих данное сложное тело; m – количество простых тел, составляющих сложное тело.

Вывод. Разработан простой и удобный инструмент для расчета температурных полей тел простой и сложной формы в вычислительной среде «Mathcad».

Библиографический список

1. Бровкин Л.А. Температурные поля тел при нагреве и плавлении в промышленных печах. Иваново: ИЭИ им В.И. Ленина, 1973. 365 с.
2. Бухмиров В.В., Ракутина Д.В., Солнышкова Ю.С. Справочные материалы для решения задач по курсу «Тепломассообмен»/ГОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2009. – 102 с.

*Мальцев А.С., студ.; рук. Созинова Т.Е. к.т.н, доц.
(ИГЭУ г.Иваново)*

РАЗРАБОТКА БАЗЫ ЗАДАЧ ПО РАЗДЕЛУ «СТАЦИОНАРНАЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ И ТЕПЛОПЕРЕДАЧА» КУРСА «ТЕПЛОМАСОБМЕН»

Теплопроводность – один из элементарных способов переноса теплоты, заключающийся в передаче теплоты посредством микрочастиц в переменном поле температур.

Одним из видов сложного теплообмена является теплопередача. Теплопередача – это процесс переноса теплоты от одной текучей среды к другой через непроницаемую стенку.

В данной работе рассматриваются стационарные процессы: стационарная теплопроводность и стационарная теплопередача.

Цель работы: решение задач теплопроводности и теплопередачи с применением различных методик расчета для сравнения результатов; классификация по виду искомой величины и форме рассматриваемой поверхности теплообмена.



Рис. 1. Классификация задач

В данной работе было проделано:

1. Сбор задач из различных задачник по курсу «Тепломассобмен» [2-8];
2. Классификация заданий по соответствующим темам;
3. Решение данных задач, проверка правильности ответов;
4. Выбор конкретных задач и запись примеров их решения;

5. Составление базы данных с классификацией задач стационарной теплопроводности и теплопередачи.

В соответствии с формулировкой и заданными условиями определена классификация задач [1], представленная на (рис. 1).

В рамках этой классификации составлена база задач по разделу «Стационарная теплопроводность и теплопередача». В базе представлены как прямые, так и обратные задачи.

Библиографический список

1. **Бухмиров В.В.** Тепломассообмен: Учеб. пособие/ ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2014. – 360 с.
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.,** Исаев С.И. Задачник по технической термодинамике и теории тепломассообмена. Учебн. пособие для энергомашиностроит. спец. Вузов/ под ред. В.И. Крутова и Г.Б. Кожин и др. – М.: Высш. шк., 1986. – 383 с.: ил.
5. **Дрыжаков Е.В.,** Исаев С.И. и др. Сборник задач по технической термодинамике и теплопередаче. – М.: Высш. шк., 1968.
6. **Шатров М.Г.** Сборник задач по теплотехнике. – М.: Издательский центр «Академия», 2012. – 272 с.

Спирина М.А., студ.;

Созинова Т.Е., к.т.н., доц., Бухмиров В.В., д.т.н., проф.

(ИГЭУ, г. Иваново)

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ РАЗВИТИЯ ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В РОССИИ И В МИРЕ

В данной работе рассмотрен вопрос использования геотермальных ресурсов в России и за рубежом.

Энергия недр нашей планеты – это по-настоящему огромный и практически неиссякаемый ресурс. Геотермальная энергетика – это созданная природой форма «ядерной» энергии, которая находится в недрах нашей планеты. Первая в мире геотермальная станция была введена в эксплуатацию в 1911 году в Италии в городе Ландрелло [1].

По данным Глобального доклада «Возобновляемые источники энергии 2015» [2] организации REN21 (RenewableEnergyPolicyNetworkforthe 21 century), лидерами по установленной мощности на геотермальных станциях являются США (3,5 ГВт), Филиппины (1,9 ГВт), Индонезия (1,4 ГВт), Мексика (1,0 ГВт), Новая Зеландия (1,0 ГВт),

Италия (0,9 ГВт), Исландия (0,7 ГВт), Кения (0,6 ГВт), Япония (0,5 ГВт) и Турция (0,4 ГВт).

В 2014 году в мире было введено около 640 новых геотермальных мощностей. Лидерами по введению новых геотермальных мощностей стали Кения (+ 56 %), Турция (+ 17 %), Индонезия (+ 10%), Филиппины (+8%), Италия (+ 6%), Германия (+3%) [3]. Таким образом, общая мощность геотермальной энергетики в мире на конец 2014 года составила 12,8 ГВт [3].

В России на данный момент действует пять ГеоЭС [4], которые находятся на Камчатке и на Курилах. Камчатка была и остается передовым регионом в нашей стране в области геотермальной энергетики, так как в нем сосредоточено более 90% установленной мощности отечественных ГеоЭС. На Камчатке расположено три геотермальные станции: Паужетская ГеоЭС (12 МВт), Верхне-Мутновская ГеоЭС (12 МВт) и Мутновская ГеоЭС-1 (50 МВт) [4].

Стоимость производства электроэнергии при использовании геотермальных энергетических ресурсов может конкурировать с другими источниками энергии (см. табл.) [5].

В использовании тепла земли есть определенные плюсы: во-первых, геотермальная энергетика является наиболее экологически безопасным методом получения энергии, во-вторых, подземная энергия – это неиссякаемый возобновляемый источник энергии.

Таблица – Себестоимость производства электроэнергии на технологиях ВИЭ в ЕС [5]

	Себестоимость в 2013 году, евро/кВт.ч
Гидроэнергетика: крупные	0,016 – 0,182
малые	0,040 – 0,316
Ветроэнергетика: наземная	0,032 – 0,127
морская	0,119 – 0,182
Солнечная энергетика: фотоэлектрическая	0,127 – 0,301
термодинамическая	0,134 – 0,301
Биомасса	0,032 – 0,190
Геотермальная	0,040 – 0,111
Приливная энергия	0,166 – 0,221
Средний тариф на электроэнергию в ЕС	0,137 (для населения), 0,094 (для предприятий)

Одним из достоинств геотермальной энергетики является использование пара и воды для отопления, водоснабжения и получения электрической энергии.

К минусам использования геотермальной энергии можно отнести географическую привязанность ГеоТЭС к месторождениям парогидротерм, что ограничивает область применения геотермальных ресурсов.

Выводы:

1. Доля возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в общем мировом потреблении энергоресурсов составляет 2 %. Геотермальная энергия в общем объеме ВИЭ составляет менее 1 %, однако за последние 10 лет прирост энергоустановок, использующих энергию недр земли, составил 35 % [5].
2. Россия, обладая значительными ресурсами парогидротерм, занимает лишь 14 место по установленной мощности ГеоЭС [4].

Библиографический список

1. <http://www.energyofnature.org> (дата обращения 15.12.2015)
2. <http://www.ren21.net/Portals/0/documents/e-paper/GSR2015KF/index.html#/0> (дата обращения 15.12.2015)
3. <http://renewable.com.ua/geo-energy/225-teplo-zemli-dlya-lyudej.html> (дата обращения 15.12.2015)
4. Колесников Д.В., Любин А.А., Шулюпин А.Н. Проблема использования геотермальных ресурсов Камчатки. Электрические станции. – Москва, 2015 №4. – с.16-19.
5. Дакалов М.В. Экономические аспекты развития возобновляемых источников энергии в странах ЕС. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата экономических наук. – Москва, 2015. – 27 с.

*Квасников А.П., Маковкин С.А., Морару Е.Д., студ.;
рук. Ю.С. Плетникова, к.т.н.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ КОНВЕКТИВНОГО ТЕПЛООБМЕНА ПРИ ПОМОЩИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

В инженерной практике нередко возникает ситуация, когда необходимо определить тепловой поток или количество теплоты, теряемое за определенный промежуток времени телом известной геометрической формы и размеров. При этом крайне важной задачей является определение коэффициента теплоотдачи в процессе конвективного теплообмена. В большинстве типовых случаев (потери тепла трубопроводами, баками, стенами зданий) коэффициент теплоотдачи принимается равным нормативной величине. Однако при таком подходе к расчету учитывается только геометрия тел, все остальные немаловажные составляющие: размеры тела, ориентация относительно поверхности пола

(земли), теплофизические свойства окружающей текучей среды, температура тела и окружающей среды не принимаются во внимание.

Для учета многочисленных факторов, влияющих на величину коэффициента теплоотдачи, используют критериальные зависимости, полученные по результатам серий экспериментов. Расчет проводят по критериальным уравнениям, переходя от безразмерных величин к размерным. Ряд основных критериальных уравнений приведен на сайте [1].

Данная научная работа посвящена автоматизации расчета коэффициента теплоотдачи и производных от него величин (плотностей теплового потока, количества теплоты и др.). Расчет автоматизирован в среде Excel и проведен по критериальным уравнениям, приведенным на сайте [1].

В программе возможно сравнение результатов расчета, полученных по формулам разных авторов. С использованием программного комплекса решено более 100 задач конвективного теплообмена.

Библиографический список

<http://ispu.ru/node/8115> [Электронный ресурс] - дата обращения 05.11.2015.

*И.М. Яшин, К.А. Никитов, студ.;
рук. Ю.С. Плетникова, к.т.н., доц.,
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА РАСЧЕТА СТАЦИОНАРНОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ С ВНУТРЕННИМИ ИСТОЧНИКАМИ ТЕПЛОТЫ

Расчет процесса стационарной теплопроводности при наличии внутренних источников теплоты основан на решении краевой задачи теории теплопроводности [1]. Для тел простейшей формы дифференциальное уравнение теплопроводности при наличии внутренних источников теплоты имеет вид:

$$\frac{d^2T}{dx_1^2} + \frac{k-1}{x_1} \frac{dT}{dx_1} + \frac{q_v}{\lambda} = 0, \quad (1)$$

где x_1 – первая координата в ортогональной системе координат, м; k – коэффициент формы тела; T – температура, К; q_v – внутренние источники (стоки) теплоты, Вт/м³; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К).

Решение уравнения (1) для тел классической формы (бесконечная пластина, бесконечный цилиндр и шар) приведено в книге [1].

Целью научной работы является разработка в среде C++ комплекса для расчета температурных полей и тепловых потоков при охлаждении тел простейшей формы при действии в телах внутренних источников теплоты. Данная задача решена для случая равномерного распределения источников теплоты по объему тел при граничных условиях I и III рода.

Исходными данными для расчета при граничных условиях III рода являются условия однозначности для решения дифференциального уравнения теплопроводности: геометрические размеры и форма тела, теплофизические свойства материала тела, мощность внутренних источников теплоты, температура флюида и коэффициент теплоотдачи. Для граничных условий I рода исходными данными являются условия однозначности, указанные выше, но вместо температуры флюида и коэффициента теплопроводности задают температуру поверхности тела.

В результате расчета получена зависимость температурного поля и плотности теплового потока от координаты. Кроме этого, вычислительный комплекс позволяет рассчитывать температуры и тепловой поток в тепловом центре и на поверхности тел, а также перепад температуры по сечению тел.

Для наглядного представления результатов расчета построены зависимости температуры и плотности теплового потока от координаты, а также зависимость температуры от мощности тепловыделений. Кроме этого, построены графические зависимости температуры и плотности теплового потока от коэффициента теплопроводности, коэффициента теплоотдачи и температуры флюида.

На рис. 1 приведен внешний вид окна вывода результатов программного комплекса. На рис. 1 также представлена зависимость температуры от координаты бесконечной пластины.

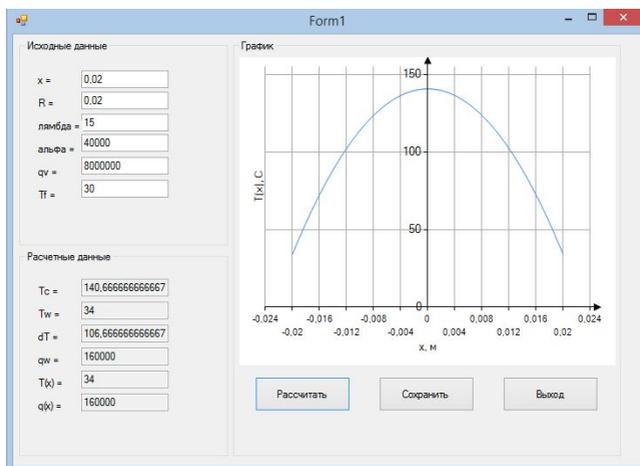


Рис. 1. – Зависимость температуры пластины от координаты

Из рис. 1 видно, что наибольшая температура по сечению пластины наблюдается в ее тепловом центре.

При помощи данного вычислительного комплекса возможно также рассчитать теплообмен при отводе теплоты только через внутреннюю или только через наружную поверхность бесконечного цилиндра.

В рамках научной работы с использованием вычислительного комплекса были доработаны задания для контроля студентов специальности «Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг» по теме: «Стационарная теплопроводность в телах простейшей формы с равномерно распределенными внутренними источниками теплоты».

Библиографический список

1. Кириллов П.Л., Богословская Г.П. **Тепломассообмен в ядерных энергетических установках:** Учебник для ВУЗов. – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 456 с.

*В.С.Рыбин, студ.; А.А.Чистова, студ.;
рук.Г.А.Родионов, к.т.н., В.В.Бухмиров, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕКУПЕРАТИВНОГО ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА «ТРУБА В ТРУБЕ»

Целью работы является математическое моделирование процессов гидродинамики и теплообмена в рекуперативном теплообменном ап-

парате «труба в трубе», установленного в лаборатории кафедры ТОТ, при помощи современного программно-вычислительного комплекса (ПВК) AnsysFluent.

В рамках работы была подготовлена геометрическая модель теплообменного аппарата при помощи САД системы AutodeskAutoCad, которая полностью соответствует геометрии рабочего участка лабораторного стенда.

В ПВК AnsysFluent для численного моделирования применяется метод конечных элементов, поэтому была построена расчетная сетка состоящая из 251581 расчетных узлов.

В качестве краевых условий в данной работе указывались следующие параметры:

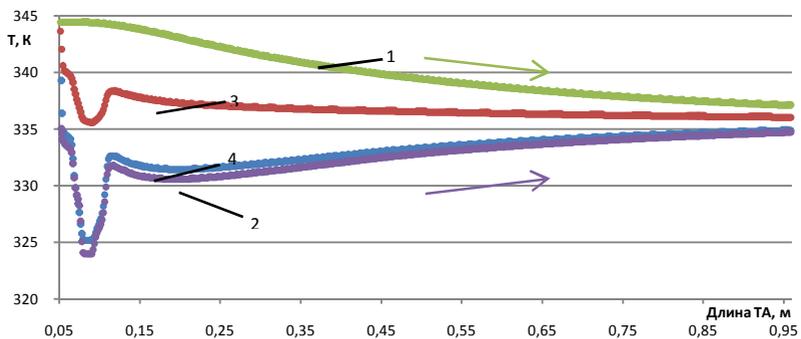
- массовый расход горячего и холодного теплоносителей;
- температура на входе горячего и холодного теплоносителей;
- теплофизические свойства воды;
- теплофизические свойства стенок теплообменного аппарата;
- направление движения теплоносителей (прямоток или противоток);

В результате расчета на численной модели процессов гидродинамики и теплообмена для разных режимов работы теплообменного аппарата были получены:

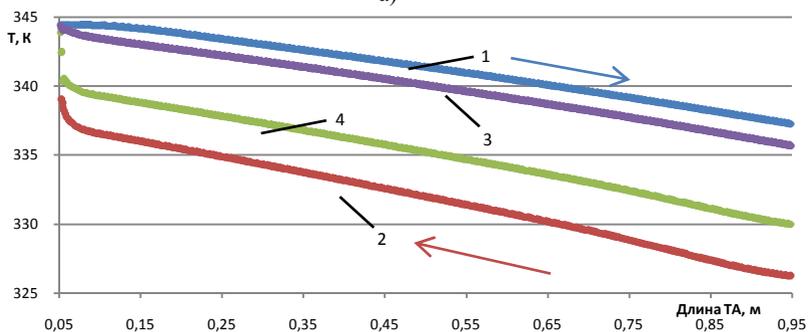
- температурные поля теплоносителей (рисунок 1);
- поля скоростей теплоносителей;
- локальные и средние значения коэффициентов теплопередачи и теплоотдачи;
- температуры теплоносителей на выходе из теплообменного аппарата;
- потери давления в теплообменном аппарате.

Адекватность расчетов на ПВК AnsysFluent была проверена путем сравнения расчета с экспериментальными данными по температуре теплоносителей, полученными на лабораторном стенде кафедры ТОТ. Отклонение расчета и эксперимента не превышает 15%.

Результаты расчета температур теплоносителей и стенки трубы при прямотоке и противотоке приведены на рисунке 1а и 1б.



а)



б)

Рисунок 1. – Температура стенок и теплоносителей по длине теплообменного аппарата «труба в трубе»

1,2 – температура горячего и холодного теплоносителей соответственно,
3,4 – температура на поверхности стенок со стороны горячего и холодного соответственно

Выводы:

1. Разработана численная модель теплообменного аппарата типа «труба в трубе» в ППК AnsysFluent.
2. Проверена адекватность численной модели, погрешность не более 15%.
3. Численное моделирование теплообменного аппарата позволяет получить более детальную информацию о процессах гидродинамики и теплообмена по сравнению с экспериментом.

