



ИВАНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

ЭНЕРГИЯ-2019

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

2-4 апреля 2019 г.
г. Иваново

ТОМ 1

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Ивановский государственный энергетический
университет имени В.И. Ленина»

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

«ЭНЕРГИЯ-2019»

**ЧЕТЫРНАДЦАТАЯ
МЕЖДУНАРОДНАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ
И МОЛОДЫХ УЧЁНЫХ**

г. Иваново, 2-4 апреля 2019 года

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

ТОМ 1

ИВАНОВО

ИГЭУ

2019

УДК 620 + 621 + 628

ББК 31

Т 34

Теплоэнергетика. “Энергия-2019”. Четырнадцатая международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых, г. Иваново, 02-04 апреля 2019 г.: материалы конференции: В 6 т. Т. 1 / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина». – Иваново: ИГЭУ, 2019. – 142 с.

ISBN 978-5-00062-418-0

ISBN 978-5-00062-418-1 (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: начальник управления НИРС и ТМ, к.т.н., доц. **А.В. МАКАРОВ.**

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, к.т.н., доц. **А.В. БАННИКОВ;** зав. кафедрой Автоматизации технологических процессов, д.т.н., проф. **В.В. ТЮТИКОВ;** зав. кафедрой Теоретических основ теплотехники, д.т.н., доц. **Е.Н. БУШУЕВ;** зав. кафедрой Паровых и газовых турбин, к.т.н., доц. **А.Л. ВИНОГРАДОВ;** заместитель декана ТЭФ по научной работе **Н.Н. СМИРНОВ;** техник **Г.И. ПАРФЕНОВ.**

СЕКЦИЯ 1

ТЕПЛОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

Председатель –
д.т.н., профессор **Барочкин Е.В.**

Секретарь –
к.т.н., доцент **Барочкин А.Е.**

*А.Е. Богданова, студ.; рук. Д.В. Чугунков, к.т.н., доц.
(НИУ «МЭИ», г. Москва)*

АНАЛИЗ АБРАЗИВНОГО ИЗНОСА ТРУБОПРОВОДОВ СИСТЕМЫ ГЗУ ТЭС, РАБОТАЮЩЕЙ НА РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ УГЛЯ

Абразивный износ труб пульпопроводов является одним из главных проблем надежности эксплуатации в системе гидрозолоудаления. Возникает необходимость вынужденных простоев, вызванных свищами в трубопроводах, в результате чего могут возникнуть существенные финансовые потери от экологических штрафов из-за несанкционированного сброса пульпы на грунт [1].

Настоящая работа, проводимая в рамках выполнения НИОКР при участии автора, посвящена проведению работ по исследованию состава золошлаковой пульпы на Хабаровской ТЭЦ-3 (ХТЭЦ-3).

В разное время на ХТЭЦ-3 сжигались разные виды и марки углей (рис.1) с разными химическими свойствами, фракционным составом и крупностью, вследствие чего абразивный износ является результатом транспортирования различных видов золы с разными абразивными свойствами.

Проведенные расчёты удельного абразивного износа пульпопроводов при транспортировании золошлаковой пульпы, содержащей золы нерюнгринских, кузнецких и ургальских углей при скоростях транспортирования 1,2; 1,5 и 1,8 м/с с массовой концентрации пульпы до 10% показали, что наиболее интенсивный абразивный износ возникает при гидротранспорте золы нерюнгринского угля, в этом случае износ пульпопроводов составляет до 2,25 мм/год. В связи с этим пульпопроводы ХТЭЦ-3, для которой основным топливом является нерюнгринский уголь, подвергаются интенсивному абразивному износу, что обуславливает для трубопроводов ГЗУ ХТЭЦ-3 необходимость применения инновационных мероприятий по защите от абразивного износа.

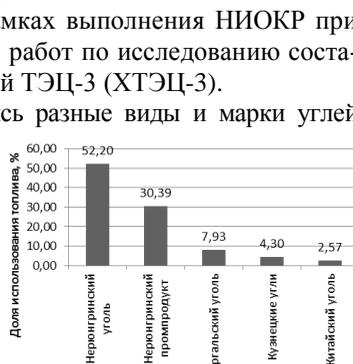


Рисунок 1 - Расход топлива на ХТЭЦ-3

Библиографический список

1. Путилов В.Я.; Путилова И.В. Зависимость абразивного износа пылепроводов пневмотранспортных установок ТЭС от химико-минералогического состава транспортируемых материалов // Энергосбережение и водоподготовка. – 2007. - №2. С. 40-42

*В.В. Голубовский, студ.; Б.А. Соколов, к.т.н, проф.
(НИУ «МЭИ», г. Москва)*

АНАЛИЗ ОПЫТА РАБОТЫ С ДЕТАНДЕР-ГЕНЕРАТОРНЫМИ АГРЕГАТАМИ

Одним из наиболее перспективных направлений в области энерго-сбережения при транспорте природного газа является использование энергии избыточного давления на узлах его редуцирования и потребления. [1]

По опыту эксплуатации ДГА-5000 в филиале ПАО «Мосэнерго» ТЭЦ-21,23 основными проблемами являются [2]:

- снижение работоспособности энергетического оборудования из-за наличия отрицательных температур природного газа после ДГА;
- необходимость подключения 2-ого теплообменника для подогрева природного газа после ДГА;
- неплотность теплообменников для нагрева природного газа, отапливаемого сетевой водой;
- незначительная выработка электроэнергии в сравнении с общей генерации ТЭЦ.

Для решения указанных проблем в работе рассматриваются следующие схемы подогрева газа за счет:

1. отборов турбин;
2. теплоты отходящих газов котлоагрегатов;
3. низкпотенциальной теплоты циркуляционной воды;
4. без подогрева природного газа.

Анализ представлен для ДГА-5000, установленного на ТЭЦ-23 при неизменных исходных параметрах, исходя из эксплуатируемого оборудования на ТЭЦ.

Выполненный анализ показал, что самой эффективной, с точки зрения удельной экономии топлива, оказалась схема с подогревом природного газа за счет теплоты отходящих газов. В работе также производится выбор оптимальной схемы, расчет энергоэффективности и экономической составляющих проекта.

Библиографический список

1. **Агабабов В.С., Корягин А.В.** Детандер-генераторные агрегаты на тепловых электрических станциях: учебное пособие – М.: Издательский дом МЭИ, 2005. – 48 с.
2. **Агабабов, В.С.** Опыт эксплуатации детандер-генераторного агрегата на ТЭЦ-21 ОАО Мосэнерго /В.С. Агабабов, Ю.Л. Гуськов, Ю.А. Давыдов, А.В. Корягин и др. // Электрические станции. – 2003. - №10. С.15-17.

*С.Б. Есин, асп.; рук. Н.Н. Трифионов, к.т.н.
(ОАО «НПО ЦКТИ», г. Санкт-Петербург)*

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ БЕЗДЕАЭРАТОРНОЙ СХЕМЫ ЭНЕРГОБЛОКА СКД В РАСШИРЕННОМ РЕГУЛИРОВОЧНОМ ДИАПАЗОНЕ НАГРУЗОК

В 70–80-х годах большая часть отечественных энергоблоков ТЭС работала в базовом режиме, регулирование нагрузки осуществлялось конденсационными энергоблоками мощностью до 200 МВт с начальным давлением пара 12,8 МПа. Изменение конъюнктуры энергопотребления в последние десятилетия привело к необходимости использовать энергоблоки мощностью 300 МВт и выше, рассчитанные на сверх критическое давление (СКД) пара 23,5 МПа, в том числе с бездеаэрационной схемой (БТС), для регулирования нагрузки энергосистемы (с возможностью снижения нагрузки энергоблоков вплоть до технически возможного минимума). При этом с одной стороны необходимо обеспечить экономичность выработки электроэнергии, а с другой – надежность работы оборудования электростанции.

В докладе представлены схемные решения позволяющие повысить надежность и эффективность работы системы регенерации в бездеаэрационной схеме (БТС) энергоблока СКД в расширенном регулировочном диапазоне нагрузок.

Разработан регламент работы в расширенном регулировочном диапазоне нагрузок и требования к оборудованию системы отвода КГП от группы ПВД в смеситель для энергоблока СКД с БТС, обеспечивающие надежность и работоспособность данного узла.

На основе результатов промышленных испытаний представлены уточненные кавитационные характеристики ПТН (ПН-1135-340-4) и ПЭН (ПЭ-600-300-2) позволяющие повысить достоверность расчетных исследований работы энергоблоков СКД с БТС (с аналогичным составом насосной группы) в расширенном регулировочном диапазоне нагрузок и обосновать проекты модернизации системы регенерации аналогичных энергоблоков.

Доказана целесообразность внедрения упрощенной системы регенерации энергоблока СКД с БТС, позволяющая сохранить отвод КГП от группы ПВД в смеситель в расширенном диапазоне нагрузок $[(0,3-1)N_{ном}]$, что повышает надежность и экономичность работы энергоблока.

И.Б. Лазарев, асп.; рук. Т.В. Богомолова, д.т.н., проф.
(НИУ «МЭИ», г. Москва)

РАСЧЕТ ОСЕВОГО ДИФФУЗОРА ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ С ВИНТОВЫМ ОРЕБРЕНИЕМ НА ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ДИФФУЗОРА

В продолжение исследований [1] для разработки укороченной конструкции диффузора проведены расчеты в пакете *ANSYS Fluent* (сетка с количеством ячеек 750000, модель турбулентности *SST*). Рабочее тело -водяной пар, шероховатость стенки диффузора задана $k_{\text{сталь}} = 0,046$ мм, то есть стандартная для стальных труб без дополнительной обработки.

Размеры диффузора составляют: $d_1 = 4.2$ м, диаметр втулки $d_{\text{вт}} = 1.8$ м = *const*, длина $L = 5,6$ м против 7 м [1], угол раскрытия - 15° против 12° . Граничные условия на входе в диффузор заданы в подпрограмме *FluidFlow* и имитировали параметры потока на выходе из последней ступени: скорость $c_2 = 250$ м/с; окружная составляющая скорости $c_{2u} = 40$ м/с; условие $c_{u,r} = \text{const}$. Для стабилизации течения и устранения вихреобразования в канале диффузора использованы следующие технические средства:

1. применены закрученные по часовой стрелке канавки на внутренней стенке диффузора;
2. применены закрученные против часовой стрелке канавки на внутренней стенке диффузора.

Результаты расчетов показали, что применение спиральной конфигурации канавок позволило уменьшить длину диффузора, сохранив

безотрывное течение в канале диффузора. Не смотря на то, что диффузор со спиральной навивкой имеет коэффициент восстановления давления $\xi_{\text{вос.}} = 0,277$, что меньше чем в [1], где $\xi_{\text{вос.}} = 0,286$, уменьшение габаритов паротурбинной установки приносит экономический выигрыш, так как уменьшается длина машинного зала и снижаются затраты на строительство.

Библиографический список

1. Богомолова Т.В., Лазарев И.Б. Расчет диффузора паровой турбины с массообменом. Энергия-2018. Тринадцатая международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых. Материалы конференции. Иваново: 2018. С. 144.

*В.С. Маренко, студ.; О.В. Боруш, к.т.н., доц.
(НГТУ, г. Новосибирск)*

ОСОБЕННОСТИ ГАЗОВОЙ ТУРБИНЫ ПЕРВОГО ЭНЕРГОБЛОКА НЯГАНЬСКОЙ ПГУ

Объектом анализа является газовая турбина SGT5-4000F фирмы "Siemens" входящая в состав первого энергоблока ПГУ в городе Нягань. Газовая турбина SGT5-4000F с кольцевой камерой сгорания, работает на природном газе в составе одновальной силовой установки. Заводской номер турбины - 80076, год выпуска - 2010, частота вращения - 50 об/сек. Выбор турбины SGT5-4000F обусловлен высокой производительностью, низкой стоимостью производства электроэнергии, длительностью интервалов между основными техническими осмотрами и простотой обслуживания. Оптимизация потоков и охлаждения дополнительно повышает КПД газовой турбины и обеспечивает наиболее экономичное производство электроэнергии в комбинированном цикле. Современная технология турбины основана на проверенных конструкционных характеристиках. Камера сгорания кольцевого типа соединена с внешним корпусом, который является общим с турбиной. Конструкция газовой турбины обеспечивает высокую однородность температуры выхлопных газов по всей площади сечения выходного диффузора благодаря установке 24 гибридных горелок в кольцевой камере сгорания. Гибридные горелки камеры сжигания подавляют термическое образование NO_x при сжигании газа без введения пара или воды.

Газотурбинная установка с газовой турбиной SGT5-4000F, состоящая из турбины и генератора SGT5-PAC 4000F, обеспечивает экономичное производство электроэнергии в диапазоне до 307 МВт. Газовые турбины Siemens имеют стандартную конструкцию, допускающую добавку различных дополнительных элементов в соответствии с конкретными условиями на площадке и требованиями заказчика, и являются идеальным решением для успешного выполнения проекта. Этот подход позволяет снизить затраты и обеспечивает гибкость в соответствии с индивидуальными потребностями.[1]

Таким образом, перечисленные особенности обеспечивают низкие затраты на всё протяжении срока службы и многолетнюю надёжную эксплуатацию при очень высоком КПД турбины равным 58,4%,

Библиографический список

1. Няганьская ПГУ(Fortum) - ТЭС [Электронный ресурс] // Реализация проектов энергетического и промышленного строительства. URL:<http://www.fortum.ru>

*А.Д. Скурихина, студ.; рук. Д.В. Чугунков, к.т.н., доц.
(НИУ «МЭИ», г. Москва)*

ФОРМИРОВАНИЕ СОСТАВА ЗАЩИТНЫХ ПРОТИВОКОРРОЗИОННЫХ ПОКРЫТИЙ

В процессе эксплуатации теплообменного оборудования, трубки подогревателей сетевой воды подвергаются воздействию различных веществ, находящихся в охлаждающей воде, что приводит к появлению коррозии, абразивному истиранию и разрушению трубок.