*Е.А. Каленова, студ.;
рук. М.В. Пророкова, асс., В.В. Бухмиров, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОМФОРТНОГО МИКРОКЛИМАТА В ПОМЕЩЕНИИ

Главной целью функционирования систем отопления вентиляции и кондиционирования в жилых, общественных и административных зданиях является создание комфортных условий для человека. Если указанные системы правильно спроектированы, осуществляется регулирование параметров их работы в зависимости от изменяющихся условий внутренней и наружной среды помещений, система терморегуляции организма человека не испытывает нагрузок и человек ощущает чувство «комфорта».

Однако в связи с изменением нормативно-правовой базой Российской Федерации в области энергосбережения, системы энергоснабжения зданий часто подвергаются реконструкции в целях сокращения потребления топливно-энергетических ресурсов (ТЭР).

Целью научно-исследовательской работы стал анализ влияния на ощущение теплового комфорта человеком различных факторов, которые могут изменяться при внедрении энергосберегающих мероприятий или при недостаточно эффективном регулировании систем энергоснабжения, формирующих микроклимат помещений.

В качестве условия, определяющего состояние «комфорта» человека в помещении, принято общее уравнение теплового баланса

$$q_n = q_\phi, \quad (1)$$

или

$$q_{ТП} - q_{ДП} - q_{ИП} - q_{ДС} - q_{ДЯ} = q_L + q_K, \quad (2)$$

где q_ϕ – количество тепловой энергии, выделяемое телом человека; q_n – количество тепловой энергии, отдаваемое телом человека окружающей среде за счет конвективного теплообмена и излучения; $q_{ТП}$ – внутренняя теплопродукция тела человека; $q_{ДС}$ – теплопотери через кожу за счет диффузии паров; $q_{ИП}$ – потери теплоты с поверхности кожи при испарении влаги; $q_{ДС}$ – скрытые потери теплоты при дыхании; $q_{ДЯ}$ – явные потери теплоты при дыхании; q_L – потери теплоты излучением с поверхности одежды и непокрытой одеждой поверхности тела человека; q_K – потери теплоты конвекцией.

Расчет составляющих уравнения (2) выполнен по методике, изложенной в [1, 2].

Человек в помещении ощущает чувство «комфорта», если количество

тепловой энергии, выделяемое его телом, равно теплоте, отдаваемой окружающей среде за счет конвективного теплообмена и излучения, т.е. выполняется баланс (1).

Оценка влияния на «комфортность» микроклимата для человека в помещении выполнена по относительному отклонению левой части уравнения (1) от правой, которое названо коэффициентом комфортности теплового состояния человека, по формуле:

$$k = \frac{q_n - q_{\phi}}{q_n} \quad (3)$$

Результаты анализа влияния на состояние «комфорта» человека в помещении представлены в виде номограмм (рис. 1).

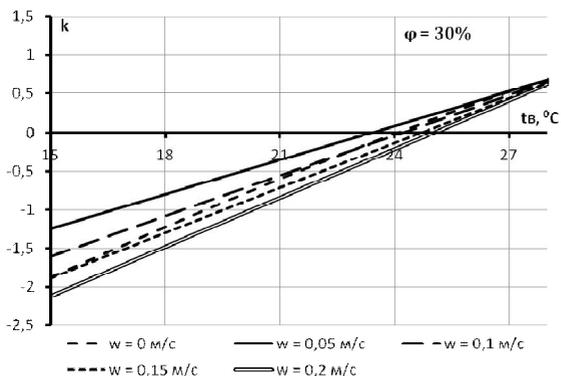


Рис. 1. Номограмма для определения параметром микроклимата, обеспечивающих комфортное состояние человека в учебной аудитории

Номограмма (см. рис. 1) рекомендуется к использованию при определении параметров микроклимата, соответствующих наиболее «комфортному» состоянию человека в помещении, при регулировании режимных характеристик систем энергоснабжения зданий, а также при проектировании систем управления микроклиматом.

Вывод. 1. В результате выполнения научной-исследовательской работы разработаны номограммы для определения параметров микроклимата, соответствующих комфортному состоянию человека в помещении. 2. Номограммы построены на базе решения уравнения теплового баланса человека в помещении.

Библиографический список

1. Мачкаши А., Банхиди Л. Лучистое отопление / пер. с венг. В.М. Беляева. М.: Стройиздат, 1985. – 464 с.
2. Бухмиров В.В., Пророкова М. В. Оценка микроклимата в помещениях жилых, общественных и административных зданий / Вестник ИГЭУ, № 4. Иваново: ФГБОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», 2015. –С. 5-10

*М.Б. Борисов, студ., Д.А. Матюшкин;
рук. М.В. Пророкова, асс., В.В. Бухмиров д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФАКТИЧЕСКОГО ВОЗДУХООБМЕНА УЧЕБНЫХ АУДИТОРИЙ ИГЭУ

В зарубежной и российской литературе в последние годы публикуются исследования, посвященные проблеме «синдрома больного здания» (SickBuildingSyndrome). Как правило, этот синдром наблюдается в недавно построенных или отремонтированных (реконструированных) зданиях и характеризуется жалобами на плохое самочувствие и описанием случаев заболеваний, связанных с проживанием или пребыванием людей в таких зданиях [1].

Как показывают исследования [1, 2] одной из причин «синдрома больного здания» является неэффективная работа системы вентиляции и, как следствие, загрязнение воздуха помещений продуктами дыхания человека, пылью и прочими, потенциально опасными веществами.

В Российской Федерации изменение нормативно-правовой базы в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности стимулирует внедрение энергосберегающих мероприятий, среди которых в жилых, общественных и административных зданиях наибольшее распространение получили мероприятия, направленные на сокращение потребления тепловой энергии. При этом среди приоритетных направлений сокращения потребления тепловой энергии выделяются мероприятия, связанные с повышением теплозащитных свойств ограждающих конструкций (например, наложение тепловой изоляции) и герметизирующие (замена или утепление оконных блоков, входных дверей и ворот). Указанные мероприятия в зданиях с естественной вентиляцией могут привести к снижению воздухообмена помещений и, как следствие, снижению работоспособности и ухудшению самочувствия людей в помещениях зданий.

Целью научно-исследовательской работы было определение фактического воздухообмена учебных аудиторий Ивановского энергетического университета имени В.И. Ленина. Для достижения указанной цели были решены такие задачи, как:

- ознакомление с методикой определения воздухообмена помещений на основе данных по воздухопроницаемости ограждающих конструкций;
- проведение серии экспериментов по определению воздухопроницаемости учебных аудиторий ИГЭУ;

- обработка экспериментальных данных по методике, изложенной в ГОСТ 31167-2003 «Здания и сооружения. Методы определения воздухопроницаемости ограждающих конструкций в натуральных условиях»;
- анализ воздухообмена помещений с точки зрения существующих санитарно-гигиенических норм и норм в области энергосбережения.

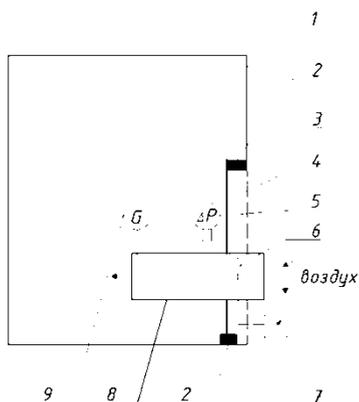


Рис.1. Установка для определения воздухопроницаемости ограждающих конструкций: 1 – ограждающие конструкции помещения; 2 – уплотнение; 3 – дверной проем; 4 – воздухопроницаемая раздвижная дверь; 5 – дифманометр; 6 – осевой вентилятор; 7 – регулятор числа оборотов вентилятора; 8 – труба для выравнивания скорости воздушного потока; 9 – расходомер

При определении воздухообмена учебных аудиторий использована установка, разработанная специалистами ИГЭУ совместно с ООО «Кон-Вен г. Иваново. Схема экспериментальной установки приведена на рисунке 1.

При выполнении научно-исследовательской работы получено, что, например, фактический воздухообмен аудитории А-317 корпуса А ИГЭУ (учебная лаборатория «Техническая термодинамика» кафедры «Теоретические основы теплотехники») составляет $1914,6 \text{ м}^3/\text{ч}$, что соответствует санитарно-гигиеническим нормам (минимум $740 \text{ м}^3/\text{ч}$) [4] и более чем в 2 раза превышает допустимый воздухообмен с точки зрения требований энергосбережения [5]. Избыток поступающего в помещении воздуха приводит к тому, что комфортность

помещения в холодный период года снижается: наблюдаются сквозняки, некомфортно низкая температура воздуха.

Вывод. По результатам выполнения научно-исследовательской работы сделан вывод о соответствии воздухообмена обследованного помещения санитарно-гигиеническим требованиям и несоответствии нормам энергосбережения. Разработаны рекомендации по достижению нормативных значений воздухообмена.

Библиографический список

1. Михадарова, С.А. Синдром Больных Зданий - что это? / оф. сайт ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии». URL: <http://12sanepid.ru/press/publications/1723.html>
2. Табунщиков, Ю.А. Нормативное обеспечение энергосбережения и качества среды обитания / Энергосбережение №8, 2011. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2011.
3. ГОСТ 31167-2003. Здания и сооружения. Методы определения воздухопроницаемости ограждающих конструкций в натуральных условиях.
4. СП 118.13330.2012. Общественные здания и сооружения.
5. СП 23-101-2004. Проектирование тепловой защиты зданий.

*А.К. Гаськов, асс. ; рук. В.В. Бухмиров, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ КРАСОК НА КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

Снижение тепловых потерь является актуальной задачей повышения энергетической эффективности объектов производства, передачи и потребления тепловой энергии. Для уменьшения потерь тепловой энергии используют различные теплоизоляционные материалы [1]. В настоящее время появился новый теплоизоляционный материал – энергосберегающие краски, содержащие в своём составе микросферы. Энергосберегающая краска – это эмульсия, состоящая из связующего компонента и микроскопических керамических или стеклянных пустотелых сфер диаметром $0,03 \pm 0,1$ мм. Энергосберегающие краски обладают свойствами красок – защищают поверхность от воздействия окружающей среды, и свойствами тепловой изоляции – снижают тепловые потери за счёт своей пористой структуры.

Целью данной работы является определение коэффициента теплопроводности энергосберегающей краски в зависимости от массового содержания полых стеклянных микросфер марки МС-В2Л производства НПО «Стеклопластик» (Московская обл.). Эксперимент был выполнен на образцах энергосберегающей краски с массовым содержанием микросфер в связующем из акрила 8%, 25% и 32,6% и чисто акрилового покрытия без добавления микросфер. Толщина исследуемых образцов составила: 1,5 мм для связующего акрила с добавлением микросфер и 1 мм для чистого акрила.

Экспериментальные значения коэффициента теплопроводности энергосберегающей краски получены методом цилиндрического слоя в стационарном режиме теплопроводности на лабораторном стенде, разработанном на кафедре «Теоретические основы теплотехники» ИГЭУ [2]. Была выполнена серия экспериментов с разными значениями теплового потока, который рассчитывался по мощности электронагревателей. Стационарный режим теплопроводности в лабораторной установке наступал через 24 часа нагрева. Показания измерительных приборов фиксировались с интервалом 1 час в автоматическом режиме накопителем данных АДАМ-4000 и ИТП-МГ4.03/Х(1) «Поток».

Статистическая обработка результатов эксперимента выполнена в программе Microsoft Excel. Коэффициент теплопроводности энергосберегающей краски найден решением обратной задачи теории теплопро-

водности по методу цилиндрического слоя. Экспериментальные значения коэффициента теплопроводности в зависимости от температуры и массового состава графически представлены на рисунке 1.

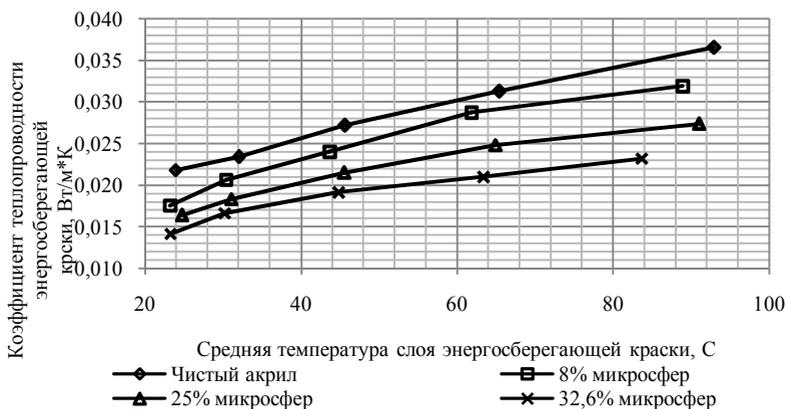


Рисунок 1. Коэффициент теплопроводности энергосберегающей краски

Из рисунка 1 видно, что коэффициент теплопроводности практически линейно увеличивается с ростом средней температуры исследуемого образца и уменьшается с увеличением содержания микросфер в связующем из акрила.

Вывод. Экспериментально установлено, что среднее значение коэффициента теплопроводности энергосберегающей краски на основе связующего из акрила в интервале температур $20 \div 100^\circ\text{C}$ лежит в пределах $0,019 \div 0,028$ Вт/(м·К) в зависимости от массовой доли содержания микросфер. Коэффициент теплопроводности энергосберегающей краски практически линейно увеличивается с ростом температуры и уменьшается с увеличением содержания микросфер в связующем из акрила.

Библиографический список

1. Игнатова О.А. Технология изоляционных строительных материалов и изделий. В 2 ч. Ч.2. Тепло- и гидроизоляционные материалы и изделия: учеб. пособие для студ. учреждений высш. проф. образования/ О.А. Игнатова. - М.: Издательский центр «Академия», 2012. - 288 с.
2. Бухмиров В.В., Гаськов А.К. Экспериментальный стенд для определения коэффициента теплопроводности// Радиотехника, электротехника и энергетика: Девятнадцатая Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов: Тез. докл. В 4 т. Т. 4. М.: Издательский дом МЭИ, 2013.-334 с.

Ю.С. Макарихина, Е.В. Рассказова, В.А. Иванов, студ.;
рук. А.К. Гаськов, асс., В.В. Бухмиров, д.т.н, проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ПОКРЫТИЙ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Увеличение термического сопротивления наружных ограждающих конструкций зданий и строений является актуальной задачей повышения энергетической эффективности жилищно-коммунального хозяйства страны. Для снижения тепловых потерь через наружные ограждающие конструкции применяют различные теплоизоляционные материалы, для которых коэффициент теплопроводности и плотность материала должны быть не выше $0,175 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$ и 500 кг/м^3 соответственно. На рынке теплоизоляционных материалов представлен широкий ассортимент продукции, основная доля которой (~97%) приходится на неорганические материалы, в том числе: на изделия из минеральной ваты – 70%, на пенопласты – 20%, на другие виды утеплителей – 10% [1].

Данная работа посвящена определению энергетической эффективности энергосберегающих покрытий и сравнение их теплозащитных свойств при утеплении фасадов зданий. Для этого был создан полномасштабный исследовательский полигон на фасаде частного жилого дома в Ивановской области для проведения натуральных экспериментов и исследований энергосберегающих покрытий, а также для сравнения их теплозащитных свойств. Полигон представляет собой предварительно оштукатуренный цементным раствором толщиной 1 см участок стены жилого дома, разделённый на зоны с различными видами тепловой изоляции.

Для исследования теплозащитных свойств были выбраны следующие виды покрытий:

а) Тепловая изоляция фасада, выполненная по технологии «мокрого» фасада из тепловозвукоизоляционных плит минеральной ваты на основе горных пород базальтовой группы ($\delta=100 \text{ мм}$, $\lambda=0,038\div 0,042 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$, $\rho=131\div 135 \text{ кг/м}^3$).

б) Тепловая изоляция, выполненная путём окраски стены энергосберегающей краской слоями в 1мм и 3мм соответственно.

в) Цементная штукатурка толщиной 10 мм без нанесения энергосберегающих покрытий.

Схема экспериментальных участков с указанием точек установки датчиков температуры и тепловых потоков представлена на рис. 1.

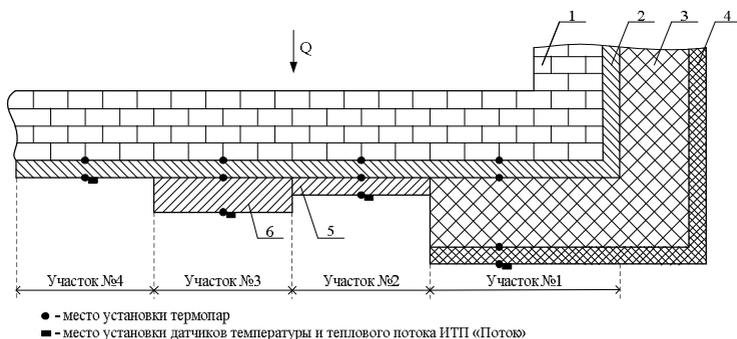


Рис. 1. Схема экспериментальных участков

1 – кирпичная кладка, 2 – слой цементной штукатурки, 3 – слой минеральной ваты толщиной 100 мм, 4 – слой декоративной штукатурки, 5 – слой энергосберегающей краски толщиной 1 мм, 6 – слой энергосберегающей краски толщиной 3 мм

В ходе проведения экспериментов были измерены тепловые потоки на поверхности экспериментальных участков, температуры между слоями покрытий и на поверхности, параметры микроклимата внутреннего и наружного воздуха. Показания измерительных приборов фиксировались в автоматическом режиме и заносились в электронную базу данных через 1 час. Статистическая обработка результатов эксперимента выполнена в программе MicrosoftExcel.