Одним из решений проблемы разрушения поверхностей нагрева теплообменного оборудования является восстановление трубок путём нанесения специальных защитных материалов.

В настоящей работе представлен состав разработанного полимерного теплопроводного материала, который был использован для защиты и восстановления внутренней поверхности трубок подогревателя сетевой воды ПСГ-5000 Хабаровской ТЭЦ-3. Работа по формированию состава материала и нанесению защитного покрытия проводилась при участии авторов в рамках НИОКР.

Поставленная задача решается тем, что предложенная композиция (рис.1) включает модифицированный эпоксидный компаунд, целевые наполнители, терморегулирующий агент и ингибиторную добавку.

Покрытие наносится на поверхность теплообменных трубок в виде одного или нескольких слоев толщиной от 30 до 100 мкм. Теплопроводность разработанного покрытия составляет 0,91-0,93 Вт/мК [1], а расчетный срок службы по ГОСТ 9.083-78 составляет 20 лет.

После нанесения на поверхность теплообменных трубок слоя или нескольких слоев покрытия и их последующей сушки, образуется теплостойкое покрытие, прочно связанное с основой и обладающее высокими эксплуатационными характеристиками.



Рисунок 1 - Теплообменная трубка с нанесенным защитным покрытием

Библиографический список

1. **Chugunkov D.V.** Protectivematerials thermal conductivity for heat exchanger tubes of a networking heater/D.V. Chugunkov, Ya.A. Kuzma-Kichta, G.A. Seyfelmlyukova, A.V. Lavrikov, A.D. Skurikhina//Journal of Physics: Conf. Series 1128. – 2018.

*Д.А. Титов, асп.; рук. К.А. Григорьев, д.т.н., доц.
(ОАО «НПО ЦКТИ», г. Санкт-Петербург)*

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ДИНАМИЧЕСКОГО СЕПАРАТОРА НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В последние годы возникла потребность в разработке отечественных конструкций динамических сепараторов для систем пылеприготовления ТЭС. Использование этих сепараторов позволяет снизить затраты энергии на подготовку топлива.

В качестве объекта исследования выбран динамический сепаратор к среднеходной мельнице с расчётной производительностью по каменному углю 10,9 кг/с.

Конструкция сепаратора состоит из корпуса и внутреннего конуса, между которыми установлен направляющий аппарат из лопаток (по аналогии с сепаратором центробежного типа, однако закреплёнными стационарно). Внутри направляющего аппарата располагается динамическая корзина ротора. Вертикальные оси вала ротора и течи сырого топлива совпадают (конструкция «труба в трубе»). Рассматривалось два варианта исполнения ротора – с конической и цилиндрической корзинами.

Исследования проводились путём численного моделирования в среде ANSYSFLUENT. Валидация расчётных моделей выполнена по экспериментальным данным ОАО «ВТИ», полученным при испытании среднеходной мельницы МВС-195 с динамическим сепаратором (с близкими к расчётным моделям габаритами) на Черепетской ГРЭС, которая показала удовлетворительное согласование расчёта с опытом.

Расчётами установлено влияние формы корзины ротора, количества и конструктивного исполнения лопаток направляющего аппарата и динамической корзины, а также режима работы (частоты вращения ротора и расхода вентилирующего агента) на эффективность процесса разделения различных классов частиц в сепараторе.

По результатам исследований на основе теории подобия предложена в первом приближении инженерная методика выбора основных конструктивных размеров динамического сепаратора для пылесистем ТЭС, которая будет уточняться по мере накопления базы расчётных и экспериментальных данных и её тестирования на других типоразмерах сепараторов. Результаты работы приняты для внедрения в проекты перспективных конструкций динамических сепараторов в ОАО «НПО ЦКТИ» и АО «ТЯЖМАШ» (г. Сызрань).

*Д.Е. Толстопятов, студ.; рук. М.В. Трохимчук, к.т.н доц.,
(Филиал НИУ «МЭИ» в г. Волжском)*

ОСОБЕННОСТИ МЕТОДИКИ РАСЧЁТА ТЕПЛОВЫХ СХЕМ ПРОЕКТИРУЕМЫХ МИКРОТЭС

Внедрение объектов малой децентрализованной энергетики в систему потребления повышает надежность и устойчивость энергоснабжения предприятий малого и среднего бизнеса, а так же позволяет увеличить её экономические показатели.

Авторами был произведен обзор существующих методик расчета принципиальных тепловых схем [1] микро-ТЭС и предложена оптимальная методика для расчёта микроэнергокомплекса и систем автономного децентрализованного распределения и потребления тепла и электроэнергии.

Исходя из проанализированных результатов, а так же основываясь на заданные параметры потребления тепла и электроэнергии показатели энергетической эффективности была выбрана методика расчёта микроэнергокомплекса основанная на методе последовательных приближений и оценке расхода пара на турбину с последующим его уточнением или нахождением с помощью диаграммы режимов.

В настоящее время всё больше возрастает роль объектов малой энергетики и децентрализованных систем энергоснабжения, которые могут быть внедрены во многие отрасли и в отдельные технологии. Кроме того использование объектов микроэнергокомплексов имеет большую перспективу для энергоснабжения удаленных и труднодоступных потребителей, а так же для резервирования линии электропередач и восполнения дефицита электроэнергии.

Результаты проделанной работы могут быть использованы при конструировании и проектировании микро-ТЭС и подборе оборудования для её наиболее эффективной работы.

Библиографический список

1 .Рыжкин В.Я. Тепловые электрические станции: Учебник для теплоэнерг. спец. вузов. — М.-Л.: Энергия, 1967. — 400 с.

*А.А. Абрамов, В.С. Халявин, студенты;
рук. Б.Л. Шельгин, к.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОЦЕНКА ОТНОСИТЕЛЬНОГО РАСХОДА ОКИСЛИТЕЛЯ ДЛЯ РАБОТЫ КОТЛА-УТИЛИЗАТОРА «П-102» ПРИ МИНИМАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МОЩНОСТИ «ГТЭ-6П»

Исследование выполнялось применительно к котлу-утилизатору (КУ) «П-102», установленному в ПАО «Т Плюс» (г. Иваново).

С повышением коэффициента избытка воздуха за ГТЭ-6П $\alpha''_{\text{ГТУ}}$ возрастают энергозатраты ГТУ на выработку электрической энергии $+\Delta Q_{\text{ГТУ}}$, на основании расчётов они компенсируются снижением затрат на отпуск тепловой энергии потребителю - $Q_{\text{теп}}$. При электрической мощности $N_3=5\text{МВт}$ и температурах наружного воздуха $t_n=-30\pm 30\text{ }^\circ\text{C}$ сумма данных изменений составляет лишь $13\div 16\text{ ккал/с}$.

Для значений $\alpha''_{\text{ГТУ}}=3,91\div 3,97$ их отклонение от средней величины при $N_3=5\text{МВт}$ не превышает $0,7\%$. В качестве константы для указанного диапазона температур t_n принята средняя величина $\alpha''_{\text{ГТУ}} = \alpha_{5,0} = 3,94$.

Согласно топливной характеристике расход топлива в зависимости от значений $N_3=4\div 5\text{ МВт}$ изменяется в степени $1,03\div 1,04$. С учётом изменения динамического напора воздуха внутри горелочного устройства КУ коэффициент избытка воздуха $\alpha''_{\text{ГТУ}}$ пропорционален снижению электрической мощности ГТЭ-6П в степени $2,07$.

Установлено, что, независимо от значений t_n , при пониженной мощности ГТЭ-6П N_3 менее $5,0\text{ МВт}$ повышение коэффициента избытка воздуха за ГТЭ-6П по сравнению с $\alpha_{5,0}=3,94$ определяется по формуле:

$$\Delta\alpha''_{\text{ГТУ}} = 1,58(5-N_3)^{2,07}.$$

В условиях утилизационного режима работы ГТЭ-6П коэффициент избытка воздуха за ней: $\alpha''_{\text{ГТУ}} = \alpha_{5,0} + \Delta\alpha''_{\text{ГТУ}}$. Относительное расхождение исходных и расчётных значений $\alpha''_{\text{ГТУ}}$ для приведённых диапазонов изменения N_3 и t_n не превысит 3% .

Представленный материал будет применяться для учебного процесса подготовки студентов теплоэнергетического направления.

*А.А. Абрамов, студ.; рук. Б.Л. Шельгин, к.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЁТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОТЛА-УТИЛИЗАТОРА «П-102» ПРИ ПОНИЖЕННЫХ НАГРУЗКАХ «ГТЭ-6П»

Перспективным направлением технического перевооружения отечественных ТЭЦ является внедрение парогазовых установок (ПГУ). В ПАО «Т Плюс» г. Иваново внедрена энергоустановка для выработки электрической и тепловой (пар низкого давления 0,6÷0,8 МПа, сетевая вода) энергий, включающая:

- газотурбинную установку (ГТУ) марки ГТЭ-6П;
- котёл-утилизатор (КУ) марки П-102.

Применительно к проектному режиму электрическая мощность ГТЭ-6П составляет 6,0 МВт, согласно которой сконструирован КУ на паропроизводительность 50 т/ч. Исследование проводилось при пониженной мощности ГТЭ-6П, составляющей 4÷5 МВт.

Выполнен анализ возможностей КУ при пониженных электрических нагрузках ГТЭ-6П и температурах наружного воздуха $t_{н} = -30 \div 30^{\circ}\text{C}$ в режимах работы топочной камеры:

- утилизация теплоты уходящих из ГТУ газов;
- утилизация теплоты уходящих из ГТУ газов при сжигании в топке КУ «П-102» дополнительного топлива для достижения номинальной паропроизводительности $D_{п} = 50$ т/ч

Задача решалась с помощью модели расчёта КУ «П-102» при температурах наружного воздуха $t_{н} = -30 \div 30^{\circ}\text{C}$. Коэффициент избытка воздуха за ГТУ находился в пределах $\alpha''_{кв} = 3,91 \div 3,97$.

При работе в утилизационном режиме значения КПД ГТЭ-6П $\eta_{ГТУ}$ изменялось в пределах 0,227÷0,242, а расход топлива в КС возрастал в диапазоне 1776÷2082 $\text{нм}^3/\text{ч}$. Применительно ко второму режиму значение $V_{\text{доп}}$ уменьшается от 2771 до 2585 $\text{нм}^3/\text{ч}$.

Представленные результаты исследования подготовлены для внедрения в учебный процесс при обучении будущих теплоэнергетиков страны. Они используются при разработке программного продукта для выполнения лабораторных работ.

Ю.Е. Барочкин, асп.; рук. Г.В. Ледуховский, д.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЕАЭРАЦИИ ВОДЫ ЗА СЧЕТ НАЧАЛЬНОГО ЭФФЕКТА

Под начальным эффектом деаэрации понимается процесс удаления растворенных газов при вскипании попадающей в зону разрежения воды, температура которой больше температуры насыщения при соответствующем давлении. Начальный эффект деаэрации является сопутствующим в расширителях горячих конденсатов, первых ступенях вакуумных деаэраторов, конденсаторах турбин и других элементах теплоэнергетического оборудования. На начальном эффекте основан также принцип действия деаэраторов некоторых типов, например центробежно-вихревых (ДЦВ) и кавитационно-струйных (ДКС) деаэраторов.

Целью исследования является разработка математической модели деаэрации воды за счет начального эффекта на основе термодинамического подхода и анализа экспериментальных данных.

Исходя из теоретических соображений о механизме рассматриваемого процесса, получена исходная математическая модель:

$$\zeta = 1 - C/C_0 = 1 - 1 + Ar / Ku^{-1}; Ar = \rho_{ж}/\rho_{п} - 1; Ku = r / c_p \Delta t ,$$

где ζ – эффект деаэрации, ед.; C и C_0 – массовые концентрации растворенного в воде кислорода соответственно на выходе и входе деаэрационного элемента, мг/дм³; Ar и Ku – критерии Архимеда и Кутателадзе; $\rho_{ж}$ и $\rho_{п}$ – плотности соответственно воды и сухого насыщенного пара, кг/м³; r – удельная теплота парообразования, кДж/кг; c_p – удельная теплоемкость воды, кДж/(кг·град.).

Выявлено, что рассмотренная модель дает завышенную оценку эффекта деаэрации. Для повышения точности модель модифицирована путем введения дополнительного множителя b к отношению (Ar/Ku) . Методом множественной линейной регрессии получено выражение для расчета введенного множителя: $b = 0,37 - 0,18g + 0,0070\Delta t_{вх}$, где $\Delta t_{вх}$ – начальный перегрев воды относительно температуры насыщения, °С; g – относительная (по отношению к номинальной) гидравлическая нагрузка деаэрационного устройства, ед.

Среднеквадратическое отклонение результатов расчета по модифицированной модели от экспериментальных данных по деаэраторам ДЦВ, ДКС и капельным деаэрационным устройствам составило 11,6 %, что позволяет рекомендовать полученную модель для проведения практических расчетов.

*К.Н. Бубнов, студ.; рук. Г.Г. Орлов, к.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ СЕТЕВОЙ ВОДЫ ПАРОВИНТОВОЙ МАШИНОЙ

Системы централизованного теплоснабжения (СЦТ) современных городов в большинстве случаев представлена в виде ТЭЦ. В СЦТ регулирование температуры отпускаемой горячей воды осуществляется качественно, по нагрузке отопления, путем изменения температуры сетевой воды в прямой магистрали в зависимости от температуры наружного воздуха. Однако используемый температурный график для СЦТ не учитывает колебания потребления тепловой энергии в течение суток или недели, а также нестационарность тепловых процессов.