По результатам работы сделаны следующие выводы:

1. Получены новые данные о температурах и тепловых потоках в ограждающих конструкциях при использовании в качестве энергосберегающего покрытия «мокрого» фасада и энергосберегающей краски. Найдены аппроксимационные зависимости температур и тепловых потоков от температуры наружного воздуха, которые могут быть использованы в расчётах тепловых потерь зданий.

2. Экспериментально установлено, что тепловые потери при теплоизоляции фасада здания по технологии «мокрого» фасада из минераловатных плит толщиной 100 мм снижаются на 62%, а при нанесении энергосберегающей краски слоями в 1 и 3 мм – тепловые потери снижаются на 8,3% и 11,8 % соответственно.

Библиографический список

1. **Игнатова О.А.** Технология изоляционных строительных материалов и изделий. В 2 ч. Ч.2. Тепло- и гидроизоляционные материалы и изделия: учеб. пособие для студ. учреждений высш. проф. образования/О.А. Игнатова.- М.: Издательский центр «Академия», 2012.-288 с.

*А.С. Брезгина, студ.;
рук-ли М.Г. Сулейманов, асп., В.В. Бухмиров, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАГРЕВА НАСЫПНЫХ САДОК

В термических печах машиностроительных заводов распространен нагрев садок, образованных значительным количеством сравнительно мелких деталей, расположенных насыпью или в контейнерах. Поиск оптимальных режимов нагрева требует проведения большого количества расчетных и экспериментальных исследований, которые в производственных условиях являются длительным, сложным и дорогостоящим процессом. Для решения задачи оптимизации разрабатывается математическая модель нагрева, достоверность которой проверяется сопоставлением результатов расчета с промышленным или лабораторным экспериментом.

Для исследования процесса нагрева насыпных садок используют камерные лабораторные электропечи сопротивления СНОЛ-1,6,2,5.1/11-И2. Печь предназначена для проведения термической обработки материалов в стационарных и нестационарных условиях при температуре до 1100 °С. Схема печи изображена на рисунке 1(а). Печь состоит из металлического корпуса 1, в верхней части которого смонтирована нагревательная камера, в нижней части — пусковая и контрольно-регулирующая аппаратура 4.

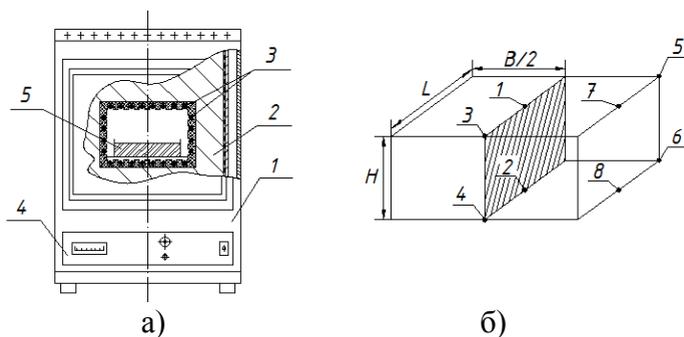


Рисунок 1. Основное оборудование.
а - схема печи; б - схема расположения термопар; 1- корпус; 2 - теплоизоляция; 3 - нагреватель; 4 – блок управления; 5 – нагреваемая садка.

В эксперименте будут использованы садки, образованные различными изделиями: гайки, металлическая стружка и пружинные шайбы. Садка, порозность которой определяется методом гидростатического взвешивания, помещается в контейнер размером 150x100x40 мм. Измерение температуры рабочего пространства печи и контрольных точек садки осуществляется хромель-алюмелевыми термопарами (рис 1.(б)).

Было проведены эксперименты для различных значений пористости садки ($f=0,48$, $f=0,4$ и $f=0,6$) и напряжения. Садки нагревались в течение 8 часов.

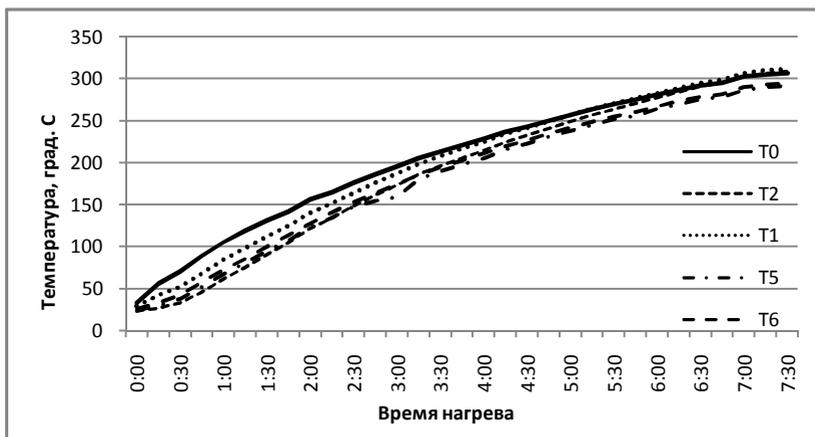


Рисунок 2. Результаты эксперимента, пористость $f=0,48$, $N_{эл}=260$ Вт.

На рисунке 2 показан график изменения температур в контрольных точках садки при мощности нагревателя 260 Вт. Температура T0 соответствует температуре воздуха в рабочем пространстве печи. Перепад температур по садке в конце нагрева (в точках 1 и 2) составил 2 °С. Наибольший перепад температур (точки 1 и 5) составил 19 °С.

Вывод. Получены новые экспериментальные данные процесса нагрева насыпных садок различной пористости в условиях лабораторного эксперимента. По полученным данным будет проверена адекватность разработанной математической модели.

Секция 6. ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

*Председатель секции
зав. кафедрой «Промышленная теплоэнергетика»
д.т.н., проф. В.П. Созинов
Секретарь секции доц.Н.Н. Смирнов*

*Е.И. Климов магистрант; рук. Е.В. Соломин д.т.н., проф.
(«ЮУрГУ» (НИУ), г. Челябинск)*

ПРОИЗВОДСТВО ЭНЕРГИИ ЗА СЧЕТ УТИЛИЗАЦИИ ПРОДУКТОВ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ПОЛИГОНА ТБО

В современном мире все большее волнение вызывают вопросы управления и утилизации отходов. В Российской Федерации основным путем утилизации отходов является их складирование на специальных полигонах – полигонах твердых бытовых отходах (ТБО).

Полигоны ТБО представляют собой комплекс природоохранных сооружений, предназначенных для складирования, изоляции и обезвреживания твердых бытовых отходов, предотвращающий загрязнения окружающей среды.

При правильной политике управления полигоном ТБО возможно обеспечить оптимальный уровень защиты окружающей среды и получать энергию, достаточную для покрытия собственных нужд полигона и частичной продажи. К примеру, при установке активной системы дегазации возможно получение газа, который можно использовать в качестве топлива для генерации электрической и/или тепловой энергии.

Количество газовой смеси, образовавшейся в теле полигона ТБО, можно спрогнозировать, используя одну из математических моделей, таких как «Tabasaran-Retenberger» или «LandfillAirEmissionsEstimationModel» [1].

Несмотря на ряд опасных компонентов свалочного газа, наиболее опасным продуктом жизненного цикла полигона ТБО является фильтрат. Фильтрат, образующийся в теле полигона, является токсичным раствором с минерализацией до нескольких десятков грамм на 1 л., содержанием ионов аммония, хлора и других макрокомпонентов до нескольких грамм на 1 л., высокими концентрациями тяжелых метал-

лов (цинк, свинец, никель, хром, кадмий и др.) и органических соединений [2].

В результате исследования был выявлен ряд технических решений направленных на очистку фильтрата, однако наибольший интерес вызвали установки биологической очистки. Проанализировав результаты исследований, была предложена конструкция для биологической очистки фильтрата с применением водорослей (рис. 1.), которая заявлена на внесение в реестр полезных моделей Российской Федерации. Особенностями данной конструкции является наличие элементов направленных на создание благоприятных условий для увеличения биомассы микроводорослей, которая в дальнейшем может быть использована в качестве ресурса для получения биотоплива.

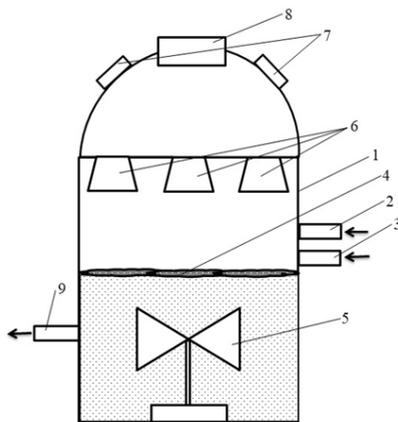


Рис. 1. Эскиз конструкции отстойника для биологической очистки фильтрата с применением водорослей

На эскизе (рис. 1.) обозначены основные элементы: 1 — корпус отстойника; 2 — труба, через которую поступает фильтрат; 3 — труба, через которую поступает вода; 4 — слой микроводорослей; 5 — лопастная мешалка с электрическим двигателем; 6 — источники искусственного освещения; 7 — вентиляционная система; 8 — технический люк; 9 — труба, для отвода очищенной воды.

В заключение подведем основные выводы:

1. Существует ряд вариантов получения энергии за счет утилизации продуктов, образующихся в течение жизненного цикла полигона ТБО;
2. В работе был показан эскиз конструкции отстойника для биологической очистки фильтрата с применением водорослей.

Библиографический список

1. **Вайсман Я.И.**, Управление метаногенезом на полигонах твердых бытовых отходов/ Я.И Вайсман., О.Я Вайсман., С.В Максимова. – Пермь: Пермский государственный технический университет, 2003. – 232 с.
2. **Багрецова, Ю.В.** Проектирование полигонов ТБО: мероприятия по обращению с фильтратом // Ю.В. Багрецова, А.Г. Воронина, К.Г. Гейде, А.М. Шафикова/ Справочник ЭКОЛОГА – г. Москва: Изд-во: Профсоюзное издательство, 2014. – Вып. 10 (22).

*М.В. Петровский, асп.; В.И. Доманов к.т.н., доцент.
(УлГТУ, г.Ульяновск)*

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ АНАЛИЗА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ НА ПРИМЕРЕ ОБЪЕКТА СОЦИАЛЬНОЙ СФЕРЫ

Актуальность темы:

Анализ ситуации в коммунальной энергетике города Ульяновска говорит о том, что она находится в сложном состоянии. На сегодняшний день износ объектов инженерной инфраструктуры муниципальных бюджетных учреждений города составляет более 50%. И в условиях ограниченности финансирования и уменьшения лимитов потребления теплоэнергоресурсов (ТЭР), объекты социальной сферы обязаны вести контроль потребления ТЭР и соблюдать выделенные лимиты, а также ежегодно проводить мероприятия по энергосбережению и повышению энергетической эффективности. Контроль за потреблением ТЭР позволяет не только экономить возобновляемые и невозобновляемые энергоресурсы, но и позволяет ощутимо снизить годовое потребление что приводит к уменьшению оплаты за потребленные ТЭР. В настоящее время известно множество методов сбережения энергии, но мониторинг и анализ потребления энергоресурсов является наиболее актуальными на данный момент.

Цель и задачи исследования, планируемые результаты:

Целью исследования является разработка математической модели для анализа и прогнозирования потребления энергоресурсов на примере объекта социальной сферы.

Основные задачи исследования:

- Формирование базы данных о энергопотреблении объекта в выбранном (базовом) году.
- Анализ энергопотребления в базовом году с учетом специфики объекта.
- Расчет и анализ статистических характеристик различных видов потребляемых энергоресурсов

- Составление математической модели потребления ТЭР
- Прогнозирование энергопотребления объекта.
- Сопоставление полученных данных и фактических показаний.

Анализ полученных ошибок.

Описание работы:

Имея данные потребления холодного, горячего водоснабжения, электроэнергии и тепловой энергии с 2011 года, были взяты данные потребления за 2013 год, составлена математическая модель и спрогнозировано потребления на 2014 год. Полученные данные, были сравнены с фактом 2014 года. Были рассчитаны ошибки прогноза и их корреляция с различными видами потребленных ресурсов.

Предполагаемые результаты:

Разработанная модель позволит более точно прогнозировать потребление ТЭР.

Выводы:

Анализ потребления ТЭР в настоящее время показывает необходимость разработки эффективного механизма прогнозирования потребления для составления мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности.

*И.Г. Воеводин, студ.; А.В. Струмеляк, к.т.н.
(БрГУ, г. Братск)*

ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ СОЛНЕЧНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПОСРЕДСТВОМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМЫ СЛЕЖЕНИЯ ЗА СОЛНЦЕМ

В данной статье проведён сравнительный расчёт выработки электроэнергии солнечными фотоэлементами при фиксированной установке приёмной площадки и при установке ихна следящую за солнцем площадку.

Система слежения за солнцем представляет собой программируемый поворотный механизм, обеспечивающий нормальную (перпендикулярную) ориентацию приёмной площадки по отношению к солнцу. Слежение осуществляется в двух независимых направлениях, изменяется азимутальная ориентация площадки и угол наклона.

Земля движется вокруг солнца по чётко заданной траектории, а значит и перемещение солнца по небосводу относительно наблюдателя на земле так же подчиняется строгим правилам, и может быть математически рассчитано для любого времени года.

За полные сутки земля совершает один полный оборот (т.е. 360° за 24 ч), а значит, скорость изменения азимута солнца равна $15^\circ/\text{час}$ в любое время года.

Значение угла наклона для любого момента времени можно вычислить, зная высоту солнца [1]:

$$\alpha = \arcsin(\cos \delta \cos \varphi \cos \omega + \sin \delta \sin \varphi), \quad (1)$$

где φ – широта местности, для которой проводятся расчёты; ω – часовой угол солнца; δ – угол склонения земной оси определяемый по формуле Купера:

$$\delta = 23,45 \cdot \sin\left(\frac{360}{365}(n - 81)\right), \quad (2)$$

Часовой угол ω – это угол, на который отклоняется солнце от своего полуденного положения, т.е. от юга.

$$\omega = 15 \cdot (t - t_s), \quad (3)$$

где 15° – угол, на который проворачивается земля вокруг своей оси за 1 час; t – местное время; t_s – истинное время наступления полудня.

Время наступления истинного полудня в течение года может отличаться от среднесуточного значения (13:00 для России), Величина этого расхождения в минутах может быть найдена согласно формуле уравнения времени:

$$E = 7,5 \cos\left(\frac{360}{365}(n - 81)\right) + 1,5 \sin\left(\frac{360}{365}(n - 81)\right) - 9,8 \sin\left(\frac{720}{365}(n - 81)\right), \quad (4)$$

где n – номер дня в году (от 1 до 365).

Каждый часовой пояс установлен по некому среднему меридиану, соответственно если местность для которой проводятся расчёты несколько удалена от меридиана часового пояса то и время наступления истинного солнечного полдня так же измениться.

Учитывая все вышеперечисленные факторы можно составить формулу для вычисления времени истинного полдня:

$$t_s = 13 : 00 + (\psi_0 - \psi_x) \cdot 4 + E, \quad (5)$$

где ψ_0 – меридиан часового пояса; ψ_x – меридиан местности.

Ниже приведены расчёты поступления солнечной радиации на фиксированную приёмную площадку и на площадку с установившейся системой слежения, для четырёх характерных месяцев года. Расчёты приведены для г. Братск Иркутской области, расположенного на $56,15^\circ$ сев.широты. В расчётах также учтено влияние погодных условий [2],

облачности и КПД фотопреобразователей (в данном случае выбраны кремниевые поликристаллические преобразователи с КПД 16%).

Таблица 1 – Выработка электроэнергии фотопреобразователей.

Период времени	Фиксированная площадка		Площадка с системой слежения	
	Среднесуточная выработка кВт·ч/м ²	Месяц кВт·ч/м ²	Среднесуточная выработка кВт·ч/м ²	Месяц кВт·ч/м ²
Март	0,49	15,34	0,60	18,48
Июнь	0,69	20,69	1,12	33,59
Сентябрь	0,64	19,12	0,88	26,49
Декабрь	0,27	8,37	0,31	9,66
Год		191,1		266,7

В результате использования системы слежения можно обеспечить повышение выработки электроэнергии до 40%. Актуальным вопросом становится исследование экономической эффективности применения систем слежения за солнцем.

Библиографический список

1. Виссарионов В.И., Дерюгина Г.В., Кузнецова В.А., Малинин Н.К. Солнечная энергетика: учеб. пособие для вузов. – М.: Издательский дом МЭИ. – 2008. – 276 с.
2. Научно-прикладной справочник по климату СССР Серия 3, часть 1-6, выпуск 22 Иркутская область и Бурятская АССР.