Таким образом, в виду выше сказанного, считается целесообразным для ТЭЦ, работающих с теплофикационной установкой турбины ПТ-60-130/13 ЛМЗ, использовать следующую систему регулирования температуры сетевой воды (СРТСВ) (Рис.1.). Данная СРТСВ представлена двумя следующими подсистемами: «А» - регулирование байпасом ВСП; «В» - регулирование ПВМ. Подсистема «В» помимо регулирования осуществляет выработку дополнительного количества электроэнергии за счет ПВМ. Данный подсистемы могут осуществлять регулирование как по отдельности, так и совместно.

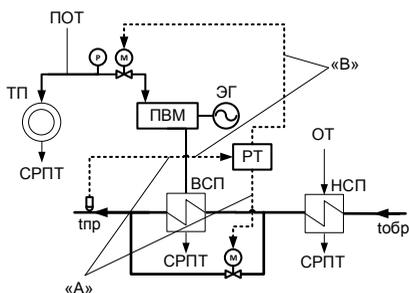


Рисунок 1 - Принципиальная схема регулирования температуры сетевой воды: ВСП и НСП – верхний и нижний сетевой подогреватель; ОТ – отбор турбины; ПВМ – паровинтовая машина; ПОТ – промышленный отбор турбины; РТ – регулятор температуры; СРПТ – система регенеративного подогрева турбины; ЭГ – генератор.

Библиографический список

1. Плетнев, Г.П. Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике: учебник для студентов вузов / Г.П. Плетнев. - 5-е изд., стереот. - М.: Издательский дом МЭИ, 2009. - 352 с., ил.

*В.Н. Калистратов, студ.; рук. Г.Г. Орлов, к.т.н., проф.
(ИГЭУ, Иваново)*

ПОВЫШЕНИЕ ЭКОНОМИЧНОСТИ ТЭС С ПАРОВОЙ ПОДСУШКОЙ БУРЫХ УГЛЕЙ

По добыче угля (370 млн. т/год) Россия занимает пятое место в мире. Доля угля в топливно-энергетическом балансе страны равна 27 %, а к 2030 году, согласно стратегических планов, она составит 32÷38 %.

С целью повышения экономичности ТЭС, сжигающих низкосортные бурые угли с влажностью $W^p = 30 \div 39 \%$ и теплотворной способностью $Q_n^p = 11,7 \div 13$ МДж/кг, осуществляют подсушку такого топлива в паровых сушилках перед его сжиганием [1], при этом W^p снижается до 12÷14%, а Q_n^p повышается до 20÷22 МДж/кг, что позволяет улучшить сыпучесть угля, облегчить его хранение и транспорт, а котельный агрегат выполнить более компактным. Температура пара, отбираемого к паровым сушилкам из отбора турбины, не должна превышать 170 °С, поэтому этот пар обычно охлаждают впрыском воды [1].

Нами предлагается реализовать более рациональную схему охлаждения пара для сушилок, пропуская пар через вынесенный пароохладитель (ПО) системы регенерации турбины. В предлагаемом ПО сьем теплоты перегрева пара осуществляется за счет нагрева части потока питательной воды, забираемой после питательного насоса. Отбираемый наПО поток воды не будет проходить через подогреватели высокого давления (ПВД), что позволяет получить прирост мощности.

Эффективность установки ПО была оценена по методу коэффициентов изменения мощности [2]. Экономия топлива на блок с турбиной К-500-240 составила $\Delta B_1 = 7567,8$ т у.т./г, но при этом возросла температура питательной воды на входе в котел на $\Delta t_{нв} = 6,6$ °С, что приводит к увеличению потерь тепла с уходящими газами, а как следствие к снижению КПД котла и пережогу топлива на ТЭС в количестве $\Delta B_2 = 823,7$ т у.т./г. Действительная экономия топлива от установки ПО для пара, отбираемого на сушку топлива и в схему регенерации турбоустановки, составила $\Delta B = \Delta B_1 - \Delta B_2 = 6744,1$ т у.т./г.

Библиографический список

1. Михайлов Н.М. «Вопросы сушки топлива на электростанциях» / Н.М. Михайлов. – М. – Л.: Госэнергоиздат. 1957. – 152 с.
2. Рубинштейн Я.М. «Исследование реальных тепловых схем ТЭС и АЭС» / Я.М. Рубинштейн, М.И. Щепетильников. – М.: Энергоиздат. 1982. – 272 с.

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

СРАВНЕНИЕ ВЕЛИЧИН ПОТРЕБЛЕНИЯ ТЕПЛА В ЖИЛЫХ ДОМАХ ДО И ПОСЛЕ УСТАНОВКИ ПРИБОРОВ УЧЁТА ТЕПЛА

Анализ потребления тепла производился для жилых домов, расположенных в г.о. Сызрань, на основании данных учета, предоставленных теплоснабжающей организации МУП «ЖЭС».

По группам домов был проведен расчет средней удельной базовой тепловой характеристики на отопление. Так как СП 50-13330-2012 «Тепловая защита зданий» нормирует потребление тепловой энергии на отопление в зависимости от объема здания, был выполнен пересчет базовой тепловой характеристики на площадь здания, учитывая фактические характеристики жилых домов в г. Сызрань: типовой проект здания, этажность, высота потолков и перекрытий, наличие подвального помещения и т. д.

Таблица 1 – Результаты анализа потребления тепловой энергии по приборам учета и сравнения их с потреблением тепловой энергии, рассчитанным по договорным тепловым нагрузкам

№ п/п	Характеристика	Группы домов		
		5-6 этажей	9-10 этажей	3-4 этажа
1	Средняя базовая удельная тепловая характеристика на отопление, ккал/ч·м ²	54,8	47,9	60,8
2	Средняя фактическая удельная тепловая характеристика на отопление, ккал/ч·м ²	52,6	46,4	45,3
3	Среднее отклонение фактической тепловой нагрузки на отопление от базовой, %	-4,1	-3,4	-25,5
4	Среднее снижение фактического потребления тепловой энергии на отопление после установки приборов учета в сравнении с договорной величиной, %	+11,6	+22,5	+27,4
5	Среднее снижение фактического потребления тепловой энергии на ГВС после установки приборов учета в сравнении с договорной величиной, %	+37,2	+15,0	+56,1

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

ВЛИЯНИЕ КАПИТАЛЬНЫХ РЕМОНТОВ ЖИЛЫХ ДОМОВ НА СНИЖЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ НАГРУЗОК

Анализ влияния капитальных ремонтов на тепловые нагрузки зданий производился на основании утвержденного Фондом содействия реформированию ЖКХ 3 февраля 2017 года протокола №730 «Перечень мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности, выполняемых в ходе оказания и (или) выполнения услуг и (или) работ по капитальному ремонту общего имущества в многоквартирных домах». На основании данного документа сформирован минимальный пакет основных энергоэффективных технических мероприятий по принципу минимизации капитальных вложений. В перечень включены доступные и дающие максимальный эффект мероприятия, которые адаптированы к применению на различных типах многоквартирных домов: утепление и ремонт фасада, ремонт крыши, ремонт внутридомовых инженерных систем отопления и водоснабжения, установка узлов управления и регулирования потребления ресурсов. Для этих мероприятий рассчитаны их основные характеристики:

1) муниципальная эффективность, отражающая влияние результатов энергосберегающего мероприятия на доходы и расходы бюджета: сокращение инвестиций городского бюджета в тепловые и электрические сети, их пропускную способность, в строительство новых тепло- и электрогенерирующих мощностей и связанные этим издержки;

2) потребительская эффективность, отражающая влияние результатов энергосберегающего мероприятия на доходы и расходы населения: экономия энергии и снижение затрат на приобретение энергоресурсов, эксплуатацию оборудования и пр.

Таблица 1 – Суммарный эффект мероприятий «Ремонт фасада» и «Ремонт крыши»

№ п/п	Характеристика мероприятия	До 4 эт.	5-8 эт.	9-12 эт.	13-16 эт.
1	Снижение вида нагрузки или мощности (муниципальная эффективность), %	31,37	31,78	32,3	32,79
2	Снижение затрат на покрытие вида нагрузки (потребительская эффективность), %	53,95	54,63	55,49	56,32

Результаты расчётов показывают, что при одновременном проведении рассматриваемого минимального пакета энергосберегающих мероприятий в рамках программы капитального ремонта можно достигнуть снижения удельной тепловой нагрузки до 31 – 33 %.

*Р.М. Колмаков, студ.; рук. Б.Л. Шельгин, к.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ КОЭФФИЦИЕНТА ИЗБЫТКА ВОЗДУХА В ГАЗАХ ПЕРЕД КОТЛОМ-УТИЛИЗАТОРОМ «П-88» ПРИ ПОНИЖЕННЫХ НАГРУЗКАХ ПГУ-325

Применительно к ПГУ-325, электрическая энергия вырабатывается газотурбинной установкой (ГТУ) ГТЭ-110 и паровой (ПТ) турбиной К-110-6,5. Последняя потребляет пар от котла-утилизатора (КУ) «П-88». КУ и ПТ-пассивные элементы ПГУ. Условия и особенности их работы определяются режимом эксплуатации ГТУ.

Понижение электрической мощности газотурбинной установки «ГТЭ-110» осуществляется снижением в ее камеру сгорания (КС) расходов топлива и воздуха при изменении положения лопаток входного направляющего аппарата (ВНА) осевого компрессора.

Для значений близких к номинальным $N_3=88 \div 110$ МВт, за счет регулирования ВНА в зависимости от температуры наружного воздуха t_n , оптимальное значение коэффициента избытка воздуха за ГТУ $\alpha''_{ГТУ}$ при $N_3=88$ МВт поддерживается согласно зависимости:

$$\alpha_{88}'' = 2,69 + 0,0023 (t_n + 30)^{1,2}.$$

На основании топливной характеристики энергоблока при влиянии на $\alpha''_{ГТУ}$ расход топлива в степени $1,02 \div 1,04$ с учетом изменения динамического напора воздуха внутри горелки приращение коэффициента избытка воздуха $\Delta \alpha''_{ГТУ}$ пропорционально снижению электрической мощности ГТУ в степени 2,06.

В случае снижения величины N_3 от 88 до 55 МВт и расхода топлива в КС ГТУ при предельном закрытии ВНА, коэффициент $\alpha''_{ГТУ}$ возрастает согласно зависимости:

$$\alpha''_{ГТУ} = \alpha_{88}'' + 9,7 \cdot 10^{-4} \cdot (88 - N_3)^{2,06}.$$

Относительное расхождение исходных и расчетных значений коэффициента $\alpha''_{ГТУ}$. При пониженных электрических нагрузках ГТЭ-110 не превышает 4 %.

Полученный материал применяется для анализа влияния входных параметров на выходные характеристики объекта, а так же входит в разработку программного продукта, используемого на лабораторных и практических занятиях, для подготовки на кафедре «Тепловые электрические станции» будущих специалистов.

*Е.Д. Коркин, студ.; рук. М.Ю. Зорин, к.т.н., доц)
(ИГЭУ, г. Иваново)*

УЧЕТ ВЛИЯНИЯ МИНИМАЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ НАПОРОВ ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕМПЕРАТУРЫ УХОДЯЩИХ ГАЗОВ ПГУ

Решая задачу оптимизации параметров работы котла-утилизатора и параметров паровой турбины и выбора уровня использования вторичных энергетических ресурсов (ВЭР) парогазовой установки, в которой происходит нагрев среды без фазового перехода, обычно не анализируются технические ограничения параметров среды. Например, рассматривая водогрейную утилизационную установку на базе ГТУ, предполагалось, что температура газов за котлом-утилизатором V_{yx} не может быть ниже температуры воды на входе $t_{пв}$, а выходная температура воды $t_{в}$ не может превышать температуру газов за ГТУ $V_{ГТУ}''$. Такие ограничения воспринимаются как само собой разумеющееся обстоятельство и обуславливают два температурных напора, не имеющих большего значения при расчёте:

$$\Delta t_{\text{с}} = V_{yx} - t_{пв};$$

$$\Delta t_{\text{н}} = V_{ГТУ}'' - t_{в}.$$

Наличие фазового перехода, в данном случае парообразования, существенно усложняет утилизационные процессы, делает в ряде случаев невозможным глубокое охлаждение потока отбросных газов и в то же время вводит ограничение на температуру насыщения, а, следовательно, ограничивает давление генерируемого пара.

Ограничивающими являются такие значения оптимизируемых величин, при которых возникает нулевой минимальный температурный напор, находящийся на конце той или иной поверхности нагрева котла-утилизатора. В утилизационных схемах без сжигания дополнительного топлива перед котлом минимальный температурный напор находится на выходе газов из испарительной части котла-утилизатора.

Определение предельного значения температуры уходящих газов при постоянных значениях давления и температуры пара можно представить аналитически для различных схем.

*А.Л. Крылова, студ.; рук. Г.В. Ледуховский, д.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ВАРИАНТА РЕАЛИЗАЦИИ ЧАСТОТНОГО ПРИВОДА ПИТАТЕЛЬНЫХ НАСОСОВ СЫЗРАНСКОЙ ТЭЦ

Объект исследования – питательная установка группы оборудования давлением 130 ата Сызранской ТЭЦ с двумя насосами ПЭ-580-195 (ПН). Предмет исследования – технологии частотного привода питательных насосов с использованием гидромuft (ГМ), частотно-регулируемого электропривода (ЧРЭП) или приводных турбин (ПТ). Цель работы – обоснование выбора варианта реализации энергосберегающего мероприятия на основе технико-экономического анализа.

Переход от используемого в настоящее время дроссельного регулирования производительности ПН к частотному приводит к уменьшению затрат мощности на привод ПН, то есть на собственные нужды котлов. При заданных графиках отпуска тепловой и электрической энергии от группы оборудования ТЭЦ и уменьшении затрат на собственные нужды изменяются показатели работы турбоагрегатов, котлов и ряда вспомогательных установок и механизмов. Для учета этих эффектов на основе нормативных энергетических характеристик ТЭЦ разработана математическая модель, позволяющая рассчитать экономию топлива в условном исчислении при реализации мероприятия.

С использованием разработанной математической модели и данных государственной статистической отчетности ТЭЦ о тепловой экономичности оборудования выполнены расчеты за каждый из месяцев базового года. В результате определен потенциал экономии топлива, т у.т. / год, для разных вариантов реализации мероприятия: 3056 (ПТ на один ПН), 1831 (ПТ на два ПН); 1087 (ГМ на один ПН), 1392 (ГМ на два ПН); 1208 (ЧРЭП на один ПН), 1545 (ЧРЭП на два ПН).

Полученные значения использованы в экономической части обоснования, в рамках которой определены капитальные затраты на реализацию мероприятия и показатели экономической эффективности. Дисконтированный срок окупаемости инвестиций составил: от 8,2 до 16 лет при использовании ПТ; от 7,0 до 11,9 лет – ГМ; от 6,4 до 11,2 лет – ЧРЭП. Выбранный вариант – установка ЧРЭП на один ПН.

Результаты работы приняты к рассмотрению при формировании программы повышения энергетической эффективности Сызранской ТЭЦ в рамках технико-экономического обоснования оптимизации теплового узла города Сызрань.

*О.Д. Пшенникова, студ.; рук. М.Ю. Зорин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МОДЕРНИЗАЦИЯ КОНЦЕВЫХ УПЛОТНЕНИЙ ЦВД ТУРБИНЫ К-500-240 ЛМЗ

При производстве электроэнергии паротурбинным способом довольно большой резерв экономии находится в области совершенствования конструкции турбин, в частности, концевых уплотнений.

Недавно появились предложения о применении сотовых надбандажных, сотовых диафрагменных и концевых уплотнений в паровых турбинах. Сотовыми называются уплотнения, имеющие на одной из поверхностей сотовую «дорожку», т.е. ряды перегородок, образующих по окружности массив односторонне замкнутых ячеек размером 0,9x0,9 мм. Изготавливаются они из жаростойкой хромоникелевой фольги толщиной 0,05 мм из материала ХН78Т и припаиваются к вставкам – сотоблокам, из которых набирается кольцо для последующей установки в диафрагму или обойму. Замена существующих уплотнений на уплотнения сотовой конструкции позволяет не только уменьшить в несколько раз радиальный зазор (от 1,5мм до 0,5 мм) с пропорциональным снижением утечек пара, но и довести его до нуля или даже допустить врезание. Следует добавить также, что внедрение сотовых уплотнений не требует коренного изменения конструкции (см. рис. 1). Применение сотовых уплотнений позволяет снизить потери в проточной части паровой турбины, особенно в нестационарных режимах, что приводит к увеличению внутреннего КПД на 0,7-0,9%.

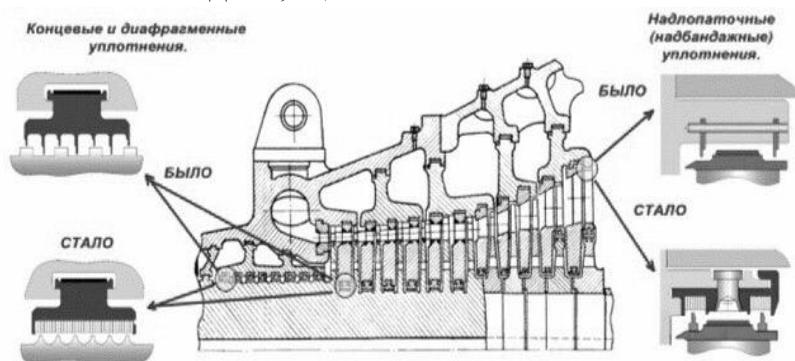


Рисунок 1 - Модернизация концевых уплотнений ЦВД турбины К-500-240

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

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ВАРИАНТОВ РАСШИРЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ ТЭЦ В ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТИ

Рассматривается промышленная ТЭЦ, расположенная на территории картонно-бумажного комбината в Вологодской области. Требуется выбрать вариант расширения ТЭЦ в связи с планируемым увеличением производительности основного производства комбината. Задачей настоящего этапа работы является определение технико-экономических показателей электростанции для летнего и зимнего режимов работы при разных вариантах расширения, основанных на оборудовании традиционного паросилового цикла.

Для проведения расчетов разработана математическая модель ТЭЦ, объединяющая подмодели турбоагрегатов, энергетических и пиковых водогрейных котлов, а также механизмов, установок и аппаратов тепловых и электрических собственных нужд. Основой модели являются энергетические характеристики оборудования данной и аналогичных электростанций. Особенностью модели является то, что она позволяет учитывать фактически достигнутые показатели тепловой экономичности и, соответственно, при отсутствии изменений нагрузок и состава работающего оборудования возвращает показатели его работы в базовом периоде. Алгоритм обеспечивает итерационное сведение теплового баланса отпуска тепла из отборов турбоагрегатов, теплового баланса выработки тепла брутто энергетическими котлами, электрического баланса затрат энергии на собственные нужды. Удельные расходы топлива на отпуск электрической и тепловой энергии рассчитываются по утвержденному нормативными документами алгоритму при двух методах отнесения суммарных затрат топлива: физическом методе и методе раздельного производства. Модель представлена в виде файла MSExcel и полностью автоматизирована.

В докладе отражены результаты использования модели – технико-экономические показатели ТЭЦ при следующих вариантах расширения: 1 – инерционным, без изменения состава оборудования; 2 – при строительстве водогрейной котельной и перераспределении высвободившегося пара на нужды производства; 3 – при установке дополнительного парового котла; 4 – при установке дополнительного парового котла и турбоагрегата типа ПТ. Полученные данные будут использованы для экономического обоснования реконструкции ТЭЦ.

*В.С. Халявин, студ.; рук. Б.Л. Шелыгин, к.т.н., проф.
(ИГЭУ, Иваново)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ПАРПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ КОТЛА- УТИЛИЗАТОРА «П-102» ПРИ АВТОНОМНОМ РЕЖИМЕ ЕГО РАБОТЫ И ПРОЕКТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ НАРУЖНОГО ВОЗДУХА

В ПАО «Т Плюс» (г. Иваново) при остановленной газотурбинной установке «ГТЭ-6П», котел-утилизатор (КУ) «П-102» в автономном режиме вырабатывает перегретый пар низкого давления с параметрами $p_n=0,7\div 0,8$ МПа и $t_n=230\div 240$ °С. Природный газ сгорает в топочной камере в потоке подаваемого вентилятором атмосферного воздуха.

Исследование проводилось с помощью созданной расчетной модели котлоагрегата «П-102», разработанной с использованием программного продукта «ТРАКТ».

Анализ выполнялся для допустимого диапазона паропроизводительности КУ ($D_n=20\div 50$ т/ч) при проектном значении температуры наружного воздуха $t_n=15$ °С и неизменном расходе сетевой воды $G_{с.в.}=15$ т/ч.

Коэффициент избытка воздуха в топке при снижении паропроизводительности D_n возрастал в пределе $\alpha_t=1,09\div 1,15$. Значения температуры на входе в рабочие тракты КУ и t_n не изменялись.

Вариантными расчетами установлено изменение КПД КУ (брутто) $\eta_{ку}$, соответствующего расхода сжигаемого топлива и наилучших условиях утилизации продуктов сгорания.

Оптимальный режим работы КУ соответствует максимальному значению $\eta_{ку}=0,956$ при его паропроизводительности $D_n=40$ т/ч.

В случаях повышенной паропроизводительности величина потери теплоты с уходящими газами превышает потерю теплоты от наружного охлаждения агрегата q_5 . При номинальной паропроизводительности $D_n=50$ т/ч КПД КУ $\eta_{ку}=0,953$. Если $D_n=20$ т/ч, то значения q_5 превышают величину q_2 , и КПД КУ (брутто) составляет лишь $\eta_{ку}=0,947$.

На основании полученных значений $\eta_{ку}$ при проектной температуре $t_n=15$ °С расход сжигаемого топлива при изменении паропроизводительности КУ D_n определяется согласно зависимости, $\text{нм}^3/\text{ч}$:

$$B_T = 1565 + 72,68 \cdot (D_n - 20)^{1,02}.$$

Полученные результаты используются для расчетного анализа показателей КУ «П-102» при изменении определяющих факторов и климатических условий.

СЕКЦИЯ 2

**ТЕХНОЛОГИЯ ВОДЫ И ТОПЛИВА.
ЭКОЛОГИЯ ТЭС И ПРОМЫШЛЕННЫХ
ПРЕДПРИЯТИЙ**

Председатель –
к.т.н., доцент **Еремина Н.А.**

Секретарь –
к.т.н., доцент **Карпычев Е.А.**

*А.В. Комова, О.В. Комова, студ.; Е.А. Ершова, асп.;
рук. И.Н. Новиков, к.т.н., доц.
(РГТУ, «ООО Новая Энергия», г. Рыбинск)*

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ВИХРЕВОЙ ПРОТИВОТОЧНОЙ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ

Потребность создания энергетически, экологически и экономически эффективных установок, использующих вихревые противоточные камеры сгорания (ВПКС), а именно установок, обеспечивающих реализацию ресурсосберегающих технологий сжигания различных топлив; снижение выбросов в продуктах сгорания; реализацию новых технологий переработки; и утилизацию веществ определяется необходимостью экспериментального исследования ВПКС.

Цель данной работы заключается в проведении экспериментальных исследований ВПКС на различных видах топлива, включая забалластированные топлива как горючим, так и негорючими компонентами.

Решались следующие задачи: получение характеристик ВПКС при работе на газообразном топливе, на жидком топливе, на газообразном топливе, забалластированном водой, угольной пылью, смесью воды и угольной пыли, смесью газообразного и жидкого топлива, сжигание и дожигание газа, газификации различных углеродосодержащих веществ, включая газа газификации твёрдых бытовых и промышленных отходов.

Экспериментальное исследование ВПКС было проведено на экспериментальном стенде ООО «Новая Энергия». В качестве топлива использовались: пропан, смесь пропана с водой, смесь пропана с угольной пылью, смесь пропана с водой и угольной пылью, дизельное топливо с аналогичными компонентами. Получены следующие результаты: температура и тепловая мощность продуктов сгорания в зависимости от вида топлива и содержания балластных горючих и негорючих компонентов, уровень CO, СХНУ и других компонентов. Получено распределение температуры на внешнем корпусе ВПКС. Результаты показали перспективность ВПКС и необходимость проведения дальнейших экспериментальных исследований различных модификаций ВПКС для промышленного применения.

*О.В. Комова, А.В. Комова, студ.; А.С. Терехова, асп.;
рук. И.Н. Новиков, к.т.н., доц.
(РГАТУ, «ООО Новая Энергия», г. Рыбинск)*

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ВИХРЕВОЙ ПРОТИВОТОЧНОЙ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ НА ВОДОТОПЛИВНОЙ ЭМУЛЬСИИ

Актуальность экспериментального исследования вихревых противоточных камер сгорания (ВПКС) на водотопливной эмульсии определяется потребностью создания энергетически, экологически и экономически эффективных установок.

Целью испытаний было определение работоспособности ВПКС и содержания NO_x , CO и CH_x в продуктах сгорания, выбрасываемых в атмосферу, при различном содержании воды в топливно-водяной эмульсии. В качестве топлива использовалось дизельное топливо. Эмульсия готовилась в специально изготовленном для этих испытаний эмульгаторе.

В процессе работы решались следующие задачи: получение характеристик водотопливной эмульсии в двух типах кавитаторах – струйном и вихревом противоточном; подача водотопливной эмульсии в ВПКС; экспериментальное исследование характеристик ВПКС. Экспериментальное исследование получения водотопливной эмульсии и сжигания её в ВПКС было проведено на стендах ООО «Новая энергия». Получены следующие результаты: температура, тепловая мощность продуктов сгорания и уровень выбросов NO_x , CO и CH_x в зависимости от содержания воды. Полученные результаты показали перспективность ВПКС и необходимость дальнейшего проведения исследований.

Некоторые результаты испытаний показали, что имеются определённые значения соотношения соответствующих концентраций воды в эмульсии, при которых выбросы CH_x и CO достигают минимальных значений, а выбросы NO_x , после резкого снижения, уменьшаются более плавно. При дальнейшем повышении концентрации воды в эмульсии происходит рост выбросов CH_x и CO и плавное уменьшение NO_x . Такой характер поведения уровня выбросов объясняется тремя факторами: температурой в зоне горения, временем пребывания продуктов сгорания в зоне горения и кинетикой химических процессов. По результатам испытаний получены аппроксимационные зависимости.

*Р.В. Гурина, асп.; рук. Т.А. Кулагина, д.т.н., проф.
(СФУ, г. Красноярск)*

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ НЕФТЕШЛАМА ПУТЕМ ДОБАВЛЕНИЯ В ТОПОЧНЫЙ МАЗУТ

Россия – одна из лидирующих стран в мире по осуществлению добычи и переработки нефти. Нефтяная отрасль на сегодняшний день является самой актуальной и прогрессирующей. В результате переработки нефти и нефтепродуктов образуется большое количество нефтешламов, которые имеют 3 класс опасности.

Нефтешламы получают из механических примесей с нефтью, которые отделяют от основного сырья. Образовавшиеся нефтешламы в нашей стране чаще всего накапливают и хранят в нефтешламонакопителях, которые занимают большие площади.

Для снижения негативного воздействия на окружающую природную среду, необходимо применять передовые технологии, обеспечивающие минимально возможное воздействие нефтяных отходов на биосферу, а также использовать надежные технические средства для их обезвреживания.

Следовательно, создание и выпуск эффективного оборудования для обезвреживания отходов нефтяной промышленности является актуальной задачей сегодняшнего дня.