*И.Г. Воеводин, студ.; А.В. Струмеляк, к.т.н.
(БрГУ, г. Братск)*

РАСЧЁТ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ СОЛНЕЧНЫМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ С УЧЁТОМ ОБЛАЧНОСТИ

В статье приведена методика расчёта выработки электроэнергии солнечной электростанцией [1, 2]. Рассмотрен подход к анализу влияния облачности на работу фотопреобразователей.

Величина солнечной радиации R_n , поступающей на перпендикулярную солнечным лучам приёмную площадку, определяется по формуле:

$$R_n = \frac{e \cdot \sin \alpha}{\sin \alpha + P}, \quad (1)$$

где α – высота солнца над горизонтом в градусах; e – значение прихода солнечной радиации на границе атмосферы, значение которой принято считать равным 1380 Вт·м²; P – коэффициент прозрачности атмосферы.

Фактическое значение поступающей на площадку прямой радиации определяется по следующей формуле:

$$R = R_n \cdot \cos \theta, \quad (2)$$

где θ – угол между направлением солнечного излучения и нормалью к поверхности приёмной площадки, определяемый по формуле:

$$\cos \theta = \sin \beta (\cos \delta \sin \varphi \cos \omega - \sin \delta \cos \varphi) + \dots + \cos \beta (\cos \delta \cos \varphi \cos \omega + \sin \delta \sin \varphi) \quad (3)$$

где φ – широта местности, для которой проводятся расчёты; β – угол наклона приёмной площадки относительно земли, при условии, что приёмная площадка ориентирована строго на юг ($\beta=0^\circ$ для горизонтальной приёмной площадки); ω – часовой угол солнца; δ – угол склонения земной оси.

Оптимальным значением угла наклона приёмной площадки принимается угол равный значению угла широты т.е. $\beta=\varphi$ [1].

Высота солнца над горизонтом α может быть найдена по формуле:

$$\alpha = \arcsin(\cos \delta \cos \varphi \cos \omega + \sin \delta \sin \varphi), \quad (4)$$

Угол склонения земной оси δ определяется по формуле Купера:

$$\delta = 23,45 \cdot \sin\left(\frac{360}{365}(n - 81)\right), \quad (5)$$

где n – номер дня в году (от 1 до 365).

Часовой угол ω – это угол, на который отклоняется солнце от своего полуденного положения, т.е. от юга.

$$\omega = 15 \cdot (t - t_s), \quad (6)$$

где 15° – угол, на который проворачивается земля вокруг своей оси за 1 час; t – местное время; t_s – истинное время наступления полудня (в среднем для России время истинного полудня соответствует 13:00 местного времени).

Кроме прямого солнечного излучения, присутствует так называемая диффузная радиация, т.е. рассеянная атмосферой и облаками, вычисляемая по формуле [2]:

$$R_D = \frac{1}{3} \sin \alpha \cdot (e - R_n)(0,55 + 0,434 \cos \theta + 0,313 \cos^2 \theta), \quad (7)$$

Наличие облачности может оказать значительное влияние на выработку электроэнергии. Плотность облаков и их положение над приёмной площадкой имеют случайный характер, поэтому предугадать влияние облачности в конкретный момент времени достаточно слож-

но. Так, например, если небо покрыто кучевыми облаками, могут наблюдаться как периоды отсутствия затенения, так и периоды длительного полного затенения приёмной площадки. Однако связанные с этим скачки мощности взаимно компенсируют друг друга в течение суток, поэтому проводить расчёт возможно опираясь на среднесуточное значение облачности. С достаточно большой точностью можно определить влияние облачности согласно обобщённой формуле [2]:

$$R_{\Sigma} = (R + R_D) \cdot (1 - (0,38 + 0,38 \cdot n \cdot 0,1) \cdot n \cdot 0,1), \quad (8)$$

где R_{Σ} - значение прихода суммарной солнечной радиации с учётом облачности ($\text{Вт} \cdot \text{м}^2$); n – облачность в баллах, принимает значения от 0 при ясном небе, до 10 при полной облачности.

С помощью вышеперечисленных формул можно рассчитать возможную выработку электроэнергии солнечной электростанции.

Библиографический список

1. Виссарионов В.И., Дерюгина Г.В., Кузнецова В.А., Малинин Н.К. Солнечная энергетика: учеб.пособие для вузов. – М.: Издательский дом МЭИ. – 2008. – 276 с.
2. Сивков С.И. Методы расчета характеристик Солнечной радиации. Гидрометеорологическое издательство. Л. – 1968. – 231 с.

*О.Ю. Курганова, аспирант; А.И. Щёлоков д.т.н., профессор
(СамГТУ, г. Самара)*

СНИЖЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ В ТРУБОПРОВОДЕ. ГАЗОНАПОЛНЕННАЯ ТЕПЛОВАЯ ИЗОЛЯЦИЯ

В настоящее время ограниченность энергоресурсов, так или иначе, затрагивает все государства и становится проблемой глобального масштаба. Нехватка энергии может стать существенным фактором сдерживания экономического роста страны. [1]

В настоящее время около 72 % тепловой энергии производится централизованными источниками. В крупных городах около 70-95 % жилищного фонда подключено к централизованному источникам. Около 50% объектов жилищно-коммунального теплоснабжения и инженерных сетей требует замены. Длина теплопроводов систем теплоснабжения страны составляет 260 тыс. км., из них 60 тыс. км находится в аварийном состоянии. На каждые 100 км сетей ежегодно регистрируется в среднем 70 повреждений, потери теплоты при транспортировке достигают 80 млн. т.у.т. в год. Помимо потерь теплоты, с

утечками теплоносителя ежегодно теряется более кубического километра воды. [2]

В средней полосе России все большее и большее значение приобретает использование качественной и энергоэффективной тепловой изоляции.

В связи с этим, предлагается использовать принципиально новый теплоизоляционный материал, благодаря которому можно экономить на количестве изоляции и сократить тепловые потери при транспортировке теплоты. [3]

В качестве тепловой изоляции предлагается использовать полиэтилен высокой плотности (ПЭВП), состоящий из небольших герметичных ячеек, заполненных диоксидом углерода.

Изготовление такого вида теплоизоляции не требует сооружения нового оборудования. Целостная система конструкции устойчива к повреждению благодаря герметичности ее пор.

Главными преимуществами газонаполненной изоляции является:

- Большее термическое сопротивление, по сравнению с имеющимися аналогами;
- Повышенная устойчивость к влаге и, как следствие, дополнительная защита металла труб от коррозии;
- Невысокая стоимость;
- Простота и удобство монтажа;
- Долговечность

Но у такого материала есть один недостаток – его невозможно использовать при температуре выше 120°C , т.к. полиэтилен начинает плавиться. На основе вышесказанного, предлагается использовать газонаполненную теплоизоляцию поверх известного теплоизоляционного покрытия – термостойкой краски.

Это даёт возможность использовать энергоэффективную теплоизоляцию при более высоких температурах теплоносителя. Для сравнения рассчитываются тепловые потери через трубопровод изолированный популярными на сегодняшний день теплоизоляционными материалами при тех же начальных условиях. Сравнительные данные приведены в таблице 1:

Таблица 1. Различные теплоизоляционные материалы и их параметры.

Наименование материала	Термическое сопротивление, $\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{Вт}$	Удельные тепловые потери, $\text{Вт}/\text{м}$
Минеральная вата	0,8	173
Пенополиуретан	0,93	149
Пенополистиролл	0,86	162

Газонаполненная тепло- вая изоляция	1,3	119
--	-----	-----

Для исключения механических повреждений изоляции при монтаже теплопровода, его поверхность предлагается закрыть листами пластика.

На основе расчетов, можно сделать вывод, что такой вид тепловой изоляции можно использовать при проектировании трубопроводов двухтрубных водяных сетей при подземной бесканальной прокладке. [3]

Библиографический список.

1. minenergo.gov.ru – сайт Министерство энергетики РФ;
2. Указ Президента РФ от 7.07.2011 №899 «Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации».
3. СНиП 41-03-2003 «Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов»

*И.С. Терентьев, асп.; рук. Н.Д. Шишкин, д.т.н., проф.
(ЛНЭ СИЦ РАН при АГТУ)*

ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМБИНИРОВАННОЙ ВЕРТИКАЛЬНО- ОСЕВОЙ ВЕТРОЭНЕРГОУСТАНОВКИ

В настоящее время все более широкое применение находят децентрализованные системы энергоснабжения с использованием возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Среди ВИЭ для многих объектов наиболее перспективным представляется использование ветровой энергии. Ветроэнергоустановки (ВЭУ) применяются самостоятельно для выработки электроэнергии или в составе энергокомплексов. [1, 2].

Наибольшее распространение имеют горизонтально-осевые (ГО) ВЭУ пропеллерного типа. Недостатком ветроколес пропеллерного типа является зависимость их работы от направления ветра, что значительно снижает их фактическую эффективность, т.е. КПД с 0,35–0,45 при ветровом потоке строго вдоль оси ветроколеса до 0,15–0,25. Вертикально-осевые ветроэнергоустановки (ВО ВЭУ) могут работать при любом направлении ветра и не нуждаются в устройствах ориентации [3-6]. Однако они требуют дальнейшего совершенствования. Ав-

торами предлагаются комбинированные вертикально–осевые ветроэнергостановки (КВО ВЭУ) на основе роторов Дарье и Савониуса

Целью работы является определение коэффициента мощности (энергетического КПД) в зависимости от геометрических и кинематических параметров КВО ВЭУ.

Авторами разработана конструкция КВО ВЭУ, ротор которой показан на рис. 1. Эти установки имеют явные преимущества по сравнению с конструкциями: 1) ГО ВЭУ за счет независимости от направления ветра; 2) ВО ВЭУ толкающего типа более высокого пускового момента при малых скоростях ветра; 3) ВО ВЭУ тянущего типа за счет более высокого КПД. На основании ранее полученных формул для определения мощностей ВО ВЭУ с ротором Дарье и Савониуса [7, 8] коэффициент полезной мощности ротора КВО ВЭУ может быть при одинаковой высоте лопастей ротора Дарье и Савониуса определен

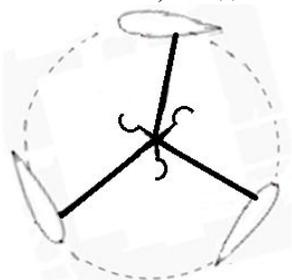
$$C_{НКК} = C_{НД} \left(1 - \frac{S_C}{S_D}\right) + C_N \frac{S_C}{S_D} \quad (1)$$

где $C_{НД}$, $C_{НС}$ - коэффициенты полезной мощности роторов Дарье и Савониуса; S_D , S_C - площади сечения ветрового потока (ометаемая площадь), проходящего через роторы Дарье и Савониуса.

Чтобы после того, как ротор Савониуса раскрутит комбинированный ротор, не произошло торможение в работе ротора Дарье соотношение между их диаметрами должно быть равно оптимальному соотношению коэффициентов их быстроходностей, т.е.

$$\frac{D_C}{D_D} = \frac{z_C^{опт}}{z_D^{опт}} \approx \frac{1}{5}. \quad (2)$$

Расчеты по формуле (1) с учетом соотношения (2) позволили получить значения КПД ротора КВО ВЭУ равной 0,36, что лишь ненамного ниже, чем для ВО ВЭУ с ротором Дарье, принятой 0,40.



Предлагаемые КВО ВЭУ, обладающие достаточно высокой эффективностью и возможностью самозапуска, могут быть использованы для автономного электро- и теплоснабжения различных объектов: малоэтажных зданий, фермерских хозяйств, туристических баз и др.

Библиографический список

1. **Шишкин Н.Д.** Эффективное использование возобновляемых источников энергии для автономного теплоснабжения различных объектов : моногр./ Н. Д. Шишкин : Астрахан. гос. техн. ун-т. – Астрахань: Изд-во АГТУ, 2012. – 208 с.
2. **Чивенков А.И., Лоскутов А.Б., Михайличенко Е.А.** Анализ применения и развития ветроустановок // Промышленная энергетика, 2012, № 5. С. 57-63.
3. **Соломин, Е.В.** Методология разработки и создания вертикально-осевых ветроэнергетических установок: монография / Соломин, Е.В. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ. – 2011. – 324 с.
4. **Баклушин П.Г., Вашкевич К.П., Самсонов В.В.** Экспериментальное исследование аэродинамических характеристик ортогональных крыльчатых ветроколес // Сб. науч. тр. Гидропроекта. М.: 1988. С. 98-105.
5. **Горелов Д.Н.** Энергетические характеристики ротора Дарье (обзор) // Теплофизика и аэромеханика 2010 г. Т. 17 № 3. С. 325-333.
6. **ФорандоМоди.** Характеристики ветродвигателя Савониуса // Современное машиностроение серия А. 1988. № 10 С. 139-148.
7. **Шишкин Н. Д., Манченко Е. А.** Аналитическое исследование параметров ветродвигателей с вертикальными полужилиндрическими лопастями » // Вестник АГТУ, Серия «Морская техника и технологии», 2013 № 1. С. 155-161.
8. **Шишкин Н.Д., Терентьев И.С.** Оценка основных параметров комбинированных вертикально-осевых ветроэнергоустановок для судов и нефтедобывающих платформ // Вестник АГТУ: Сер. Морская техника и технология. 2015. № 2. С. 56-63.

*Н.Д.Д. Мирзошарифзода, рук. А.М.Гусячкин, к.т.н., доц.
(КГЭУ, г.Казань)*

О РАБОТЕ ПОГОДНОГО РЕГУЛЯТОРА В НЕСТАЦИОНАРНЫХ УСЛОВИЯХ

Погодный регулятор в системах отопления зданий призван обеспечивать соответствие отопительной нагрузки температуре наружного воздуха.

В зимнее время температура наружного воздуха отличается нестабильностью. В таких условиях погодный регулятор из-за инерционности водяного отопления не всегда в состоянии своевременно реагировать на эти изменения и в результате чего происходят «перетопы»зданий или недопоставка теплоты в систему отопления. Для совершенствования работы погодного регулятора необходимо выяснить особенности процесса подачи теплоты в отопительные системы при изменяющейся температуре наружного воздуха.

Между температурой наружного воздуха и отопительной нагрузкой существует прямолинейная зависимость. Поэтому при нестационарной температуре наружного воздуха процессы изменения подачи теплоты в отопительную систему можно описать линейными дифференциальными уравнениями n -ного порядка.

На работу регулятора влияет множество факторов, которые усложняют построение математической модели переходного процесса. Поэтому в практике часто используют расчетно- экспериментальный способ построения процессов в переходный период. Из теории автоматического управления известно, что порядок уравнения и его коэффициенты можно определить экспериментальным путем. Для этого необходимо подать на вход регулятора возмущающее воздействие, например, единичный ступенчатый импульс.

Нами были получены переходные характеристики погодного регулятора на экспериментальной установке. Для этого на установке датчик температуры наружного воздуха был заменен на резистор с соответствующим омическим сопротивлением. Этим резистором быстро изменялась величина сигнала температуры наружного воздуха

По виду переходных характеристик выявлено, что процесс изменения температуры теплоносителя в системе отопления при изменяющейся температуре наружного воздуха можно описать линейными дифференциальными уравнениями первого порядка с постоянными коэффициентами. Из переходных характеристик определены коэффициенты этих уравнений, а также время запаздывания системы.

*А.С.Царев, асп.; Ю.В. Щепелина, студент; В.В.Усков, магистр
(ВоГУ, г. Вологда)*

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ СГОРАНИЯ ТОПЛИВНЫХ БРИКЕТОВ

Эффективная реализация древесной продукции – основной вопрос в лесной промышленности. Неотъемлемой проблемой данного вида отрасли является утилизация отходов от процессов переработки. Производство топливных брикетов позволяет решать этот вопрос в полной мере. Но, как и другие физико-химические процессы – сгорание брикетов выявляет свои особенности.

Оптимизация режимов горения топливных брикетов является достаточно сложной и многофакторной задачей, поскольку процесс сгорания твердого топлива, особенно в случаях с крупным гранулометрическим составом, характеризуется комплексом взаимозависимых параметров [1].

Реальное горение, как правило, является неполным, при этом различаются механическая и химическая неполнота сгорания.

В первом случае (механический недожог) некоторое количество топлива в процессе горения топлива не участвует. Например, газовым

потоком из топки выносятся наиболее мелкие фракции угля, а наиболее крупные, наоборот, могут оседать в нижней части топки (на поду) и удалиться вместе с золой и шлаком. В слоевой топке возможен также провал мелких фракций топлива через отверстия колосниковой решетки.

При реальном горении, в зависимости от назначения огнетехнического устройства, действительное количество окислителя (кислорода или воздуха) может быть больше или меньше теоретически необходимого. Отношение действительного количества воздуха к теоретически необходимому называется коэффициентом избытка воздуха: $\alpha = V/V^0$. При сжигании органических топлив в топках энергетических котлов коэффициент избытка воздуха всегда больше 1 ($\alpha > 1$) [2].