Работа посвящена разработке рабочей технологической схемы утилизации нефтешлама, которая включает в себя:

1. Забор нефтешлама из шламонакопителя и его подготовка;
2. Создание эмульсии;
3. Смешение нефтешлама и полученной эмульсии;
4. Подача топливной композиции в топку через форсунки.

Полученная топливная композиция соответствует топочному мазуту марки М-100.

Предлагаемая установка также позволяет утилизировать по отдельности как нефтешлам, так и ловушечный нефтепродукт.

Библиографический список

1. **Кулагина Т. А.** Теоретические основы защиты окружающей среды: учебное пособие / Т. А. Кулагина, Л. В. Кулагина; Сиб. федер. ун-т, Политехн. ин-т. – 2017 – 364 с.
2. **Кулагина Т.А.** Управление промышленными и особо опасными отходами: Матюшенко А.И., Комонов С.В., Писарева Е.Н., Козин О.А., Турутин Б.Ф. Монография. –М.; Изд-во «Маджента», 2010. - 480 с.

*М.С. Иваницкий, к.т.н.
(филиал МЭИ, г. Волжский)*

ТОКСИЧНОСТЬ КАНЦЕРОГЕННЫХ ПАУ В УХОДЯЩИХ ГАЗАХ ГАЗОМАЗУТНОГО КОТЛА ТГМП-314

Сжигание топлива в энергетических котлах тепловых электростанций сопровождается образованием полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), включающих более 27 различных канцерогенных соединений, например, нафталин, 2-хлорнафталин, аценафтилен, аценафтен, флуорен, фенантрен, антрацен, флуорантен, пирен, хризен, тетрафен, бенз(b)флуорантен, бенз(k)флуорантен, бенз(g, h, i)перилен, 2, 3 – фениленпирен, дибенз(a, c)антрацен, 8,10 – диметилантрацен, трифенилен, 20 – метилхолантрен, нафтацен, перилен, холантрен, дибенз(a)пирен, бенз(a)пирен (БП). Отметим, что качественным показателем наличия в продуктах сгорания всех представителей ПАУ является БП. Канцерогенная активность сочетаний ПАУ в значительной степени обуславливается содержанием БП в уходящих газах. Аналитическое определение содержания БП в уходящих газах котлов инструментальными методами осложнено этапами отбора, термостатирования и детектирования компонентов пробы. Для определения суммарной токсичности продуктов сгорания следует принимать во внимание частные показатели вредности компонентов газовых выбросов. Выявлено, что токсический эффект усиливается при одновременном присутствии в продуктах сгорания нескольких канцерогенных ПАУ.

Оценка вклада канцерогенного БП и других канцерогенных ПАУ в суммарную вредность продуктов сгорания энергетического котла, показывает, что доля, вносимая БП в суммарную вредность выбросов газомазутного котла ТГМП-314 при работе на природном газе, составила оценочно 1 %. Для рассмотренного варианта вклад частной вредности БП в суммарную вредность продуктов сгорания при коэффициенте избытка воздуха на выходе из топки котла $\alpha=1,03$ составляет 1,03 %, при $\alpha=1,08$ равна 0,28%. Результаты расчетов показали, что суммарная вредность продуктов сгорания составляет 0,0326, доля вклада частной вредности оксидов азота – 95,1 %, сумма ПАУ – 4,9 %. Данные расчета частных показателей вредности суммы ПАУ, включая БП, оксидов азота и монооксида углерода СО в зависимости от коэффициента избытка воздуха получены при номинальном режиме паропроизводительности котла ТГМП-314 в условиях сжигания природного газа.

*П.Ю. Наумова, студ.; Н.А. Еремина, к.т.н., доц.
(ИГЭУ г. Иваново)*

ИЗМЕНЕНИЯ В РАСЧЕТАХ НОРМАТИВОВ ДОПУСТИМЫХ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ

Министерством природных ресурсов и экологии России подготовлен законопроект «О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране атмосферного воздуха» и отдельные законодательные акты РФ в части обеспечения снижения загрязнения атмосферного воздуха», который вносит изменения в расчеты нормативов допустимых выбросов (НДВ). Согласно данному проекту, НДВ должны будут рассчитываться на объектах негативного воздействия на окружающую среду (НВОС) 1 и 3 категорий только для веществ 1 и 2 классов опасности. Согласно [1] к 1 классу опасности относятся вещества с ПДК менее $0,1 \text{ мг/м}^3$, ко второму – вещества с ПДК $0,1-1,0 \text{ мг/м}^3$. К таким веществам, содержащимся в выбросах дымовых газов ТЭС относится только бенз(а)пирен.

Список веществ 1 и 2 класса опасности, внесенных в перечень загрязняющих веществ (ЗВ), в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды [2], содержит 96 наименований. Проанализировав данный перечень, можно заметить, что с 1 января 2019 г. не подлежат нормированию большинство ЗВ, содержащихся в дымовых газах ТЭС: оксид и диоксид азота, взвешенные вещества, диоксид серы, оксид углерода, а также основные пахучие вещества, такие как аммиак, этилмеркаптан, ацетон и др. Сложности, с которыми могут столкнуться объекты 1 и 3 категорий, в том числе и ТЭС, состоят в следующем:

- для веществ 1-2 классов опасности, которые подлежат нормированию, не разработаны средства автоматического измерения массы загрязняющих веществ, следовательно, необходимо разрабатывать методы учета их концентраций в выбросах;
- становится невозможной проверка результатов нормирования, так как большинство ЗВ, определяемых методами инструментального мониторинга, не подлежат нормированию.

Библиографический список

1. ГОСТ 12.1.007-76 «Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности».
2. Распоряжение Правительства РФ от 08.07.2015 № 1316-р «Об утверждении перечня загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды».

*П.Ю. Наумова, студ.; Н.А. Еремина, к.т.н., доц.
(ИГЭУ г. Иваново)*

ИЗМЕНЕНИЯ В РАСЧЕТАХ НОРМАТИВОВ ДОПУСТИМЫХ СБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ

В соответствии со статьей 22 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» с 1 января 2019 г. нормативы допустимых сбросов (НДС) должны рассчитываться на объектах НВОС 1 и 3 категорий только для веществ 1 (ртуть и ее соединения, хлор свободный и др.) и 2 (кобальт, гидразингидрат, натрий (все растворимые формы), никель и др.) классов опасности. Не подлежат нормированию вещества 3 и 4 классов опасности (взвешенные вещества, СПАВ, фосфаты, нефтепродукты, хлориды, сульфаты, БПК, медь, нитраты и нитриты и др.).

Таким образом, при сбросе сточных вод ТЭС, как объекта 1 категории, возникают следующие негативные моменты:

- плата за сброс ЗВ сокращается до минимума, так как большинство загрязняющих веществ не нормируется, следовательно, плата за сброс идет в пределах НДС;
- невозможно будет проверить результаты нормирования, так как большинство ЗВ, определяемых методами инструментального мониторинга поверхностных вод, не подлежат нормированию;
- у ряда ЗВ разные классы опасности, установленные Приказом Минсельхоза России [2] и гигиеническими нормативами [3], что влечет за собой неполное или неверное проведение расчетов НДС;
- отпадает необходимость оснащать стационарные источники сбросов автоматическими средствами измерения и учета объема или массы сбросов загрязняющих веществ, их концентрации, так как для веществ, подлежащих нормированию, т.е. для ЗВ 1 и 2 классов опасности, таких средств измерения еще не разработано.

Библиографический список

1. **Федеральный закон** от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды».
2. **Приказ Минсельхоза России** от 13.12.2016 № 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения».
3. **ГН 2.1.5.1315-03** «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования».

*А.С. Карманова, маг.; рук. Е.Н. Бушуев, д.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

АНАЛИЗ СХЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ КОНЦЕНТРАТА УСТАНОВКИ ОБРАТНОГО ОСМОСА

В настоящее время одним из наиболее перспективных и эффективных способов деминерализации воды на ТЭС является её обработка на установке обратного осмоса (УОО). Водоподготовительная установка (ВПУ) на базе мембранных технологий обладают целым рядом преимуществ [1], однако при этом характеризуется повышенным расходом образующихся сточных вод. УОО обладает большими резервами и перспективами в направлении уменьшения потребности в исходной воде, а также утилизации образующегося концентрата в цикле ВПУ.

В работе [2] предлагается схемное решение, предусматривающее подмешивание к обрабатываемой воде перед УОО части концентрата, умягчённого на Н-карбоксылном фильтре. Регенерация катионита производится стехиометрическим расходом серной кислоты, образующиеся сточные воды отводятся в кристаллизатор гипса, получаемый при этом осадок, обезвоживается и направляется на шламоуплотнительную станцию.

Для анализа предложенной технологии утилизации части умягчённого концентрата УОО была разработана методика, позволяющая выполнять технологический расчёт ВПУ.

Проведённые расчёты показали, что применение предложенной в работе [2] технологии позволяет вернуть на вход в УОО до 80 % от количества образующегося концентрата. Подмес умягчённого концентрата к исходной воде УОО, снижает вероятность образования карбонатных отложений на мембране, что позволяет упростить, а в ряде случаев отказаться от обработки исходной воды перед УОО. Результаты расчёта показали существенное улучшение экологических показателей ВПУ – удельный сброс солей уменьшился с 506 до 123 г/м³. Однако, переход на предлагаемую схему обессоливания требует дополнительного водоподготовительного оборудования, а также приведёт к значительному увеличению потребности в серной кислоте.

Библиографический список

1. **Ларин, Б.М.** Обработка воды на ТЭС и АЭС / Б.М. Ларин, Е.Б. Юрчевский, В.В. Гостыков, А.Б. Ларин, Е.Н. Бушуев // ГОУВПО "Ивановский гос. энергетический ун-т им. В.И. Ленина". – Иваново: 2010. –348 с.

*М.Э. Колодяжная, маг.; рук. Н.А. Еремина, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ВПУ БЛОКА 1200 МВТ КОСТРОМСКОЙ ГРЭС

Химическое обессоливание на базе прамоточных фильтров является наиболее распространенной схемой очистки воды на ТЭС. Такая установка имеет ряд недостатков, а именно, невысокое качество очищенной воды и большой расход реагентов на регенерацию. Для устранения недостатков традиционной схемы химического обессоливания стали широко применять противоточные технологии ионного обмена. Такие технологии позволяют повысить эффективность использования ионитов, сократить число ступеней обработки, а, следовательно, и количество используемого оборудования; снизить расход реагентов на регенерацию, что в свою очередь, ведёт к снижению расходов воды на собственные нужды и объема стоков [1].

В данной НИР рассматривается модернизации обессоливающей установки блока 1200 МВт Костромской ГРЭС путем замены трехступенчатой схемы традиционного химического обессоливания на противоточное ионирование для улучшения технологических и экологических показателей ВПУ.

В качестве противоточных технологий предлагаются: двухступенчатая схема на базе противоточных фильтров, работающих по технологии АПКОР (UPCORE); одноступенчатая схема на базе противоточных фильтров, работающих по технологии UPCORE с дообессоливанием на прамоточных фильтрах Н-ОН; схема на базе противоточных фильтров, работающих по технологии Швебебет (Schwebebet), с дообессоливанием на ФСД. В качестве загрузки предлагается использовать импортные и отечественные иониты.

Практическая значимость проведенной НИР состоит в том, что по результатам вариантных технологических расчетов [2] наиболее рациональной по экологическим и технологическим показателям для совершенствования существующей ВПУ КГРЭС является противоточная схема с дообессоливанием на прамоточных фильтрах Н-ОН, поскольку при ее реализации предполагается частичное использование уже имеющегося на ВПУ оборудования.

Библиографический список

1. Копылов А.С., Лавыгин В.М., Очков В.Ф. Водоподготовка в энергетике. М.: МЭИ, 2016.
2. Бушуев Е.Н., Опарин М.Ю. Малоотходные технологии водоподготовки на ТЭС. Иваново: ИГЭУ, 2010.

Т.А. Копылова, А.А. Софронова, А.А. Кулишина, студ.;
рук. Е.А. Карпычев, к.т.н.
(ИГЭУ, г. Иваново)

АНАЛИЗ РАБОТЫ УСТАНОВКИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОЧИСТКИ ИВТЭЦ-3

В период с 1.03.2018 г по 1.05.2018 г на водоподготовительной установке ИвТЭЦ-3 филиала «Владимирский» ПАО «Т Плюс» проведены обследование и режимно-наладочные испытания осветлителей для известкования ВТИ-350.

Обследование осветлителей подразумевало осмотр наружного и внутреннего состояния осветлителей на предмет коррозионных повреждений, образования отложений, нарушения гидравлических характеристик. Режимно-наладочные испытания проводились согласно утвержденной программе режимно-наладочных испытаний представителями фирмы ЗАО «Ивэнергосервис».

По результатам обследования и режимной наладки оборудования с использованием полученных данных, авторами представлены выводы и мероприятия, рекомендованные для реализации на ВПУ ИвТЭЦ-3.

В целях обеспечения надежности работы осветлителей ВТИ-350 было рекомендовано осуществить поэтапные восстановительные работы на осветлителях, включающие в себя: очистку рабочих поверхностей металла осветлителей от карбонатных отложений; выравнивание по уровню основных внутренних конструктивных элементов осветлителей; восстановление функционирования узла управления «отсечкой», прочистка трубопровода, восстановление или замена поворотной заслонки; выполнение антикоррозионной обработки внутренних рабочих поверхностей осветлителей.

В целях обеспечения маневренности осветлителей и организации ведения их эффективного шламового режима в условиях непостоянной нагрузки было рекомендовано изменить регламент осуществления непрерывной и периодической продувки; поддерживать гидратный режим известкования путем регулирования стабильности воды в пределах от 10,0 до 10,3; автоматизировать узлы пропорционального дозирования реагентов.

По результатам режимно-наладочных испытаний и с учетом текущего состояния предочистки были внесены изменения в режимную карту по эксплуатации осветлителей ВТИ-350.

*Е.М. Королева, А.А. Лапина, маг.; рук. Б.М. Ларин, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИЙ СОЛЕВЫХ КОМПОНЕНТОВ В ПИТАТЕЛЬНОЙ И КОТЛОВОЙ ВОДЕ БЛОКОВ ПГУ

При глубокой автоматизации контроля и управления технологическими процессами парообразования энергетических котлов ТЭС, автоматизация контроля состояния водного режима сдерживается отсутствием анализаторов ряда нормируемых показателей. Одними из таких важных показателей являются солесодержание и концентрация фосфатов в котловой воде. Эксплуатационная надежность ВХР невозможна без качественной системы химико-технологического мониторинга, основанной на автоматических измерениях удельной электропроводности и рН и использующей современные средства обработки информации.

Разработка методики определения концентраций солевых компонентов выполнена на основе промышленного эксперимента на ТЭЦ-26 Мосэнерго, где показано, что коэффициент корреляции равен 1,0 и существует функциональная зависимость концентрации фосфатов по удельной электропроводности как прямой (χ_{co}), так и Н-катионированной ($\chi_{н,co}$) охлажденной пробы воды солевого отсека. Однако для практического использования правильным является использование измерения удельной электропроводности Н-катионированной пробы, что позволяет исключить влияние на результат измерения качества рабочего раствора фосфата натрия или качества питательной воды. Разработанный расчетный метод определения концентраций фосфатов в котловой воде по измерениям удельной электропроводности проверен на котле ТП-87 ($p_6 = 13,8$ МПа) Ивановской ТЭЦ-3.

Методика расчета концентрации фосфатов обеспечивает устойчивое косвенное измерение параметров контролируемой среды и позволяет использовать её для разработки автоматизированной системы управления ВХР котла, в частности дозировкой фосфатов в котловую воду.

Библиографический список

1. **Патент РФ** на изобретение №2573453. Способ определения рН малобufferных предельно разбавленных растворов типа конденсата / Ларин Б.М., Ларин А.Б., Сорокина А.Я., Кийет С.В. Опубл. 20.01.2016. Бюл. №8.

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

СРАВНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ БЛОКА ФИЛЬТРОВ С ИМПОРТНЫМИ И ОТЕЧЕСТВЕННЫМИ ИОНИТАМИ

Фильтроцикл цепочки является одной из важных характеристик для ВПУ. Его продолжительность в наибольшей степени зависит от концентраций растворенных примесей в исходной воде и от обменной емкости ионита.

В настоящее время наиболее актуальным становится модернизация существующего оборудования ВПУ с целью снижения эксплуатационных затрат и себестоимости производимой продукции. В области водоподготовки перспективным направлением является перевод с использования импортных ионитов на отечественные, что позволяет в 2-3 раза сэкономить затраты на материалы.

Чтобы выяснить, насколько велика разница между импортными и отечественными ионитами, в данной работе был произведен расчет продолжительности фильтроцикла при загрузке блока фильтров ВПУ КГРЭС полностью отечественными ионитами (БФ № 2: КУ-2-8, АН-34, АВ-17) и при смешанной загрузке отечественные и импортными ионитами (БФ № 1: DOWEX MARATHON С, АН-34, DOWEX MARATHON А, АВ-17), см. табл. 1; были сравнены цены этих ионитов, см. табл. 2.

Таблица 1 - Фильтроциклы цепочек, ч

Цепочка	$H_1^{\text{пред}}$	H_I	A_I	H_{II}	A_{II}	H_{III}	A_{III}
БФ №1	19,53	18,79	12,53	6,31	7,13	5,26	4,89
БФ №2	17,95	18,38	13,85	8,27	6,64	5,20	5,13

Таблица 2 - Цены ионитов, руб.

Цепочка	$H_1^{\text{пред}}$	H_I	A_I	H_{II}	A_{II}	H_{III}	A_{III}	Итого
БФ №1	2832	2724	139	915	1033	762	1061	9469
БФ №2	1218	1247	154	561	1594	353	1113	6244

Таким образом, у цепочки с отечественными ионитами наименьшая продолжительность фильтроцикла, но и меньшая стоимость ионитов. Наиболее дешевый ионит – АН-31, его стоимость составляет 18,97 руб/кг. В итоге наименее затратная цепочка – БФ № 2.

Библиографический список

1. **Озерова С.Л.** Методические указания к выполнению курсового проекта «Расчет ВПУ ТЭС»: Учеб. пособ. / Иван. гос. энерг. ун-т. - Иваново, 2002, 47с.

*А.А. Лапина, Е.М. Королёва маг.; рук. А.Б. Ларин, д.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

АНАЛИЗАТОР КАЧЕСТВА ПАРА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОТЛОВ ТЭС И ПАРОГЕНЕРАТОРОВ АЭС

Основу современной теплоэнергетики составляют энергоблоки с парогазовыми установками (ПГУ) и прямоточными котлами сверхкритического давления (СКД), в большом количестве представлены на ТЭЦ паровые котлы барабанного типа с давлением 13,8 МПа, с подпиткой обессоленной водой с удельной электропроводностью менее 1 мкСм/см. На промышленных ТЭЦ и в составе теплосиловых цехов промышленных предприятий установлены и работают паровые барабанные котлы с давлением 9,8 МПа и 3,9 МПа, а также котлы-утилизаторы (КУ) разных давлений.

Во всех случаях качество пара, производимого котельными агрегатами, жестко нормируется [1] и должно быть обеспечено при любом качестве добавочной воды и составе оборудования тепловой схемы котельной установки. В условиях совершенствования приборной базы химического контроля качества воды и пара и оптимизации условий эксплуатации теплоэнергетических установок, возрастает потребность и появляется возможность создания измерительных систем автоматического химического контроля, обеспечивающих контроль основных нормируемых и диагностических показателей качества пара.

В основу разрабатываемого измерительного комплекса АПК положены измерения удельной электропроводности прямой и Н-катионированной пробы, а также водородного показателя рН. Анализатор предназначается, прежде всего, для автоматического химконтроля ряда нормируемых и диагностических показателей качества водного теплоносителя на ТЭС и АЭС, в форме одновременных измерений в охлажденной пробе χ , $\chi_{\text{Н}^+}$, рН и косвенного определения концентраций натрия, хлоридов, аммиака и углекислоты. Названные показатели определяют общий уровень минеральных и ионогенных органических примесей водного теплоносителя и контролируют быстротекущие нарушения ВХР.

Библиографический список

1. **СТО 70238424.27.100.013-2009.** Водоподготовительные установки и водно-химический режим ТЭС. Условие создания. Нормы и требования. Стандарт организации. – М.: НП «ИнВЭЛ», 2009. – 93 с.

*А.Ю. Логинова, маг.; рук. Н.А. Еремина к. т. н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МОДЕРНИЗАЦИЯ ВПУ ВЛАДИМИРСКОЙ ТЭЦ-2

Для приготовления обессоленной воды, соответствующей нормам ПТЭ в химическом цехе (ХЦ) работает водоподготовительная установка (ВПУ) полного химического обессоливания с максимальной проектной производительностью 210 м³/ч по схеме «гребенка»: -О-МФ-Н_{пред1}-Н_{осн2}-ОН₁-Н₃-ОН₂-.

Необходимость реконструкции и технического перевооружения действующей ВПУ обусловлена несколькими причинами:

- значительным износом оборудования, которое находится в эксплуатации более 60-и лет;
- негативным воздействием на окружающую среду, связанным со сбросом сточных вод в водный объект с превышением по ПДК загрязняющих веществ по содержанию железа, фосфатов, сульфатов, меди.
- большим количеством кислых регенерационных вод, что влечет за собой разработку мероприятий по их уменьшению.

На основании этого, было предложено 2 варианта модернизации ВПУ: с противоточным ионированием по технологии АПКОР; на основе мембранных методов, с установкой обратного осмоса (УОО) и дообессоливанием на противоточных фильтрах. Результаты расчета технологических, экологических показателей схем обессоливания приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Показатели работы ВПУ для рассматриваемых схем обессоливания

Схема обессоливания	Существующая схема	Вариант № 1 -Н _{пред} -Н _{осн} -	Вариант № 2 -УОО-Н _{про} - ОН _{про} -
Технологические показатели			
Расход (коагулянт+известь), т/сут	0,67+5,2	0,61+4,7	0,9+6,7
Расход кислоты G _к , т/сут	0,83	0,01	0,25
Расход щелочи G _щ , т/сут	0,73	0,06	0,04
Потери теплоты, ГДж/год	1,542·10 ⁵	1,395·10 ⁵	2,015·10 ⁵
Расход воды на с. н. %	34	21	75
Экологические показатели			
Количество сточных вод, м ³ /сут	1272	816	2712
Суточный сброс солей, т/сут	3,5	3,3	1,28

Анализ полученных данных показывает, что вариант № 2 более приемлем по экологическим показателям, несмотря на большой объем сточных вод, т.к. содержание солей в сточных водах в 2,5 раза меньше, чем при других схемах обессоливания. По технологическим показателям также более выгоден вариант № 2.

*В.Д. Медведев; Б.М. Ларин, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

СРАВНЕНИЕ ТЕРМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ ТБО

Одна из серьезных проблем общества - переработка твердых бытовых отходов (ТБО). В России в настоящее время огромные территории используются в качестве полигонов для хранения ТБО, туда поступает 90-95% общего потока твердых бытовых отходов. Такой метод обращения с ТБО не целесообразен, т.к. токсичные выбросы способны распространяться на большие расстояния, а также вступать в реакцию с выбросами окружающих промышленных объектов. Так же на полигонах, вследствие протекания химических реакций могут происходить самовозгорания, что служит причиной поступления в окружающую среду химических канцерогенов, способствующие развитию раковых заболеваний. В связи с этим в развитых странах получили распространение термические, химические, биологические и физико-химические методы утилизации ТБО. Сейчас, для экономически выгодной, экологически безопасной переработки ТБО используют термические методы, в том числе сжигание и пиролиз. В настоящее время в мире работает более 2 500 МСЗ. В 2018 году была принята стратегия по переработке отходов в России до 2030 года. Особенностью этих предприятий является сложный состав топлива и соответственно сложный состав дымовых газов, золы, шлака. В связи с вышесказанным представляет большой интерес рассмотреть преимущества и недостатки различных технологий переработки ТБО. Сравнивая эти два метода можно сказать, что при сжигании возможно образование высокотоксичных газов, которые сложно очистить. Так же образуется шлак 4-го класса опасности, зола 3-го класса опасности, и 46 веществ 1-3 класса опасности. На данный момент в некоторых странах идет исследование направления переработки ТБО нагреванием без доступа кислорода при температуре 500-1100. При такой технологии образуются газообразные продукты, которые можно полезно использовать. Выброс вредных веществ гораздо ниже, чем при сжигании. При пиролизе образуются: газообразное топливо, твердый углеродистый остаток, смола. Основным преимуществом МСЗ является бесперебойность работы, а при пиролизе требуется постоянная загрузка ТБО. Так же производительность пиролизных установок ниже, чем у МСЗ. Термические технологии утилизации являются основными направлениями, которые позволяют не только полезно утилизировать ТБО, но и безопасно.

*А.А. Данилина, А.Е. Орлов, маг.; рук. Е.А. Карпычев, к.т.н.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОСОБЕННОСТИ КОНТРОЛЯ ФАКТИЧЕСКОЙ ДОЗЫ МИКРОПЕСКА В ОСВЕТИТЕЛЕ АСТIFLO

В процессе эксплуатации горизонтальных осветлителей Actiflo возникает необходимость периодического контроля фактической рабочей дозы микропеска.

Рекомендуемое значение рабочей дозы микропеска при эксплуатации осветлителей этого типа составляет 5 г/дм³. Относительные потери микропеска при эксплуатации осветлителей находятся в пределах 3 г на 1 м³ коагулированной воды и периодически восполняются эпизодической дозировкой «свежих» порций микропеска.

При эксплуатации осветлителя микропесок равномерно распределяется по всему объему осветлителя при помощи циркуляционных насосов и гидроциклонов, поэтому при стабильном уровне воды в осветлителе объемная доза микропеска остается постоянной. Однако с увеличением производительности осветлителя длительность контакта микропеска с обрабатываемой водой уменьшается и возникает необходимость определять фактическую дозу микропеска, которая зависит непосредственно от производительности.

Авторами рассмотрен вариант контроля рабочей дозы микропеска в осветлителях Actiflo с целью уточнения границ технологической эффективности процесса коагуляции. Контроль фактической дозы микропеска предполагает измерение высоты слоя микропеска в объеме пульпы, состоящей из песка, воды и шлама в емкости определенной вместимости за определенное время. Точность измерения фактической дозы микропеска будет определяться объемом тарированной емкости и временем проведения отбора пробы. Чем больше объем тары и время отбора пробы, тем результат измерений будет точнее.

$$D_{\text{мп}} = \frac{H_{\text{песка}}}{H_{\text{смеси}}} \cdot \rho_{\text{мп}} \cdot \frac{Q_{\text{гидроц}}}{Q_{\text{осв}}}$$

В формуле фигурируют следующие обозначения: $H_{\text{песка}}$ – высота микропеска осевшего в тарированной емкости по прошествии 10 минут отстаивания, см; $H_{\text{смеси}}$ – высота смеси микропеска и воды, отобранных в тарированную емкость, см; $\rho_{\text{мп}}$ – плотность микропеска, г/дм³; $Q_{\text{гидроц}}$ – производительность гидроциклона по смеси микропеска и воды, м³/ч; $Q_{\text{осв}}$ – фактическая производительность осветлителя, м³/ч.