Любая теплотехническая установка, в которой осуществляются сжигание топлива и передача тепла дымовых газов («рабочему телу») (т.е. вода, пар или прочий теплоноситель), характеризуется такими параметрами, как производительность и тепловая мощность. Для покрытия проектной номинальной нагрузки любой теплотехнической установки необходимо сжечь соответствующее количество топлива, при этом любое топливо характеризуется таким важнейшим параметром, как теплотворная способность, или теплота сгорания. Точнее, в большинстве случаев используется показатель удельной теплотворной способности, т.е. количество тепла, теоретически выделяемое единицей массы или объема топлива.

Скорость горения в основном зависит от двух факторов:

- 1) скорости химической реакции, которая определяется законом Аррениуса и стремительно растет с увеличением температуры;
- 2) скорости подвода окислителя (кислорода) к зоне горения за счет диффузии (молекулярной или турбулентной).

Оборудование и приборы, используемые для настоящего исследования, целесообразно классифицировать по его функциональному назначению - это заготовительное оборудование, используемое для приготовления исследуемых топливных брикетов, технологическое оборудование для его сжигания - это опытный котел, а также измерительное оборудование и инструмент, предназначенный для измерения контролируемых параметров исследуемых брикетов и технологических параметров его производства и использования [3].

В качестве заготовительного оборудования в рамках проведения эксперимента можно использовать практически любую технологическую линию, используемую для производства топливных брикетов, вне зависимости от принципа ее действия и состава оборудования.

Главным условием является обеспечение единообразия технологического процесса для приготовления испытываемых образцов.

Библиографический список

1. **Петринчик В.А., Синицын А.А., Шевченко В.П., Царев А.С.** Использование биотоплива в коммунальной теплоэнергетике. // Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производств, технология и надежность машин, приборов и оборудования: Материалы пятой международной научно-технической конференции. Т.2. – Вологда: ВоГТУ, 2009. – с. 85-87
2. **Царев А.С., Петринчик В.А.** Проблемы использования топливных брикетов в коммунальной теплоэнергетике малых населенных пунктов // Известия высших учебных заведений – «Лесной журнал». №3. – Архангельск, 2014. – с. 139-144
3. **Углов М.А., Царев А.С.** Техничко-экономическая оценка использования топливных брикетов // Молодые исследователи – регионам: материалы всероссийской научной конференции. В 2-х т. – Вологда: ВоГТУ, 2011. – Т. 1. – с. 266-267.

*В.В. Грищенко, И.П. Груздев студ.; рук. В.Г. Арсенов, (к.т.н.),
(доц.)
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИДРОПОТЕНЦИАЛА МАЛОЙ РЕКИ В СТВОРЕ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ ПЛОТИНЫ

Постоянно растущие расходы на добычу органического топлива и сокращение его запасов, увеличение потребления топлива народным хозяйством страны, а также ужесточение требований к охране окружающей среды в последние годы значительно повысили интерес к нетрадиционным источникам энергии.

Из всех нетрадиционных возобновляемых источников энергии перспективными, в первую очередь, представляются гидравлические потенциалы малых рек. В данной работе сделана попытка дать оценку гидравлического потенциала реки Уводь в створе уже существующей плотины (р-н пл. Пушкина г. Иваново).

До недавнего времени плотина находилась в ведении администрации фабрики им. О.А. Варенцовой (БИМ). Назначение плотины – поддержание уровня верхнего бьефа приплотинного водохранилища на постоянной отметке 99,7 м, что необходимо для сохранения оголовков свай фундаментов зданий, расположенных по берегам реки выше плотины в затопленном состоянии.

Водохранилище при поддержании постоянной отметки верхнего бьефа, регулирующей функции не выполняет, и через водосброс плотины проходят естественные незарегулируемые расходы воды.

По измерениям, проводимым в различные времена года и разное время суток, располагаемый напор в створе плотины составил $H_p=2,73$ м при естественном расходе (дебите) $Q_e=3,15$ м³/с.

Для малой реки средних широт России, среднегодовое значение расхода ориентировочно соответствует его значению в мае месяце, поэтому для приближенного гидравлического расчета можно принять данную величину расхода воды через плотину, так как измерения проводились так же и в это время.

Среднегодовое значение электрической мощности на клеммах гидрогенератора при данном расходе и КПД установки $\eta_y=0,73$, составляет

$$N_r = \frac{p \cdot q \cdot H_p \cdot Q_e \cdot \eta_y}{1000}, \quad (1)$$

$$N_r = \frac{998 \cdot 9,81 \cdot 2,73 \cdot 3,15 \cdot 0,73}{1000} = 61,46 \text{ кВт}. \quad (2)$$

Годовая выработка электроэнергии при числе часов использования $n=8760$ будет

$$\mathcal{E} = N_r \cdot n, \quad (3)$$

$$\mathcal{E} = 61,46 \cdot 8760 = 538389,6 \text{ кВт} \cdot \text{ч}. \quad (4)$$

Экономия органического топлива (в условном 7000калл эквиваленте, при 1 кВт·ч $\approx 0,3$ кг/кВт·ч) будет

$$B = \frac{538389,6 \cdot 0,3}{1000} = 162 \text{ т. усл. топлива}. \quad (5)$$

При реализации электрической энергии по действующим тарифам $\approx 5,3$ руб/кВт·ч стоимость выработанного на гидроузле энергоносителя составит

$$C = 538389,6 \cdot 5,3 = 2853464,88 \text{ руб/год}. \quad (6)$$

Приведем краткие соображения по сооружению малой гидроэлектростанции в створе данной плотины.

Ввиду ответственности плотины, не допускающей снижения уровня верхнего бьефа от отметки 99,7м предполагается сооружение гидроустановки (турбина, генератор, щит управления) в камере, расположенной на обводном канале. В таком варианте плотина не затрагивает-

ся и не подвергается дополнительным статическим и вибрационным нагрузкам.

В Ивановской области протекает порядка 130 малых рек, их энергетический потенциал составляет 28 млн. кВт·ч в год или это 10 тыс. тн. условного топлива. Следует подчеркнуть, что эти показатели получены для нашего сравнительно небольшого региона, а в масштабах всего государства может получиться весьма существенная экономия органического топлива.

Конечно, малую гидроэнергетику следует рассматривать не как альтернативную большой энергетике, а всего лишь как весьма полезное её дополнение. Кроме того, гидроузлы на малых реках должны являться не только источником энергии, они представляют собой ресурс поливного земледелия, рыборазведения и что особенно важно, являются важным фактором почвообразования и регулирования климата обширных регионов страны.

*Д.Н. Некрасов, магистрант; рук. В.И. Субботин, к.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ВОЗМОЖНЫЕ СХЕМЫ ПОДОГРЕВА ПРИРОДНОГО ГАЗА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ДЕТАНДЕР- ГЕНЕРАТОРНЫХ АГРЕГАТОВ НА ТЭЦ

Вопрос утилизации энергии избыточного давления природного газа, подводимого по газопроводам к ГРС и ГРП промышленных потребителей газа, является актуальным.

На ТЭЦ имеется возможность выработки дополнительной электрической энергии путем внедрения в схему станции детандер-генераторного агрегата (ДГА). ДГА включается параллельно дроссельному устройству. Снижение давления газа при использовании ДГА происходит за счет его расширения в детандере.

При расширении газа в детандере энтальпия газового потока уменьшается за счет преобразования в нем части внутренней энергии газа в механическую работу, поэтому для обеспечения потребителей газа топливом необходимой температуры, газ необходимо подогреть до ДГА или после ДГА.

На рисунках изображены схемы подогрева природного газа при использовании ДГА на ТЭЦ.

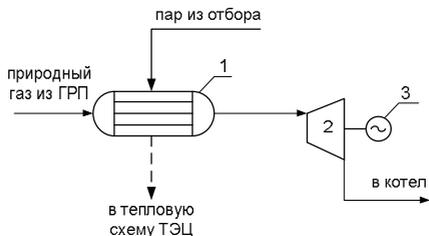


Рис.1 Принципиальная схема подогрева природного газа паром из отбора турбины на ТЭЦ: 1-подогреватель газа; 2-турбодетандер; 3-электрогенератор.

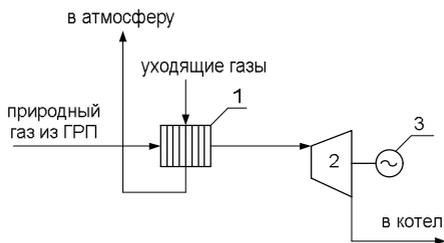


Рис.2 Принципиальная схема применения ДГА на ТЭЦ с подогревом природного газа уходящими газами котельной ТЭЦ: 1-подогреватель газа; 2-турбодетандер; 3-электрогенератор.

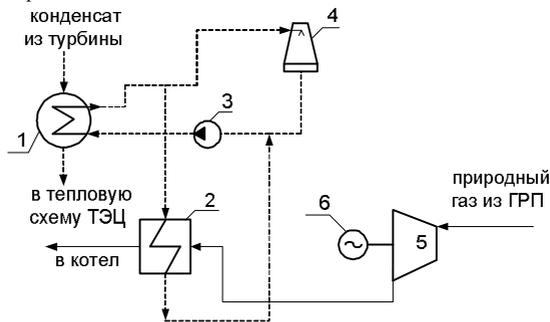


Рис.3 Принципиальная схема использования ДГА с подогревом газа после ДГА циркуляционной водой станции: 1-конденсатор; 2-подогреватель газа; 3-циркуляционный насос; 4-радириня; 5-турбодетандер; 6-электрогенератор.

Энергетический анализ эффективности той или иной схемы заключается в определении выработанной ДГА электрической мощности, количества теплоты, подведенной к природному газу в подогревателе газа, количестве теплоты, необходимой для подогрева природного газа в топке котла до температуры, которую газ имел бы после дросселирования.

Все виды затраченной и произведенной энергии были переведены в тонны условного топлива, после чего составлялся энергетический ба-

ланс, и рассчитывалась экономия топлива в каждой схеме применения ДГА на ТЭЦ. В качестве исходных данных принимались следующие параметры природного газа [1]:

- Температура природного газа поступающего на ТЭЦ $t_1=7^\circ\text{C}$ при изменении давления от 0,5 до 1,2 МПа;
- Давление природного газа за ДГА $P_2=0,15$ МПа;
- Расход природного газа через ДГА $G=40$ кг/с.

Полученные результаты расчетов экономии топлива в зависимости от степени расширения газа в схемах с ДГА на ТЭЦ представлены в [1]: при подогреве паром из отбора $V_{\text{сум}}=13000\text{--}17000$ т у.т/год; при подогреве уходящими газами $V_{\text{сум}}=21000\text{--}25000$ т у.т/год; при подогреве циркуляционной водой $V_{\text{сум}}=11000\text{--}16000$ т у.т/год.

Библиографический список

1. Жигулина Е.В. Повышение эффективности использования избыточного давления природного газа на основе рационального выбора системы подогрева: Дис. ... канд. техн. наук.–М., 2011.–170 с.

*А.И. Позорелов, студ.; А.А. Федосеев, студ.;
рук. доцент Н.Н. Смирнов, профессор В.К. Пыжов
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ ТЕПЛИЦЫ ОТ ПЕЧИ ОБЖИГА ОАО «ИВСТРОЙКЕРАМИКА»

В данной статье мы рассмотрели вопрос энергоэффективного теплоснабжения тепличного хозяйства, планируемого к постройке на территории ОАО «Ивстройкерамика», с утилизацией тепла вторичных энергоресурсов.

Конструкция теплицы состоит из нескольких помещений, отличающихся по виду выращиваемых растений. Помещения разделены тонкой пленкой.

В зимних теплицах следует предусматривать водяное отопление или водяное в сочетании с воздушным (комбинированное отопление) и водяной обогрев почвы. Основные потери теплоты теплицы складываются из потерь теплоты всеми ограждающими конструкциями. Тепловыделения в теплице складываются из тепlopоступлений от искусственного освещения, солнечной радиации и обслуживающего персонала. После определения теплового баланса теплицы было предложено использовать вторичный источник теплоты для поддержания заданной температуры. В качестве вторичных энергоресурсов на ОАО «Ивстройкерамика» служат дымовые газы из печи обжига. Были проведе-

ны экспериментальные исследования по определению параметров дымовых газов. Эксперимент проводился с помощью газоанализатора TESTO 327-1. Было принято решение произвести утилизацию теплоты дымовых газов из печей обжига в газовом конденсоре производства ОАО «Калориферный завод». Газовый конденсор предназначен для утилизации тепла дымовых (уходящих) газов котлоагрегатов для нагрева воды в системе горячего водоснабжения теплиц и выделения углекислого газа (CO_2) для подкормки растений. Устанавливается газовый конденсор непосредственно за печью обжига. Применение данной энергосберегающей технологии позволяет обеспечить более полное использование теплоты уходящих дымовых газов. Применение углекислого газа (CO_2) в качестве подкормки способствует ускоренному росту растений, более лучшему их развитию и, как следствие, повышению урожайности. Дымовые (уходящие) газы температурой 120 – 200 °С направляются в межтрубное пространство трубного пучка теплообменника, в трубном пучке течет нагреваемая сетевая вода. Дымовые газы охлаждаются до температуры 50 – 150 °С, конденсируя при этом до 70 % водяных паров, содержащиеся в дымовых газах. Конденсат удаляется через патрубок слива конденсата. Уровень углекислого газа в теплицах автоматически регулируется датчиками CO_2 , которые открывают или закрывают доступ дымовых газов в систему воздухопроводов теплиц. При запуске печи обжига в работу или отсутствии необходимости утилизации тепла, дымовые газы направляются по обводному каналу, минуя теплообменник, с помощью шиберов.

Расчёт нагрузки на отопление теплицы был проведён для темного времени суток холодного периода с учётом максимальной требуемой мощности.

Суммарная требуемая тепловая мощность составила 543,38 кВт.

В качестве теплоносителя в системе отопления используется горячая вода с параметрами $\tau_1 / \tau_2 = 95 / 40$ °С. Система водяного отопления используется для обоих помещений.

В качестве отопительных приборов используются отопительные приборы GS-4-80 из 4 горизонтальных стальных гладких труб диаметром 80 мм, размещённых друг над другом.

Так же были определены потери давления и диаметры трубопроводов. Эти расчёты были произведены на ЭВМ при помощи программы Danfoss 3.8.

Было принято решение произвести утилизацию теплоты дымовых газов из печей обжига в газовом конденсоре производства ОАО «Калориферный завод»

Библиографический список

1. **Федосеев А.А.** Выпускная квалификационная работа на тему «Техно-экономическое обоснование применения теплоотражающих экранов при теплоснабжении тепличного хозяйства в г. Иваново». Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина. – Иваново: 2015. – 50 с.

*Е.А. Бояркина, Е.А. Костерина, А.С. Сорокина студ.;
асп.Д.А. Лапатеев,рук. В.М. Захаров, к.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ ОКОН С ТЕПЛОТРАЖАЮЩИМИ ЭКРАНАМИ

Несмотря на активную политику энергосбережения, реализуемую в мире, рост потребления энергоресурсов продолжается.

Причин потери тепла в здании несколько, и каждая из них может быть хотя бы частично локализована.

Основные потери тепла происходят через ограждающие конструкции здания, в том числе и окна. Очевидно, что чем больше площадь оконного проема, тем больше потери тепловой энергии. Параметры окна определены ГОСТом, поэтому оптимизация потерь путем уменьшения размеров светопрозрачного ограждения невозможна.

С каждым годом энергоэффективность окон повышается, путем постоянной их модернизации.

Снизить величину теплотерь через светопрозрачные конструкции позволяет применение теплоотражающих экранов. Испытания проводились в сертифицированной климатической камере. Светопрозрачные ограждения закрывали фольгой; трехслойным пакетом, состоящим из двух стекол поликарбоната, между которыми находится фольга и фольгой в стеклопакете. Эти конструкции устанавливали с внутренней и наружной стороны окна и сравнивали тепловой поток.

Таблица 1 – Результаты измерения теплового потока с применением экранов из фольги с холодной стороны

	Без экрана	Экрансхолодной стороны
q тепл, Вт/м ²	67,6	24,15
ε прив	0,82	0,82
q луч1, Вт/м ²	46,15	19,73
q луч2, Вт/м ²	41,32	18,84
q конв1, Вт/м ²	21,45	4,42
q конв2, Вт/м ²	26,28	5,31

При установке экрана из фольги с теплой стороны эффективность ниже на 30-35%, чем с холодной.

В результате опыта измерены тепловые потоки и рассчитаны лучистые и конвективные тепловые потоки для двухкамерного стекла.