А.А. Рябинина, маг.; рук. Е.Н. Бушуев, д.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ПРОБЛЕМЫ РЕСУРСОБЕРЕЖЕНИЯ НА УСТАНОВКАХ ОБРАТНОГО ОСМОСА ПРИ ОБЕССОЛИВАНИИ ВОДЫ НА ТЭС

В последние годы, благодаря существенному прогрессу в технологии изготовления различных типов мембран, запорной арматуры и систем автоматического управления, широкое применение на ТЭС находят установки обессоливания на основе мембранных методов, прежде всего обратного осмоса [1]. Такие водоподготовительные установки характеризуются компактностью, низкими расходами химических реагентов и высокими экологическими показателями.

Одним из существенных недостатком установки обратного осмоса (УОО) является повышенный расход воды на собственные нужды. Проведённый анализ литературных источников показал, что для его уменьшения применяют ряд мероприятий: использование нескольких обратно-осмотических элементов в одном модуле, многокаскадность установки и подмес [2]. Проведённое исследование показало, что использование этих мероприятий позволяет существенно увеличить коэффициент выхода пермеата (гидравлический КПД) на УОО и довести его до 70–85 %. Однако, при этом происходит ухудшение качества получаемого пермеата (рис. 1), тем самым увеличивается ионная нагрузка на ступень дообессоливания, а в результате возрастает количество сбрасываемых солей в водоём.

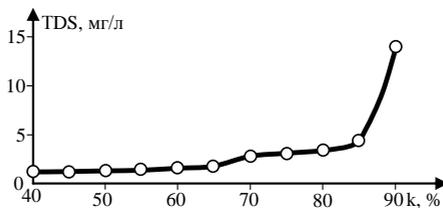


Рисунок 1 - Зависимость содержания пермеата (TDS_{перм}) от коэффициента выхода пермеата на УОО (k)

Библиографический список

1. Ларин Б.М. Обработка воды на ТЭС и АЭС / Б.М. Ларин, Е.Б. Юрчевский, В.В. Гостыков, А.Б. Ларин, Е.Н. Бушуев // ГОУВПО "Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина". –Иваново: 2010. –348 с.

*А.Ю. Федорова, аспирант; рук. Е.Н. Бушуев, д.т.н, доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВНЫХ КОНСТАНТ СКОРОСТЕЙ ХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ОТ ОТЛОЖЕНИЙ ЭКРАННЫХ ТРУБ ПАРОВЫХ КОТЛОВ

При выборе метода и разработке технологии химической очистки (ХО) паровых котлов сталкиваются с необходимостью выбора оптимальных значений основных технологических параметров, таких как, начальная концентрация кислотного реагента, температура и скорость пропуска моющего раствора, продолжительность очистки.

Основным нормативным требованием, предъявляемым к ХО паровых котлов, является остаточная удельная загрязнённость экранных труб, которая не должна превышать 70 г/м^2 . Важным показателем эффективности очистки является её продолжительность до этой загрязнённости, определяемая значениями констант скоростей процессов очистки.

Проведено лабораторное исследование совместного влияния температуры, концентрации кислоты на продолжительность очистки от отложений и на коррозию стали индикаторов коррозии по ГОСТ 1050, при отсутствии и наличии движения моющего раствора.

В качестве факторов, влияющих на кинетику удаления отложений, учитывались концентрация соляной кислоты и температура её ингибированного раствора. Начальные условия очистки определены: площадью поверхности, подлежащей очистке от отложений; их удельным количеством и составом; состоянием поверхности стали.

Для оценки влияния факторов на длительность очистки использовались образцы экранных труб парового котла высокого давления.

На основании проведённых исследований получены кинетические зависимости для процесса очистки с учетом указанных выше технологических факторов [1].

Определены экспериментальные значения условных констант скоростей удаления отложений с внутренней поверхности экранных труб.

Библиографический список

1. **Федорова А.Ю.** Выбор реагентов и технологических условий химической очистки от отложений испарительных труб паровых котлов / А.Ю. Федорова, Е.Н. Бушуев // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. –2018. –№ 5. –С. 11–17.

*А.Ю. Федорова, аспирант; рук. Е.Н. Бушуев, д.т.н, доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ОТ ОТЛОЖЕНИЙ ЭКРАННЫХ ТРУБ ПАРОВЫХ КОТЛОВ

Серьёзным препятствием повышения надёжности работы котлов являются повреждения экранных труб, вызванные скоростью роста их температуры из-за постепенного накопления в них внутритрубных образований. Поэтому признанными и главными критериями оценки эффективности ВХР парового котла являются критерии состояния внутренних поверхностей его пароводяного тракта. В России при эксплуатационных химических очистках (ЭХО) труб этих поверхностей широко используются соляная кислота и специализированные моющие кислотные реагенты как зарубежного, так и российского производства.

Выполнено лабораторное исследование моющих свойств ряда реагентов, применяемых при ЭХО паровых котлов. По результатам проведенных исследований, учитывая характеристику отложений (равномерные железоксидные отложения и железоксидные отложения с бугорчатыми участками, содержащие медь), можно сделать следующие выводы:

1. Моющий эффект химических реагентов в значительной мере обусловлен диспергированием отложений [1, 2].

2. Скорость очистки труб на этапах, когда моющему раствору доступны пористые, рыхлые отложения, существенно зависит от текущего значения их удельной загрязнённости.

3. Скорость коррозии «чистой» стали (индикаторов коррозии) в проверенных растворах более стандартного значения ($0,2 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$). Скорость коррозии её индикаторов пропорциональна кислотности моющего раствора.

4. Рассчитаны «условные» константы скоростей очистки на основании полученных экспериментальных данных. Наибольшие значения констант наблюдаются при очистках от равномерных отложений.

Библиографический список

1. **Химические очистки** теплоэнергетического оборудования. Вып. 2 / под ред. Т.Х. Маргуловой. –М.: Энергия, 1978. –175 с.
2. **Федорова А.Ю.** Выбор реагентов и технологических условий химической очистки от отложений испарительных труб паровых котлов / А.Ю. Федорова, Е.Н. Бушуев // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2018. –№ 5. –С. 11–17.

СЕКЦИЯ 3

ХИМИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Председатель –
д.х.н., доцент **Пирогов А.И.**

Секретарь –
к.т.н., доцент **Карпычев Е.А.**

*Т. С. Кинжибаева студ.; С.С. Закожурников, к.т.н.;
рук. Г.С. Закожурникова, к.т.н.
(ВолгГТУ, г. Волгоград)*

ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОЛУЧЕНИЯ SiC

Получение карбида кремния (SiC) происходит согласно уравнению: $\text{SiO}_2 + 3\text{C} = \text{SiC} + 2\text{CO}$. Процесс образования SiC сопровождается и другими химическими реакциями, в результате которых образуются газообразные продукты [1]. На рис. 1 показана зависимость энергии Гиббса от температуры, для реакций образования газообразных составляющих при производстве карбида кремния, которая служит критерием самопроизвольного протекания химической реакции. Рис.1 демонстрирует, уменьшение энергии Гиббса с увеличением температуры у реакций № 1, 2, 4, и увеличение у реакций под № 3 и 5.

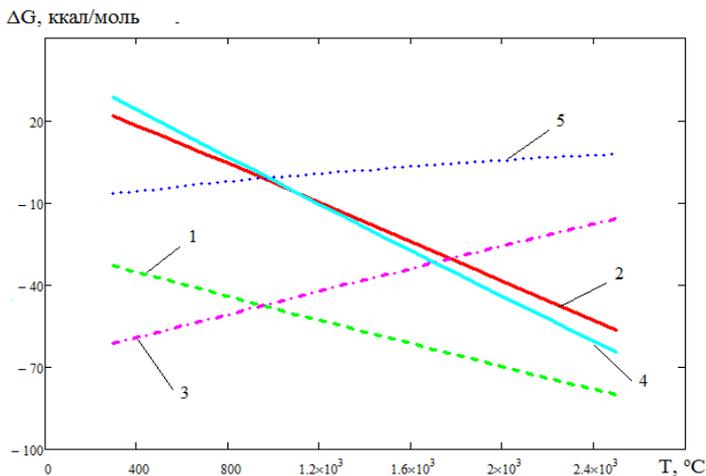


Рисунок 1 - Зависимость энергии Гиббса от температуры для реакций: 1 - $\text{C} + (1/2)\text{O}_2 = \text{CO}$; 2 - $\text{C} + \text{H}_2\text{O}_{(r)} = \text{CO} + \text{H}_2$; 3 - $\text{CO} + (1/2)\text{O}_2 = \text{CO}_2$; 4 - $\text{C} + \text{CO}_2 = 2\text{CO}$; 5 - $\text{CO} + \text{H}_2\text{O}_{(r)} = \text{CO}_2 + \text{H}_2$

Проведен выбор основных реакций, протекающих в ходе процесса карбидообразования. Учет теплоты химических реакций позволит получить более точные численные расчеты температурного поля.

Библиографический список

1. Полубелова, А. С. Производство абразивных материалов / А. С. Полубелова, В. Н. Крылов, В. В. Карлин, И. С. Ефимова. – Ленинград: Машиностроение, 1968. – 180 с.

А.А. Графчикова, А.А. Загаринская, О.А. Ильина, студ.;
рук. И.П. Игошин, к.ф.-м.н., доц., Е.В. Зайцева, к.т.н., доц.,
(ИГЭУ, г.Иваново)

КОМПАКТНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ПОРИСТЫХ СРЕД

Предлагаемая экспериментальная установка предназначена для измерений коэффициента проницаемости при фильтрации жидкости в пористой среде. Основные элементы установки и их коммутация изображены на Рис.1. Исследуемая жидкость заливается в резервуар 1, из которого она вытекает через капельницу 2 при освобожденном зажиме 3. В исследуемый объект 4, на определенную глубину (l), вставляется медицинская игла для биопсии 5, внутренний канал которой заполняется веществом исследуемой среды. В результате получается фильтрующий объем цилиндрической формы. Площадь поперечного сечения объема определяется внутренним диаметром иглы, а его длина регулируется глубиной (l) Резервуар с капельницей устанавливается выше положения иглы, так чтобы началось проникновение жидкости в исследуемую среду. Высота уровня жидкости в капельнице (H) во время эксперимента остается постоянной и измеряется линейкой 6.

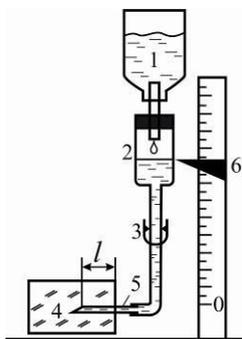


Рисунок 1 - Структурная схема экспериментальной установки.

Для вычисления коэффициента проницаемости k используется формула, полученная из линейного закона фильтрации Дарси.

$$k = \frac{\nu(nV)^2}{gS^2Ht},$$

где: ν – кинематическая вязкость жидкости, n – количество капель за время t , V – объем капли g – ускорение свободного падения, S – площадь поперечного сечения внутреннего канала иглы, H – высота уровня жидкости в капельнице.

СЕКЦИЯ 4

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
ТЕПЛОТЕХНИКИ**

Председатель –

д.т.н., доцент **Бушуев Е.Н.**

Секретарь –

к.т.н., доцент **Корочкина Е.Е.**

*Н.В. Бондарева, асп.; рук. А.А. Базаров, д.т.н., доц.
(СамГТУ, г. Самара)*

СИСТЕМА ПОДОГРЕВА КЛИНОВЫХ ЗАДВИЖЕК НА МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДАХ

Запорная арматура – неотъемлемая часть магистральных трубопроводов. При эксплуатации системы важна безотказность и эффективность работы клиновых задвижек. В зимнее время года задвижки деформируются в результате перепадов температуры, что приводит у некоторых типов к заклиниванию и невозможности их открытия. Это снижает надежность работы оборудования и оперативность подачи нефтепродуктов по трубопроводу. Для решения проблемы термонапряжений и деформации клиновых задвижек предлагается использовать индукционный нагрев.

Сложная по форме конструкция запорной арматуры затрудняет процессы анализа тепловых процессов в системе «задвижка – жидкость – окружающая среда». Процесс теплообмена описывается взаимосвязанной системой уравнений Максвелла и Фурье для электромагнитных и тепловых полей соответственно. Исследования термонапряжений и определение параметров индукционного нагревателя проводятся в компьютерной модели в среде Comsol [1, 2].

На первом этапе моделируется распределение температуры и тепловых деформаций, для расчета напряжений по поверхности клина задвижки. Возникающая сила сжатия клина со стороны седла учитывается при расчете тягового усилия привода. Вторым этапом определяется мощность нагрева, требуемая для устранения последствий возникших напряжений. При проектировании индукционных нагревателей учитывается ограничение мощности, накладываемое системой электроснабжения. Все это не позволяет применять индукционные нагревательные системы простых форм, и требует дополнительных исследований при разработке конструкции нагревателя. В модели отражается нелинейное распределение мощности и сложный характер энергообмена. Результаты расчета в виде функции распределения внутренних источников тепла положены в основу определения параметров индукционной нагревательной системы.

Библиографический список

1. Анкудинов В.Е. Компьютерное моделирование процессов переноса и деформации в сплошных средах. Ижевск: Удмуртский университет, 2014. –108 с.
2. Потапов Л.А. Comsol Multiphysics: Моделирование электромеханических устройств. Брянск: БГТУ, 2011. -112 с.

Д.А. Онохин, асп.; рук. С.В. Карнов, д.т.н., проф.
(С(А)ФУ им. М.В. Ломоносова, г. Архангельск)

ТЕПЛОТДАЧА ЗАГОТОВКИ В ОТНОСИТЕЛЬНО ДЛИННЫХ ЦИКЛОННЫХ КАМЕРАХ

Закрученные потоки теплоносителей позволяют существенно интенсифицировать теплоотдачу на поверхности заготовок в промышленных установках, повысить их производительность [1]. Для достижения этой цели актуальным является использование циклонных камер с большой относительной длиной рабочего объема $\bar{L}_k = L_k/D_k$ (D_k – диаметр рабочего объема), аэродинамика и конвективный теплообмен в которых исследованы недостаточно. Теплоотдача исследована при помощи датчиков теплового потока [2].