Расчет лучистой и конвективной составляющей теплового потока осуществляется по следующим формулам:

$$q_{\text{луч}} = \varepsilon \cdot E_o = \varepsilon_{\text{прив}} \cdot C_o \cdot \left(\left(\frac{T_2}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_1}{100} \right)^4 \right)$$

$$q_{\text{конв}} = q - q_{\text{луч}}$$

Таблица 2– Результаты измерения теплового потока с применением экранов из поликарбоната с теплой и холодной стороны и экрана в стеклопакете с холодной стороны

	Экран из поликарбоната в помещении	Экран с 1м листом поликарбоната с наружной стороны	Экран в стеклопакете с холодной стороны	Экран в стеклопакете на пенопласте
q тепл, Вт/м ²	39,22	24,15	50,44	46,30
ε прив	0,82	0,82	0,82	0,82
q луч1, Вт/м ²	25,58	19,73	29,43	27,76
q луч2, Вт/м ²	23,65	18,84	27,38	25,96
q конв1, Вт/м ²	13,64	4,42	21,01	18,54
q конв2, Вт/м ²	15,57	5,31	23,06	20,34

По результатам испытаний видно, что тепловой поток значительно снизился с применением экранов. Использование фольги без защитного экрана более эффективно с точки зрения энергосбережения, но данная конструкция подвержена воздействию окружающей среды.

Установка экрана с наружной стороны более эффективна, но менее долговечна из-за влияния погодных условий. Кроме того, установка теплоотражающего экрана с наружной стороны приводит к сложной системе автоматики. Чтобы избежать воздействия окружающей среды, был проведен следующий опыт: теплоотражающий экран с теплой стороны и пленкой с холодной.

Таблица 3– Результаты измерения теплового потока с применением экранов

	Экран с теплой стороны пленкой с холодной стороны	Экран с холодной стороны
q тепл, Вт/м ²	27,65	24,15
ε прив	0,82	0,82
q луч1, Вт/м ²	18,44	19,73
q луч2, Вт/м ²	17,45	18,84
q конв1, Вт/м ²	9,21	4,42
q конв2, Вт/м ²	10,20	5,31

Итак, установка экрана с теплой стороны и пленки с холодной наиболее эффективный вариант. Он позволяет максимально снизить теплотери (до 60%) и затраты на систему управления, а также наиболее долговечен, так как исключено влияние погодных условий.

*Н.Н. Смирнов, соиск.; Лаптеев Д.А., инж.;
рук. В.М. Захаров к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ЧЕРЕЗ ОКНА С ТЕПЛООТРАЖАЮЩИМИ ЭКРАНАМИ

Значительные затраты топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) на промышленных предприятиях расходуются на поддержание параметров нормируемого микроклимата в производственных и административных зданиях. Весомая часть в данных энергетических затратах приходится на компенсацию трансмиссионных потерь через оболочку здания, особенно на восполнение тепловых потерь через светопрозрачные конструкции (окна, зенитные фонари).

Авторами разработаны математическая модель, описывающая процесс теплопередачи через центральную часть стеклопакета с металлическими экранами, компьютерная программа; проанализированы данные численного моделирования процесса теплопередачи при различных параметрах внутреннего и наружного воздуха. На основе разработанной методики по выведению эмпирических формул, описывающих процесс теплопередачи через окно, получены выражения по определению приведённого сопротивления теплопередаче для конкретных типов стеклопакетов с теплоотражающими экранами, установленными снаружи. Проведено моделирование для окон с панелями, заполненными малотеплопроводными газами, такими как аргон и криптон.

В ходе математического моделирования и натурных экспериментов было выявлено, что сопротивление теплопередаче окон с метал-

лическими экранами, зависит не только от физико-геометрических характеристик конструкции, но и от скоростей и разницы температур внутреннего и наружного воздуха. Проведённые эксперименты в климатической камере АНО «Ивановостройиспытания» подтвердили адекватность разработанной математической модели.

Следует отметить, что применение конструкций окон с теплоотражающими экранами весьма актуально, и может значительно уменьшить нагрузки на системы энергообеспечения зданий, а также повысить сопротивление теплопередаче окон до значений, предъявляемых к светопрозрачным конструкциям после 2020 года.

*Е.А. Костерина, студ.; рук. В.И. Субботин, к.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПРИМЕНЕНИЕ ДЕТАНДЕР-ГЕНЕРАТОРНЫХ АГРЕГАТОВ (ДГА) НА ТЭЦ

Объем электроэнергии производимый за счет сжигания газа, по прогнозам к 2030 г. утроится. Снижение давления транспортируемого газа перед потребителем с элементами энергосбережения является актуальной задачей. Обычно снижение производится в дросселирующих устройствах ГРС (ГРП). Однако при адиабатическом дросселировании теряется потенциал потока газа, связанный с его высоким по отношению к окружающей среде давлением.

Для использования энергии избыточного давления природного газа разработаны соответствующие установки. В большинстве случаев это турбодетандеры. Процесс снижения давления в них близок к изоэнтальпическому, что обеспечивает получение максимальной величины механической энергии, с последующим преобразованием её в электрическую энергию в генераторе.

Энергия, которую газ отдает в топке, определяется не только теплотой его сгорания, но и физической теплотой природного газа, что важно при его сжигании. Если при этом в детандер-генераторном агрегате к газу не подводится какая-либо энергия извне, то газ поступает в трубопровод низкого давления, а соответственно, и в гонку с меньшей физической теплотой топлива, чем при дросселировании.

Вопрос выбора системы подогрева газа в ДГА (схемы подогрева и источника теплоты) является одним из важнейших. При снижении давления газа с применением ДГА возможны следующие варианты:

- Процесс расширения без подогрева газа перед детандером (0-2); Для того чтобы восстановить энтальпию газа до уровня, который газ имел бы после дросселирования (0-1), его необходимо нагреть (2-1);
- Подогрев газа перед детандером за счёт энергии высокого потенциала (0-3). После расширения газа в детандере энтальпия газа будет равна той, которую газ имел бы после дросселирования;
- Подогрев, таким образом, что энергия газа после детандера будет больше энтальпии газа после дросселирования (0-4);
- Подогрев, перед детандером (0-6) и после него (7-1).

Впервые использовать перепад давления природного газа на ГРС (ГРП) для выработки электроэнергии с помощью турбодетандеров предложили в 1947 г. В 1948 г. была создана турбодетандерная установка ГРП. Давление газа на входе в турбодетандер составляло 0,6-1 МПа, на выходе - 0,12- 0,13 МПа. Мощность установки составляла 50-80 кВт.

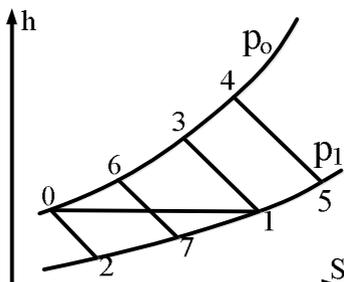


Рисунок 1 – Процессы, происходящие в детандере в h-s диаграмме

В 1995 г. АО «Криокор» введен в эксплуатацию энергосберегающий комплекс в составе двух детандер-генераторных агрегатов единичной мощностью 5000 кВт - ДГА-5000.

В ДГА-5000 газ перед турбодетандером подогревается прямой сетевой водой, поступающей от теплофикационной установки ТЭЦ, а после турбодетандера направляется к горелкам пиковых водогрейных и основных энергетических котлов.

Канадской фирмой в 1987-1988 гг. освоен серийный выпуск ряда турбодетандерных установок для ГРС. Мощность установок - от 50 до 500 кВт; турбодетандеры используются для привода электрогенераторов, компрессоров и водяных насосов.

В 1975 г. турбодетандер с электрогенератором германской фирмой «LindeAktiengesellschaft» был установлен на линии природного газа для понижения давления с 2,8 до 0,37 МПа. Мощность электрогенератора 1 МВт; расход газа 25 тыс. нм³/ч. Помимо выработки электроэнергии в установке использовался холод газа после турбодетандеров.

Турбодетандерные утилизационные установки, выполняя функции дублирующего регулятора давления, являются надежным, экологически чистым источником бесперебойного энергообеспечения. В конструкции обеспечивается полностью автоматизированная эксплуатация, полное резервирование, дистанционное управление и возможность работы в широком диапазоне расходов и давлений газа.

Рассмотренный краткий обзор[1] свидетельствует о возможности и разнообразии использования турбодетандерных установок в системах газораспределения современной теплоэнергетики.

Выполненный анализ позволяет сделать практические предпосылки для выбора и применение ДТУ для конкретного потребителя.

Библиографический список

1. Жигулина Е.В. Повышение эффективности использования избыточного давления природного газа на основе рационального выбора системы подогрева: Дис. ...канд. техн. наук. – М., 2011.– 170 с.

*Е.С. Румянцев, маг., Д.А. Лапатеев, асп.;
рук. В.М.Захаров к.т.н., доц., Н.Н. Смирнов доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРЕРЫВИСТОГО РЕЖИМА ОТОПЛЕНИЯ С ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОСУШКОЙ ВНУТРЕННЕГО ВОЗДУХА И ОКОН С РЕГУЛИРУЮЩИМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЗДАНИЙ

Согласно Российским законам с 1 января 2020 года годовая удельная величина расхода энергетических ресурсов в зданиях, строениях и сооружениях должна уменьшиться на 40 % по отношению к базовому уровню.

АНО «Ивановостройиспытания» были проведены исследования [1] по изучению влияния применения теплоотражающих экранов различного вида в окнах на повышение сопротивления теплопередаче окон и снижения тепловых потерь.

Отопление зданий и помещений может быть постоянным или прерывистым (периодическим). При прерывистом отоплении снижается или полностью отключается подача теплоты в здание или помещение. Действующие нормы СП 60.13330.2012 «Отопление, вентиляция и

кондиционирование воздуха» в холодный период года в помещениях отапливаемых зданий, когда они не используются и в нерабочее время, позволяют снижать температуру внутреннего воздуха ниже нормируемой.

Авторам было интересно выяснить каким образом можно определить значение температуры до которой система автоматизации может понизить температуру воздуха при дежурном режиме отопления при условии недопущения выпадения конденсата на внутренней поверхности стекла окна с повышенными теплозащитными свойствами (с применением теплоотражающих экранов). В ходе математических преобразований, было выведено, что минимальную температуру внутреннего воздуха при дежурном режиме отопления можно определить как:

$$t_{\text{о}}^{\text{вн}} = \frac{\tau_p \cdot \alpha_{\text{вн}} \cdot R_{\text{окна}} - t_{\text{н}}}{\alpha_{\text{вн}} \cdot R_{\text{окна}} - 1} + \Delta t_{\text{зап}} \quad (1)$$

где τ_p - температура точки росы при параметрах воздуха в рабочее время, $^{\circ}\text{C}$;

$\Delta t_{\text{зап}}$ - температурный запас по недопущению конденсации (принимается в 1°C).

$t_{\text{н}}$ - температура наружного воздуха, $^{\circ}\text{C}$;

$R_{\text{окна}} = R_0$ - приведенное сопротивление теплопередаче светопрозрачной зоны окна, $\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C} / \text{Вт}$;

$\alpha_{\text{вн}}$ - коэффициент теплоотдачи от внутреннего воздуха к стеклу, $\text{Вт} / \text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$.

Таким образом, зная приведенное сопротивление окна $R_{\text{окна}}$ в нерабочее время суток, температуру наружного воздуха, температуру и относительную влажность воздуха в рабочее время, можно определить минимальное значение температуры воздуха при дежурном режиме отопления из условия недопущения образования конденсата.

Для получения наибольшей экономии тепловой энергии от использования теплоотражающих экранов и дежурного режима отопления, авторами была предложена методика по понижению влагосодержания внутреннего воздуха.

Применение предложенных конструкций окон с теплоотражающими экранами, прерывистого режима отопления с предварительной осушкой воздуха, методики по определению минимально-допустимой температуры воздуха, исходя из условия недопущения выпадения кон-

денсата, поможет добиться значений потребления энергоресурсов, устанавливаемых для зданий Российскими нормами.

Библиографический список

1. **Бомон С.,** Хольтсвейлер Э., Захаров В.М., Смирнов Н.Н., Яблоков А.А., Лапатеев Д.А. Разработка и испытание автоматизированных окон с теплоотражающими экранами, отвечающих Российским и Европейским требованиям в области энергосбережения // Вестник ИГЭУ. – Иваново: Иван. гос. энерг. ун-т, 2013 г.. – №5. – С. 13-24.

Секция 7. ПАРОВЫЕ И ГАЗОВЫЕ ТУРБИНЫ

Председатель секции
зав. кафедрой «Паровые и газовые турбины»
к.т.н., доц. А.Л. Виноградов
Секретарь секции к.т.н., доцент Е.Ю. Григорьев

Д.А. Другов, студ.; А.А. Ямалтдинов, аспирант;
рук. А.Ю. Рябчиков, д.т.н., проф.
(УрФУ, г. Екатеринбург)

АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ТУРБИН СЕРИИ ПТ-135 ЗАО «УРАЛЬСКИЙ ТУРБИННЫЙ ЗАВОД»

На сегодняшний день в эксплуатации находится 41 паровая турбина серии ПТ-135. Первая турбина была изготовлена в 1973 году для Волжской ТЭЦ. Средняя наработка турбин, работающих в РФ, на 2015 год составляет 230 тыс. часов.

Одним из важных показателей надежности работы турбин является средняя наработка на отказ T_0 и среднее время восстановления после отказа T_v . Другими важными показателями надежности турбины являются коэффициенты готовности K_r , рабочего времени отопительных отборов $K_{р.о}$ и использования установленной мощности отопительных отборов $K_{у.м.о}$ [1]. Показатели надежности работы турбины коэффициенты использования отопительных отборов рассматриваемой серии ПТ-135 сведены в таблицу.

Таблица - Показатели надежности работы турбин серии ПТ-135

Год	Число отказов, шт.	T_0 , ч	T_v , ч	K_r , %	$K_{р.о.}$, %	$K_{у.м.о.}$, %
2003	3	51970	129	99,7	49	63
2004	4	35240	15	99,9	41	45
2005	0	0	0	0	49	59
2006	5	66040	127	99,8	48	50
2007	1	168657	1	99,9	49	53
2008	4	36590	131	99,1	51	53
2009	4	31336	13	99,9	38	48
2010	15	9379	45	99,5	40	54
2011	7	16766	18	99,9	37	48
2012	10	12419	36	99,7	44	50

Расчет коэффициентов надежности турбин серии ПТ-135 производился по формулам:

$$K_r = \frac{T_0}{T_0 + T_v} \times 100\%$$

где T_0 и $T_{в}$ – по данным полученным от ТЭЦ.

$$K_{\text{у.м.о.}} = \frac{W_0}{m \times T_{\text{т.р.т}} \times N_{\text{т.ном}}} \times 100\%,$$

где W_0 – суммарная выработка тепловой энергии отопительными отборами; m – количество учтенных турбин; $T_{\text{т.р.т}}$ – теоретическое время работы отопительных отборов с номинальной нагрузкой (5500 ч. в год); $N_{\text{т. ном}}$ – номинальная тепловая нагрузка отопительных отборов турбины.

$K_{\text{р.о.}}$ – по данным полученным от ТЭЦ.

Анализ парка турбин показал, что турбины данной серии, в настоящее время, активно эксплуатируются на ТЭС, и вопросы, связанные с повышением их надежности, являются достаточно актуальными. Одним из проблемных узлов ПТ-135 является ротор низкого давления (РНД), поскольку у него обнаруживаются трещины в районе последних ступеней.

Во время проведения ремонтов РНД турбин ПТ-135/165-130 Волжской ТЭЦ-1 и Тобольской ТЭЦ были обнаружены кольцевые (поперечные) трещины на валу по углам канавки под упорное кольцо за диском 24 ступени глубиной свыше 32 мм и 25 мм соответственно. При этом механизм возникновения и развития трещин имел усталостный характер.

Ситуация по РНД турбин серии ПТ-135, по состоянию на 01.01.2015, следующая: 30,3 % учтенных РНД ПТ-135 забракованы, 27,3% отремонтированы и пропущены в эксплуатацию. Остальные 42,4% без обнаруженных трещин - это ротора турбин, установленных в 90-х годах в Китае (24,2%), и турбины с отремонтированными роторами (переведенные на 2-х ступенчатую ЧНД) по техническому указанию №75[2].

Выявленные трещины представляют серьезную угрозу для эксплуатации турбин и электростанций в целом. В настоящее время все большее количество станций заинтересованы в поставке новых роторов низкого давления для турбин серии ПТ-135. В связи с этим необходимо разработать новую конструкцию цельнокованных роторов низкого давления для данной серии турбин.

Библиографический список

1. Баринберг Г.Д. Паровые турбины и турбоустановки Уральского турбинного завода /Г.Д. Баринберг, Ю. М. Бродов, А. А. Гольдберг, Л. С.Июффе и др.; 2-е издание. Екатеринбург: «Апиро», 2010. 488 с.
2. Техническое указание № 75. ЗАО «УТЗ» 2004. 3 с.

*И.А. Ковшик, асп.; рук. Н.Б. Карницкий д.т.н., проф.,
(БНТУ, г. Минск)*

МЕТОДЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЛОПАТОК ПАРОВЫХ ТУРБИН

Восстановление лопаток паровых турбин находит особую актуальность в связи с выработкой большинством турбин паркового ресурса. Поскольку вывод турбоагрегата из эксплуатации для ремонта и замены поврежденных частей дорогостоящ (простой обходится до 160 000 долларов США. в день для турбины Т-100-130, (эквивалентная цена невыработанной электроэнергии)), увеличение срока эксплуатации и качества произведенных ремонтов лопаток паровых турбин является важной задачей.

Условия работы элементов ротора а именно высокая температура, давление а также общий эрозийный износ (особенно в зоне фазового перехода) могут привести к нарушению структуры металла лопаток, и накоплению трещин.

С нарушением целостности лопаток снижается КПД турбоагрегата, дальнейшее разрушение лопатки и отрыв её конструктивных частей может повлечь катастрофические последствия – разрушения лопаток на дальнейших ступенях. На рисунке 1, представлены сквозные дефекты направляющих лопаток диафрагмы.



Рисунок 1. Сквозной дефект лопатки

Основной путь при проведении ремонтов – либо замена дефективных лопаток, либо восстановление.

В установившейся практике ряде стран СНГ используются нормативные документы [1] регламентирующие возможность восстановления лопаток – нормы ремонтпригодности.

На сегодняшний день существует 4 метода восстановления лопаток паровых турбин: механические (без нанесения дополнительного металла), припайка или подварка, а также газотермическое напыление и лазерное плакирование «на месте».

К механическим методам восстановления относят рихтовку деформированных кромок, опиловку а также локальную выборку механических подповерхностных дефектов – забоин, эрозионных промывов, трещин, коррозионных язв, на регламентированную глубину согласно технологии разработанной или согласованной с заводом изготовителем. В случае наличия недопустимых сквозных дефектов, а также большом коррозионно-эрозионном износе и невозможности дальнейшего снятия металла (утонение лопатки) используют методы припайки и приварки стеллитовых пластин с дальнейшей механической обработкой профиля лопатки. Данный метод наиболее распространён на энергоремонтных заводах.

Перспективным методом восстановления лопаток является методы нанесения газотермических покрытий, однако вследствие диффузионного воздействия температуры процесса, возможно снижение эксплуатационных свойств исходного металла лопатки. Данный недостаток лишён метод лазерного плакирования лопаток «на месте» [2]. Технология лазерного плакирования «на месте» позволяет добиться локального воздействия высоких температур лазерного излучения и избежать изменения эксплуатационных свойств исходного металла лопатки. Основным преимуществом данной технологии является возможность ремонтировать лопатки без разлопачивания, что значительно сокращает общий простой, связанный с ремонтом.

Библиографический список

1. Инструкция о порядке оценки работоспособности рабочих лопаток паровых турбин в процессе изготовления эксплуатации и ремонта. М.: ЦПТИ ОРГРЭС, 2004. 46 с.
2. **Brandt M., Harris J.** In-situ laser repair of steam turbine blades. Melbourne.: IRIS, Swinburne University of Technology, 2007.

*И.С. Низамов, магистр, А.В. Гайнетдинов, магистр; науч.
рук. Г.Р. Мингалеева, д-р техн. наук, проф.
(КГЭУ, г. Казань)*

ПЕРСПЕКТИВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕНЕРАТОРНОГО ГАЗА, ПОЛУЧЕННОГО ПРИ ГАЗИФИКАЦИИ ВУТ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЭНЕРГИИ

В настоящее время использование новых смесей для сжигания в камере сгорания газотурбинных установок стало интересным и позволяет получить меньшие затраты на топливо, что является важным фактором в параметре турбины.

В качестве объекта для сжигания мы рассмотрим водоугольные суспензий, представляющая собой смесь угольной пыли и воды. Которое является жидким топливом, обладающая некоторыми свойствами.

Водоугольное топливо (ВУТ) на сегодняшний день является перспективным энергоресурсом. Это альтернатива замены в промышленной энергетике жидкого топлива, как мазута и газа. Процесс горения ВУТ характерен высокой полнотой выгорания топлива (98-99,7%), малыми избытками воздуха (3-7%). В связи с особенностями процесса горения, протекающими в полувосстановительной среде при относительно высоких концентрациях водяного пара, топливо сгорает без выбросов продуктов монооксида углерода, вторичных углеродов, сажи и канцерогенных веществ. Резко сокращается образование и выбросов твердых частиц микронных фракций (до 80-95%), оксидов серы (до 70-85%) и оксидов азота (до 80-90%). Поэтому ВУТ является ещё и экологичным и пожаровзрывобезопасным топливом. Теплота сгорания ВУТ из угля составляет 3500 ккал/кг, что меньше газа (8300 ккал/кг) и мазута (9300 ккал/кг), поэтому его надо больше для получения единицы энергии.

Целью дальнейшей работы является расчет, выявление новых перспектив и свойств ВУТ в ГТУ при производстве энергии.

Библиографический список

1. **Н.В. Журавлева, В.И. Мурко, В.И. Федяев [и др.]**. Вихревая технология сжигания водоугольного топлива / Экология и промышленность России. – 2009. – №1. – С.6-9.
2. **Ходаков, Г.С.** Водоугольные суспензии в энергетике // Теплоэнергетика. – 2007. – №1. – С. 35-45.

*А.Д. Водениктов, Сухов А.В. студ.; рук. Е.Ю. Григорьев к.т.н., доц.
А.Е. Зарянкин д.т.н., проф
(ИГЭУ, г.Иваново, МЭИ, г.Москва)*

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ УСТРОЙСТВ ПОДГОТОВКИ ПОТОКА ДЛЯ ТРУБОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ

Основным недостатком существующих устройств подготовки потока (УПП), применяемых в трубопроводных сетях после местных сопротивлений и перед расходомерами является то, что конструкция подразумевает использование выравнивающих фильтров, проходное сечение которых меньше, чем живое сечение самого трубопровода. Отмеченное обстоятельство приводит к увеличению локальных скоростей при выравнивании потока и необоснованному росту гидравлических потерь. По этой причине УПП в настоящее время в трубопроводных сетях используются крайне ограничено.

Однако, использование УПП может существенно улучшить гидравлические и вибрационные характеристики трубопроводных сетей.

При разработке новой серии УПП были учтены недостатки существующих конструкций (дисковый, трубчатый и т.д.) и положен в основу принцип того, что выравнивание потока должно происходить при существенно меньших скоростях в сравнении со скоростями движения потока в трубопроводе. Для этого устройство выполнено с увеличенным диаметром корпуса, это обстоятельство позволяет применять в конструкции стандартные фильтры рассчитанные для большего типоразмера.

Соединение УПП и трубопровода возможно по схеме использования диффузора при переходе от трубопровода к корпусу УПП и плавного конфузора при последующем обратном переходе. Проведенные физические и численные исследования показывают, что применение предлагаемых решений при использовании стандартных дисковых устройств типа Цанкер позволяют снизить коэффициент потерь ζ почти в 2 раза. Кроме того коэффициент равномерности потока составил $\xi=0,92$, против 0,85 в стандартном УПП Цанкер.

Так же в материалах доклада представлены результаты испытаний ступенчатого соединения трубопровода и корпуса струевыпрямителя, доказана эффективность данного решения по сравнению с диффузорным соединением; представлены варианты новых фильтров типа «перфорированный конус».

*Р.Ю. Шлёнкин студ.; рук. Е.Ю. Григорьев к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г.Иваново)*

РАЗРАБОТКА РЕШЕНИЙ ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ ТЕЧЕНИЙ В ШИБЕРНЫХ ЗАДВИЖКАХ

К сожалению, при проектировании арматуры вопросам гидрогазодинамики в настоящее время уделяется недостаточно внимания. В результате именно арматура, в том числе энергетическая, является генератором исключительно высоких амплитуд пульсаций давления рабочих сред, которые в свою очередь определяют вибрационное состояние трубопроводных сетей.

Для улучшения вибрационных характеристик установок и связанных с ними трубопроводов необходимо стремиться к режиму безотрывного течения в проточных частях проектируемых устройств.

Классический пример движения рабочей среды, где в принципе невозможно избежать отрывного характера течения - это клиноватая шиберная задвижка. При всех компоновочных достоинствах этого типа арматуры шиберные задвижки при частичном открытии генерируют в потоке развитые дискретные вихревые образования. По существу после задвижек имеет место нестационарное течение двух компонентной среды с очень широким спектром частот и амплитуд возникающих в ней пульсаций всех параметров и скоростей.

Существенно снизить динамические нагрузки на трубопроводы при использовании клиноватых шиберных задвижек возможно при использовании разгрузочных отверстий во втором по ходу течения рабочей среды диске; профилированием седел дисков таким образом, чтобы обеспечивалось линейное изменение площади живого сечения в зависимости от степени подъема штока задвижки, использованием антикавитационных прорезей на самом запорном диске для исключения размыва его кромок.

Проведенные CFD расчеты течения рабочей среды в новой задвижке показывают, что за счет использования разгрузочных отверстий удается существенно снизить зону отрывного течения за задвижкой, а использование профилированного седла позволяет добиться линейного характера изменения расхода рабочей среды при открытии задвижки.

Физические испытания, проведенные на аэродинамическом стенде с рабочей средой «воздух» показали, что использование предложенных решений позволяет в 2 раза снизить уровень вибрации на последующем прямом участке трубопровода.

*А.И. Аверин, студ.; рук. Е.Ю. Григорьев к.т.н., доц.
А.Е. Зарянкин д.т.н., проф
(ИГЭУ, г.Иваново, МЭИ, г.Москва)*

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ В ТУРБИННЫХ РЕШЕТКАХ

Если рассмотреть основное оборудование электростанций, то самый высокий коэффициент полезного действия у генераторов и трансформаторов 97÷98%, несколько ниже КПД котла 93÷96%, еще ниже экономичность турбины 75÷90%. Таким образом, если бороться за повышение экономичности всей станции необходимо в первую очередь совершенствовать турбины.

Основным узлом турбомашин является проточная часть, Здесь как раз и происходит движение пара в случае паровой турбины или горячих газов в газовой турбине, и именно здесь возникают самые большие потери. Эти потери напрямую связаны с аэродинамикой турбинных решеток.

Одним из наиболее эффективных способов снижения концевых потерь, может быть использование специальных направляющих ребер на ограничивающих стенках сопловых решеток, на хвостовиках и бандажах рабочих лопаток.

Испытания велись на плоском пакете образованном профилями типа С9012А, установленными с шагом $t=45$ мм, межпрофильные каналы были с системой оребрения ограничивающих стенок и без них. В рассматриваемом случае была применена система оребрения, где высота ребра возрастала с увеличением толщины пограничного слоя.

На первом этапе исследований была испытана турбинная решетка с профилями С9012А высотой $L/b=2,5$ при значении числа Маха 0,23. Полученное распределение значений коэффициентов потерь показывает, что ведение реберной системы, препятствует вторичным перетеканиям в пограничных слоях от вогнутой поверхности к спинке соседнего профиля. В результате кривая распределения потерь по высоте рассматриваемой решетки не имеет характерных изгибов присущих кривой потерь по высоте стандартной решетки.

Кроме того, применение спрофилированных ребер привело к снижению среднего значения коэффициента потерь для рассматриваемых решеток на 1% по сравнению с турбинной решеткой без системы оребрения.

*А.А.Сбитнев студ.; рук. Л.Д. Яблоков к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г.Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОУСТАНОВОК С ГЛУБОКИМ ОХЛАЖДЕНИЕМ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ

Энергоустановки с глубоким охлаждением уходящих дымовых газов предложены д.т.н. Ложкиным А.Н. [1]. Он был инициатором создания отечественных ПГУ с высоконапорным или низконапорным парогенератором.

Актуальность данной работы достаточно велика в настоящее время, когда весь мир борется за снижение вредных выбросов (тепловых NO_x , CO_x). В Европе принята программа 20-20, чтобы снизить к 2020 году вредные выбросы на 20%.

Россия, ориентируясь на данные разработки, может достигнуть гораздо большего эффекта с меньшими затратами и меньшими сроками реализации, исключив выбросы CO_2 на «экологических» энергоустановках в атмосферу.

В экологических энергоустановках продукты сгорания из греющего агента (как в котлоагрегатах обычного типа) превращаются в рабочее тело (как в парогазовых установках), в хладагент, в регенерирующее биомассу вещество и в интенсификатор нефтедобычи (жидкая двуокись углерода) [2].

Применение таких энергоустановок дает возможность:

- 1) использовать высшую теплотворную способность топлива вместо низкой, как в энергоустановках других существующих типов, т.е. добавочной низкой теплотворной способности топлива использовать эффективно теплоту конденсации водяных паров, образующихся при сжигании топлива, исчерпав тем самым возможности утилизации всего тепла топлива;
- 2) исключить теплотери с уходящими дымовыми газами;
- 3) получить, как в ПГУ обычных типов, дополнительную работу в газовой турбине, включенной в схему установки, за счет продуктов сгорания топлива наряду с работой, совершаемой паром в паровой турбине;
- 4) использовать при необходимости продукты сгорания для охлаждения воздуха, воды и т.п. для потребителей холода, а также для получения из продуктов сгорания кристаллической или жидкой двуокиси углерода, исключив выход их в атмосферу;
- 5) интенсифицировать все основные рабочие процессы: горение топлива, теплообмен, уменьшив тем самым габариты установки, металлоложения, потребные площади для застройки;

6) обеспечить высокую экологическую эффективность, сократив в несколько раз вредные газовые, золовые и тепловые выбросы в окружающую среду;

7) обеспечить, по сравнению с существующими ТЭЦ, экономию топлива на 25-45% без учета эффекта от производства холода и двуокиси углерода;

8) снизить на 25-30% удельные капиталовложения на 1 Гкал/ч присоединенной нагрузки по сравнению с ТЭЦ существующих типов;

Экологические энергоустановки могут быть эффективно использованы во всей области централизованного теплоснабжения и теплохладоснабжения, а также при комплексном производстве электроэнергии и холода или кристаллической (жидкой) двуокиси углерода, и в области электроэнергетики в замен применяемых в настоящее время КЭС, ТЭЦ и котельных различной мощности и назначения. Такие энергоустановки могут иметь широкий диапазон единичных мощностей по всем видам вырабатываемой энергетической продукции при осуществлении специальных мероприятий. Они характеризуются маневренностью и высокой экономичностью при переменных режимах в широком диапазоне изменения нагрузок потребителей.

Экологические энергоустановки так же, как и установки других типов, характеризуются универсальностью по видам сжигаемого топлива (газ, жидкое топливо, и продукты внутрицикловой газификации твердого топлива). В перспективе они могут эффективно использоваться для сжигания водорода (водородная энергетика).

Использование в энергетике и в различных отраслях народного хозяйства экологических энергоустановок позволит в перспективе преодолеть трудности, возникающие при разработке топливно-энергетического баланса, особенно для европейской части России.

Библиографический список

1. **Ложкин А.Н.** и др. «Экологические циклы и энергоустановки с глубоким охлаждением уходящих газов» отчет по НИР части 1,2,3 «ВНИПИэнергопром» северо-западное отделение, Ленинград, 1979 г.
2. **Тезисы доклада** и сообщений по проблеме «Экологические энергоустановки и их межотраслевое использование» ВСНТО Москва, 21 октября 1981 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 1. Тепловые электрические станции

<i>А.С.С. Али.</i> Перспективы развития энергетической системы республики Йемена; <i>рук. Чичирова Н.Д.</i>	3
<i>Зенович-Лешкевич-Ольпинский Ю.А.</i> Совершенствование систем технического водоснабжения тепловых электростанций с целью повышения их энергоэффективности; <i>рук. Карницкий Н.Б.</i>	4
<i>Аль-Аомари О.М.</i> Применение тепловизионного контроля при диагностике силовых трансформаторов; <i>рук. Ваньков Ю.В.</i>	6
<i>Ананьев Н.П.</i> Эффективность модернизации циркуляционных систем охлаждения оборотной воды путём внедрения вентиляторных градирен; <i>рук. Ильин Р.А.</i>	7
<i>Ключников Д.И.</i> Аспекты повышения маневренности установок ТЭС; <i>рук. Галицкий Ю.Я.</i>	9
<i>Путятин С.С.</i> Анализ применения когенерационных установок для электро- и теплоснабжения потребителей; <i>рук. Ильин Р.А.</i>	10
<i>Махсутбек Ф.Т.</i> Анализ влияния температуры грунта по глубине на тепловые режимы резервуаров тэс и котельных с учетом наличия инженерного сооруже ^н и; <i>рук. Половников В.Ю.</i>	12
<i>Семенов Н.А., Хасанов Р.Р.</i> Резервы пластичности работы газовых ТЭЦ на рынки теплоты и электроэнергии; <i>рук. Потапов В.Н.</i>	14
<i>Волков А.Е., Кубатулина К.О.</i> Моделирование процесса утилизации уходящих из ГТЭ-6П газов в котлоагрегате «П-102»; <i>рук. Шельгин Б.Л.</i>	16
<i>Волков А.Е., Титов О.О.</i> Анализ характеристик котла-утилизатора Е-50-0,7-250 при сжигании дополнительного топлива в потоке газов, уходящих из ГТЭ-6П; <i>рук. Шельгин Б.Л.</i>	17
<i>Горшенин С.Д.</i> Прогнозирование рн воды за атмосферными деаэраторами; <i>рук. Ледуховский Г.В.</i>	18

<i>Зимин А.П.</i> О методе сведения материального баланса при обработке опытных данных при испытаниях турбоустановки; <i>рук. Ледуховский Г.В., Жуков В.П.</i>	20
<i>Иванов И.А.</i> Применение пароохладителей в тепловых схемах ТЭС; <i>рук. Орлов Г.Г.</i>	22
<i>Лагин А.В.</i> Повышение экономичности ТЭС сжигающих влажные и высоковлажные угли; <i>рук. Орлов Г.Г.</i>	25
<i>Малахов А.А.</i> Определение величины подпитки теплосети и расходов пара на сетевые подогреватели в режиме диалога с эвм; <i>рук. Орлов Г.Г.</i>	28
<i>Моисеев В.И.</i> Анализ перспектив перевода тэс в режим с постоянной нагрузкой; <i>рук. Бушув Е.Н.</i>	30
<i>Панов Л.М., Ермолаев Д.С.</i> Разработка схемы расчета котла-утилизатора «П-88» применительно к ПГУ-325; <i>рук. Шельгин Б.Л.</i>	32
<i>Панов Л.М., Тукмачев А.С.</i> Исследование показателей котла-утилизатора «П-88» при изменении температуры наружного воздуха; <i>рук. Шельгин Б.Л.</i>	33
<i>Потанов А.М.</i> Разработка уточненной модели вакуумно-атмосферной деаэрационной установки на базе деаэраторов «ДСА» и «АВАКС»; <i>рук. Ледуховский Г.В.</i>	34
<i>Терентьева А.А.</i> Определение интенсивности отказов тепловых сетей; <i>рук. Барочкин А.Е.</i>	36
<i>Уранов А.А.</i> Построение процесса расширения пара в h,s - диаграмме для главной и вспомогательной приводной турбин ТЭС; <i>рук. Орлов Г.Г.</i>	38
<i>Магомедсайгитов Д.М.</i> Получение дополнительной мощности на ТЭС сжигающих газ, путём применения турбодетандерных агрегатов; <i>рук. Орлов Г.Г.</i>	40
<i>А.Р. Богачева</i> Нормирования расхода тепла на технологическую вентиляцию; <i>рук. Ледуховский Г.В., Барочкин А.Е.</i>	42

Секция 2. Промышленная теплоэнергетика

<i>Бадриев А.И</i> Способ анализа влияния нагрузки башенной градирни на её охлаждающую мощность; <i>рук. Шарифуллин В.Н.</i>	45
<i>Баева М.Н.</i> Проблема распределения затрат топлива на производство электрической и тепловой энергии; <i>рук. Ильин Р.А.</i>	47
<i>Красавина Е.О., Звезгинцев А.А.</i> Принцип теплового насоса как средство снижения энергоемкости промышленных процессов ректификации; <i>рук. Плотникова Л. В.</i>	49
<i>Сотников Д.Г.</i> Энергохимическая установка на базе реактора частичного окисления; <i>рук. Мракин А.Н.</i>	51
<i>Мнушкин Н.В.</i> Энергетический баланс теплогенератора; <i>рук. Игонин В.И.</i>	53
<i>Зинуров В.Э., Хафизова А.И.</i> Определение вероятностей отказа элементов энергетических систем по результатам контроля его состояния; <i>рук. Круглов В.И.</i>	55
<i>Кашипова Л.А., Фаздалова А.И.</i> Методики анализа промышленных теплоэнергетических систем с целью организации систем рекуперации вторичной энергии <i>рук. Плотникова Л. В.</i>	56
<i>Мясникович В.В.</i> Выбор конструкции высокотемпературного теплообменного аппарата в схеме газотурбинной установки с внешним подводом теплоты; <i>рук. Седнин В.А.</i>	58
<i>Кудряшова Д.Е., Сахарова А.Г.</i> Основы построения принципиальных схем когенерационных установок; <i>рук. Васильев С.В., Банников А.В.</i>	60
<i>Копосов А.С.</i> Анализ применения паровых турбин в когенерационных установках; <i>рук. Васильев С.В., Банников А.В.</i>	61
<i>Беляков А.О.</i> Автоматизация расчета тепловой схемы котельной с паровыми и водогрейными котлами в ms excel; <i>рук. Васильев С.В., Махов О.Н.</i>	62
<i>Сафронов А.С.</i> Требования к математической модели «микроклимата» помещения; <i>рук. Пыжов В.К.</i>	64

<i>Иванова К.М.</i> Особенности методов расчета ректификационных установок; <i>рук. Банников А.В.</i>	66
<i>Андреев С.В., Окатов И.М., Щербаков М.С.</i> Расчет показателей надежности тепловых сетей и планирование на их основе замены участков трубопроводов; <i>рук. Авдюнин Е.Г., Коновалов А.В., Сенников В.В.</i>	68
<i>Андреев С.В., Окатов И.М., Щербаков М.С.</i> Методика расчета показателей надежности тепловых сетей и планирования замен участков трубопроводов; <i>рук. Авдюнин Е.Г., Сенников В.В.</i>	70
<i>Колесников М.В.</i> Аэродинамическая характеристика шарового коллектора систем аспирации с регулируемой производительностью; <i>рук. Созинов В.П.</i>	72
<i>Морозова А.А.</i> Особенности исполнения элементов систем теплоснабжения в контексте решения задачи преодоления визуального вторжения; <i>рук. Банников А.В.</i>	73
<i>Дмитриенко В.А.</i> Экспериментальное исследование эффективности конденсационных котлов в системах теплоснабжения; <i>рук. Банников А.В., Архипов И.В.</i>	75
<i>Рутковский В.А.</i> Реконструкция паровой котельной в мини-тэц с целью обеспечения ее собственной электроэнергией; <i>рук. Субботин В.И.</i>	77

Секция 3. Автоматизация технологических процессов

<i>Ботько Е.Н., Савко К.Г.</i> Оптимизация систем автоматического управления уровнем в парогенераторе; <i>рук. Кравченко В.В.</i>	80
<i>Бурцев С.Ю., Коршикова А.А.</i> Участие энергоблока ПГУ-450Т в нормированном первичном регулировании частоты; <i>рук. Аракелян Э.К.</i>	82
<i>Дозморов П.Г., Шатских В.О.</i> Обучение нейро-нечётких систем с помощью генетических алгоритмов; <i>рук. Тетеревков И.В.</i>	84
<i>Колесов В.С., Кузнецов Д.В.</i> Матричные операции в задачах автоматического регулирования и их реализация; <i>рук. Тетеревков И.В., Горнушкин А.Р.</i>	86

<i>Колосова Ю.С.</i> О применении метода конечных элементов к задаче динамического моделирования процессов в распределённых тепло-энергетических объектах управления; <i>рук. Кондрашин А.В.</i>	88
<i>Кустова Г.В.</i> Разработка методов и средств настройки систем управления с помощью виртуальной модели AUTOLAB (англ.); <i>рук. Кондрашин А.В., Ежова С.А.</i>	90
<i>Малкова Е.Л.</i> Вариативность метрологического обеспечения АСУ ТП;	92
<i>Матюшкин Д.А.</i> Применение энтропийных оценок для определения закона распределения случайной погрешности; <i>рук. Тетеревков И.В.</i>	95
<i>Д.А. чуланов</i> Использование экспертных систем в процессе решения задач в сапр верхнего уровня асутп; <i>рук. Кондрашин А.В.</i>	97

Секция 4. Технология воды и топлива. Экология ТЭС и промышленных предприятий.

<i>Римашевская Е.Д.</i> Исследование экологической эффективности баромембранных схем обессоливания воды на тэс и аэс; <i>рук. Чиж В.А.</i>	99
<i>Римашевская Е.Д.</i> Разработка и анализ технологий утилизации натрийсо-держащих стоков при подготовке обессоленной воды на тэс и аэс по баромембранным методам; <i>рук. Чиж В. А.</i>	101
<i>Дроздов А.А.</i> Химия аминокислотсодержащих соединений в энергетике; <i>рук. Пирогов А.И.</i>	102
<i>Budaeva A.Yu.</i> Valuation and control of water chemical exhaust boilers condition for a steam-to-gas sysyem; <i>рук. Bushuev E.N., Filatova M.V.</i>	104
<i>Будаева А.Ю.</i> Лабораторная проверка технической эффективности мощных композиций для очистки от бугорчатых железо-оксидных отложений испарительных труб паровых котлов; <i>рук. Бушуйев Е.Н., Зайцева Е.В.</i>	105

<i>Трухин Д.С.</i> Разработка лабораторных стендов очистки воды на тэс и аэс; <i>рук. Ларин Б.М.</i>	107
<i>Сачихина Ю.В.</i> Эксплуатационные очистки внутренних поверхностей котла; <i>рук. Зайцева Е.В.</i>	110
<i>Чернова И.А.</i> Подавление флотационного выноса шлама на ВПУ ТЭЦ; <i>рук. Карпычев Е.А.</i>	112
<i>Сивачева М.А., Филинова О.А., Чугрова А.В.</i> Бактерии-экстремофилы в защите окружающей среды; <i>рук. Лукина В.Б.</i>	113
<i>Смирнова Т.А., Жулькова Ю.А.</i> Состояние почв в Ивановской области; <i>рук. Еремина Н.А.</i>	115
<i>Филинова О.А., Чугрова А.В.</i> Оценка состояния реки Уводь в черте города Иваново по величине рН; <i>рук. Еремина Н.А.</i>	117

Секция 5. Теоретические основы теплотехники

<i>Шмыгалев А.С., Жилкин Б.П.</i> Передача теплового излучения с помощью инфракрасных световодов: влияние изгиба оптического волокна; <i>рук. Фасхиев В.Н., Жукова Л.В.</i>	120
<i>Бубнов К.Н., Вышкин А.С.</i> Оптимизация параметров рабочих тел ПГУ с котлом-утилизатором; <i>рук. Чухин И.М.</i>	122
<i>Коротков Е.А., Кузнецов В.М.</i> Анализ тепловой экономичности АЭС с ВВЭР при ее совмещении с холодильным циклом; <i>рук. Чухин И.М.</i>	124
<i>Коркин Д.Е., Дубровский И.В.</i> Программный комплекс для оптимизации проектирования циклов паротурбинных установок; <i>рук. Корочкина Е.Е.</i>	126
<i>Горбунова А.Н.</i> Микротеплообменные аппараты; <i>рук. Бухмиров В.В.</i>	127
<i>Кривенко Ю.А., Лукьянова Е.С.</i> Атлас теплообменных аппаратов; <i>рук. Бухмиров В.В.</i>	129
<i>Кругликов Д.А.</i> Оптимизация плоского прямоугольного ребра; <i>рук. Бухмиров В.В.</i>	131

<i>Кустова Г.В., Данилова А.С.</i> Совершенствование базы энергосберегающих мероприятий «БЭСМ»; <i>рук. Бухмиров В.В.</i>	133
<i>Поднебеснова Т.С.</i> Теплообменные аппараты с наножидкостями; <i>рук. Бухмиров В.В.</i>	135
<i>Соломатов И.С.</i> Аналитическое решение краевой задачи теплопроводности для тел простой и сложной формы. Программная реализация; <i>рук. Бухмиров В.В.</i>	137
<i>Мальцев А.С.</i> Разработка базы задач по разделу "Стационарная теплопроводность и теплопередача" курса "Тепломассообмен"; <i>рук. Созинова Т.Е.</i>	139
<i>Спирина М.А.</i> Современное состояние развития геотермальной энергетики в России и мире; <i>рук. Созинова Т.Е.</i>	141
<i>Квасников А.П., Маковкин С.А., Морару Е.Д.</i> Решение задач конвективного теплообмена при помощи вычислительного комплекса; <i>рук. Плетникова Ю.С.</i>	143
<i>Яшин И.М., Никитов К.А.</i> Разработка комплекса расчета стационарной теплопроводности с внутренними источниками теплоты; <i>рук. Плетникова Ю.С.</i>	144
<i>Рыбин В.С., Чистова А.А.</i> Численное моделирование рекуперативного теплообменного аппарата «труба в трубе»; <i>рук. Родионов Г.А., Бухмиров В.В.</i>	146
<i>Каленова Е.А.</i> Метод определения комфортного микроклимата в помещении <i>рук. Пророкова М.В., Бухмиров В.В.</i>	149
<i>Борисов М.Б., Матюшкин Д.А.</i> Определение фактического воздухообмена учебных аудиторий ИГЭУ; <i>рук. Пророкова М.В., Бухмиров В.В.</i>	151
<i>Гаськов А.К.</i> Влияние состава энергосберегающих красок на коэффициент теплопроводности; <i>рук. Бухмиров В.В.</i>	153
<i>Макарихина Ю.С., Рассказова Е.В., Иванов В.А.</i> Исследование энергосберегающих покрытий в процессе эксплуатации; <i>рук. Гаськов А.К., Бухмиров В.В.</i>	155
<i>Брезгина А.С.</i> Экспериментальное исследование нагрева насыпных садов; <i>рук. Сулейманов М.Г., Бухмиров В.В.</i>	157

Секция 6. Энергоресурсосбережение

- Климов Е.И.* Производство энергии за счет утилизации продуктов жизненного цикла полигона тбо; *рук. Соломин Е.В.* 159
- Петровский М.В.* Разработка математической модели для анализа и прогнозирования потребления энергоресурсов на примере объекта социальной сферы.; *рук. Доманов В.И.*..... 161
- Воеводин И.Г.* Оптимизация работы солнечных преобразователей посредством использования системы слежения за солнцем; *рук. Струмяляк А.В.*..... 162
- Воеводин И.Г.* Расчёт выработки электроэнергии солнечными преобразователями с учётом облачности; *рук. Струмяляк А.В.* 164
- Курганова О.Ю.* Снижение тепловых потерь в трубопроводе. газонаполненная тепловая изоляция; *рук. Щёлоков А.И.* 166
- Терентьев И.С.* Оценка энергетической эффективности комбинированной вертикально-осевой ветроэнергоустановки; *рук. Шишкин Н.Д.*..... 168
- Мирзошарифзода Н.Д.Д.* О работе погодного регулятора в нестационарных условиях; *рук. Гусячкин А.М.* 170
- Царев А.С., Щепелина Ю.В., Усков В.В.* Оптимизация процессов сгорания топливных брикетов. 171
- Грищенко В.В., Груздев И.П.* Энергетическое использование гидропотенциала малой реки в створе существующей плотины; *рук. Арсенов В.Г.* 173
- Некрасов Д.Н.* Возможные схемы подогрева природного газа при использовании детандер-генераторных агрегатов на тэц; *рук. Субботин В.И.*..... 175
- Погорелов А.И., Федосеев А.А.* Теплоснабжение теплицы от печи обжига ОАО «Ивстройкерамика»; *рук. Смирнов Н.Н., Пыжов В.К.*... 177
- Бояркина Е.А., Костерина Е.А., Сорокина А.С., Лапатеев Д.А.* Энергоэффективность энергосбережения в светопрозрачных конструкциях с теплоотражающими экранами.; *рук. Захаров В.М., Смирнов Н.Н.*..... 179
- Смирнов Н.Н., Лапатеев Д.А.* Моделирование процесса теплопередачи через окна с теплоотражающими экранами; *рук. Захаров В.М.,*..... 181

<i>Костерина Е.А.</i> . Применение детандер-генераторных агрегатов (ДГА) на ТЭЦ; <i>рук. Субботин В.И.</i>	182
<i>Румянцев Е.С., Лапатеев Д.А.</i> Использование прерывистого режима отопления с предварительной осушкой внутреннего воздуха и окон с регулирующим сопротивлением теплопередачи для повышения энергоэффективности систем теплоснабжения зданий.; <i>рук. Захаров В.М., Смирнов Н.Н.</i>	184

Секция 7. Паровые и газовые турбины

<i>Другов Д.А., Ямалудинов А.А.</i> Анализ надежности работы турбин серии ПТ-135 ЗАО «Уральский турбинный завод»; <i>рук. Рябчиков А.Ю.</i>	187
<i>Ковшик И.А.</i> М Методы восстановления лопаток паровых турбин; <i>рук. Карницкий Н.Б.</i>	189
<i>Низманов И.С., Гайнетдинов А.В.</i> Перспектива использования генераторного газа, полученного при газификации вуг при производстве энергии; <i>рук. Мингалева Г.Р.</i>	191
<i>Водениктов А.Д., Сухов А.В.</i> Разработка и исследование устройств подготовки потока для трубопроводных сетей; <i>рук. Григорьев Е.Ю., Зарянкин А.Е.</i>	192
<i>Шлёнкин Р.Ю.</i> Разработка решений для стабилизации течений в шибберных задвижках; <i>рук. Григорьев Е.Ю.</i>	193
<i>Аверин А.И.</i> Разработка и исследование способов снижения потерь в турбинных решетках; <i>рук. Григорьев Е.Ю., Зарянкин А.Е.</i>	194
<i>Сбитнев А.А.</i> Исследование энергоустановок с глубоким охлаждением дымовых газов; <i>рук. Яблоков Л.Д.</i>	195

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЁНЫХ «ЭНЕРГИЯ – 2016»

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ ТОМ 1

Печатается в авторской редакции

Подписано в печать . Формат 60x84 1/16.

Печать офсетная. Усл. печ. л.

Тираж 70 экз. Заказ №

ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический
университет им. В.И. Ленина»

153003, Иваново, ул. Рабфаковская, 34.

Отпечатано в УИУНЛ ИГЭУ.