Установлено, что из геометрических характеристик наибольшее влияние на теплоотдачу оказывают безразмерная площадь входа потока $\bar{f}_{вх} = 4f_{вх}/\pi D^2$ и диаметр заготовки $\bar{d}_3 = d_3/D_k$. С погрешностью, не превышающей $\pm 11\%$, получены критериальные уравнения для теплоотдачи на поверхности заготовки:

$$\text{при } 9,6 \cdot 10^4 \leq \text{Re}_{вх} \leq 1,58 \cdot 10^5$$

$$\text{Nu} = 0,29 \text{Re}_{вх}^{0,57} \bar{f}_{вх}^{0,4} \bar{d}_{ввых}^{-0,64} \bar{d}_3^{-0,3} \bar{z}^{-0,1}; \quad (1)$$

$$\text{при } 1,58 \cdot 10^5 \leq \text{Re}_{вх} \leq 1,132 \cdot 10^6$$

$$\text{Nu} = 0,06 \text{Re}_{вх}^{0,7} \bar{f}_{вх}^{0,4} \bar{d}_{ввых}^{-0,64} \bar{d}_3^{-0,3} \bar{z}^{-0,1}, \quad (2)$$

где $\text{Nu} = \alpha d_3/\lambda$ – местное число Нуссельта; α – местный коэффициент теплоотдачи; λ – коэффициент теплопроводности; $\text{Re}_{вх} = V_{вх} d_3/\nu$; $V_{вх}$ – скорость потока во входных каналах; ν – кинематический коэффициент вязкости; $\bar{d}_{ввых}$, – безразмерный диаметр выходного отверстия; $\bar{z} = z/D_k$ – относительная продольная координата, отсчитываемая от глухого торца камеры вдоль оси рабочего объема.

Уравнения (1)–(2) применимы в диапазоне $\text{Re}_{вх} = (0,96 \dots 11,32) \cdot 10^5$ при $\bar{L}_k = 12,5$; $\bar{f}_{вх} = 0,04 \dots 0,21$; $\bar{d}_{ввых} = 0,43 \dots 1,0$; $\bar{d}_3 = 0,31 \dots 0,69$ и могут быть рекомендованы для проектирования циклонных печей, рекуператоров-теплоутилизаторов, воздухоподогревателей.

Библиографический список

1. **Сабуров Э.Н.** Циклонные нагревательные устройства с интенсифицированным конвективным теплообменом. Архангельск: Сев.-Зап. кн. изд-во, 1995. –341 с.
2. **Онохин Д.А., Сабуров Э.Н., Орехов А.Н.** Исследование теплоотдачи относительно длинной циклонной камеры при использовании градиентных датчиков теплового потока // Современ. проблемы теплофизики и энергетики: Мат. Междунар. конф.: в 2 т. М.: Изд. дом МЭИ, 2017. Т. 1. С. 191–192.

*В.А. Рязанцев, студ., А.Р. Забиров, к.т.н., с.н.с.;
рук. В.В. Ягов, д.т.н., проф.
(НИУ МЭИ, г. Москва)*

ТЕПЛООБМЕН ПРИ ПЛЁНОЧНОМ КИПЕНИИ НЕДОГРЕТЫХ СМЕСЕЙ ВОДА-ЭТАНОЛ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Интенсификация процесса кипения при высоких температурах поверхностей является важной прикладной задачей. Известно, что с помощью пузырькового кипения возможно отводить огромные тепловые потоки при невысоких температурных напорах [1]. Однако при высоких температурах стенки как правило наблюдается пленочное кипение, которое характеризуется низкими значениями КТО.

Наличие необычного режима, наблюдаемого на воде, подтолкнуло к проведению серии экспериментов по изучению пленочного кипения водного раствора этанола разного состава. Данная работа посвящена исследованию влияния давления, концентрации и температуры жидкости на интенсивность теплоотдачи при нестационарном пленочном кипении водных растворов этанола различной концентрации (от 91 до 60 %). В экспериментах использовался шар из нержавеющей стали диаметром 39 мм, оснащенный тремя термодатчиками. Давление варьировалось от 0,1 до 0,7 МПа. Температура жидкости изменялась от 10 до 50 °С.

Результаты экспериментов продемонстрировали сильное влияние недогрева на характер охлаждения. С увеличением величины недогрева растет как интенсивность теплоотдачи при устойчивом пленочном кипении, так и температура перехода к интенсивному режиму охлаждения. При некоторых условиях, эта температура превышает критическую температуру смеси. При увеличении давления процесс охлаждения протекает быстрее, вследствие повышения температуры недогрева.

Работа выполнена на кафедре инженерной теплофизики им. В.А. Кириллина НИУ «МЭИ» при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (грант №17-79-20402).

Библиографический список

1. **Ягов, В.В.** Теплообмен в однофазных средах и при фазовых превращениях / В.В. Ягов // М.: Издательский дом МЭИ, 2014. –542 с.

Н.И. Аверин, И.И. Светушков студ.;
рук. В.В. Бухмиров, д.т.н., проф., А.К. Гаськов, асс.
(ИГЭУ, г. Иваново)

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ И ТЕРМОУПРУГОСТИ В COMSOL MULTIPHYSICS

Для решения задач прикладной физики (механики, тепломассообмена, гидродинамики и т.п.) в программно-вычислительном комплексе (ПВК) Comsol Multiphysics используется численный метод конечных элементов. Большим преимуществом этой программы является возможность решения сопряжённых задач, относящихся к разным разделам физики, в рамках одного исследования [1].

В ПВК Comsol Multiphysics разработана математическая модель нестационарной теплопроводности в телах классической формы: бесконечной пластине, неограниченном цилиндре и шаре. Выполнен расчёт температурных полей в телах простой (классической) формы для трех групп материалов (стали углеродистые и легированные, огнеупоры и тепловая изоляция разного состава) при граничных условиях первого, второго и третьего родов [2]. В ПВК Comsol Multiphysics также получено решение несвязанной квазистатической задачи термоупругости на базе численного решения нестационарной теплопроводности в телах простой формы. Адекватность разработанной математической модели нестационарной теплопроводности и термоупругости проверена путем сравнения с известными аналитическими решениями и решениями методом сеток [3].

Информация о температурных полях и термических напряжениях позволила сформировать базу исходных данных для выполнения лабораторной работы «Математическое моделирование процессов теплообмена» по курсу ТМО для магистрантов по направлению 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» на кафедре ТОТ ИГЭУ.

Библиографический список

1. Сайт компании разработчика пакета COMSOL Multiphysics. [Электронный ресурс]./www.comsol.ru. Режим доступа: <http://www.comsol.ru/>, свободный.
2. **Бухмиров, В.В.** Тепломассообмен: Учеб. пособие / В.В. Бухмиров // ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2014. –360 с.
3. **Бухмиров, В.В.** Исследование процесса нестационарной теплопроводности и термонапряжённого состояния твёрдых тел на численной математической модели: метод. указания / В.В. Бухмиров, Т.Е. Созинова, С.В. Носова, К.Б. Никитин / ИГЭУ. – Иваново, 2003. –40 с.

*А.И. Бакин студ.; рук. И.М. Чухин к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

КОМБИНИРОВАННАЯ УСТАНОВКА С ПАРОГАЗОВЫМ И ХОЛОДИЛЬНЫМ ЦИКЛАМИ

В работе представлен анализ тепловой экономичности парогазовой установки (ПГУ) с котлом-утилизатором (КУ) и встроенной в него холодильной установкой (ХУ) [1].

Выполнены расчеты трех вариантов подключения ХУ в схему ПГУ с КУ. Во всех вариантах теплота охладителя ХУ полезно используется в тепловом потребителе. Параметры всех трех рабочих тел оптимизируются с учетом температуры наружного воздуха. В качестве исходных данных используются следующие величины: для ГТУ – температура воздуха перед компрессором, температура газов перед газовой турбиной, степень повышения давления воздуха в компрессоре (в ходе расчета оптимизируется), адиабатный коэффициент компрессора, внутренний относительный КПД газовой турбины; для ПТУ – давление пара перед турбиной (выбирается с учетом $x_{ki} \geq 0,88$), температура пара перед ПТУ (выбирается с учетом $\Delta t \geq 90$ °С относительно греющих газов и нагреваемого водяного пара), давление в конденсаторе турбины ПТУ, внутренний относительный КПД паровой турбины, адиабатный коэффициент насоса; для ХУ – рабочее тело фреон 22 или аммиак, температура в холодильной камере, температура хладагента на выходе из охладителя, адиабатный коэффициент компрессора, степень повышения давления хладагента в компрессоре (выбирается как температура насыщения для давлений на входе и выходе из компрессора).

Пример расчета показателей тепловой экономичности комбинированная установка с парогазовым и холодильным циклами (КПГХУ) при расходе пара на паровую турбину 100 кг/с представлен в табл. 1.

Таблица 1 – Результаты расчета КПГХУ (вариант №1)

$W_{пгу}$, МВт	$W_{ку}$, МВт	$W_{хху}$, МВт	$Q_{гп}$, МВт	$Q_{хп}$, МВт	Q_1 , МВт	η_i , %	η_Q , %	$\eta_{пгу}$, %
104,44	189,76	0,311	18,201	1,914	623,14	47,16	50,39	47,21

Таким образом, по сравнению с ПГУ КПГХУ позволяет увеличить тепловую экономичность на 3 % и дополнительно получить 6,19 % теплоты потребителю и 0,65 % холода от мощности ПГУ.

Библиографический список

1. Чухин, И.М. Техническая термодинамика: учебное пособие / И.М. Чухин // ГОУВПО "Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина". –Иваново:, 2008. Ч. 2. –2008. –228 с.

И.А. Быкова, В.А. Садертинова студ.;
рук. Д.В. Ракутина к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ЭКСЕРГЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОСТОГО ЦИКЛА ПАРОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ

Наиболее распространенным методом анализа цикла паротурбинной установки (ПТУ) является метод энергетического баланса, основанный на первом законе термодинамики. Существенный недостаток этого метода в том, что он не учитывает качество энергии, т.е. ее практическую пригодность для дальнейшего использования. Полностью оценить эффективность термодинамического процесса позволяет метод эксергетического баланса, учитывающий первый и второй законы термодинамики. Эксергетический анализ позволяет оценить степень совершенства термодинамической системы, а также определить источники наибольших потерь и способы их уменьшения.

В таблице 1 представлены результаты расчета потерь энергии и эксергии в простом цикле ПТУ. Энергетические и эксергетические параметры цикла рассчитаны при давлении пара на выходе из парогенератора 13 МПа, температуре пара 550 °С, давлении пара в конденсаторе 4 кПа и КПД парового котла 91 %. Температура окружающей среды 10 °С, давление 0,1 МПа.

Таблица 1 – Потери энергии и эксергии в простом цикле ПТУ

Наименование	Потери энергии, %	Потери эксергии, %
Парогенератор	9,0	56,9
Паровая турбина	–	4,5
Питательный насос	–	0,1
Конденсатор	56,0	3,5
Полезная работа	35,0 %	

Анализ данных, представленных в таблице 1, показал, что при одном и том же энергетическом и эксергетическом КПД цикла (35 %) основные потери энергии приходятся на конденсатор, а эксергии на парогенератор. В конденсаторе теряется 56 % энергии, тогда как потери эксергии составляют всего 3,5 %. Это объясняется тем, что в конденсаторе процесс отвода теплоты происходит при температурах близких к температуре окружающей среды, т.е. это потери низкопотенциальной теплоты. Таким образом, несмотря на высокий энергетический КПД (91 %), парогенератор обладает наибольшим потенциалом для повышения эффективности его работы.

*С.А. Воронин, Д.А. Малофеев студ.; рук. Д.В. Ракутина к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОКЛИМАТА В ДОШКОЛЬНОМ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ УЧРЕЖДЕНИИ

Параметры микроклимата в дошкольных образовательных учреждениях регламентируются СанПиН 2.4.1.3049-13. Согласно данному нормативному документу температура воздуха в игровых помещениях должна быть не ниже 21 °С, а в спальне и в музыкальном зале – не ниже 19 °С. Рекомендуемая относительная влажность воздуха 40 ÷ 60 %.

Инструментальное исследование проведено в 12 группах МБДОУ «Детский сад № 194» г. Иванова. В процессе обследования были измерены температура и относительная влажность воздуха, а также температуры стен, пола, потолка и радиаторов. Температуру и влажность воздуха определяли метеометром МЭС-200А, а температуры поверхностей – инфракрасным пирометром Fluke 566. Абсолютная погрешность измерения температуры составила ± 0,2 °С, относительной влажности ± 3 %.

Инструментальное обследование проведено в нерабочий день при температуре наружного воздуха –7 °С. Результаты измерений представлены в таблице 1. Установлено, что на 1 этаже температура воздуха близка к нормативным значениям. При этом на трех группах из пяти, расположенных на первом этаже, оборудованы водяные теплые полы. На втором этаже температура воздуха во всех помещениях ниже нормативной на 1 ÷ 3 °С.

Таблица 1 – Результаты измерения температуры

№ этажа	Температура, °С				
	воздуха	стен	пола	потолка	радиаторов
1 этаж	19 ÷ 22	15 ÷ 18	17 ÷ 27	19 ÷ 22	46 ÷ 57
2 этаж	18 ÷ 19	12 ÷ 15	16 ÷ 19	16 ÷ 19	36 ÷ 57

Как показало обследование, в группах с самой низкой температурой наблюдается сильная инфильтрация наружного воздуха через оконные проемы, а большинство радиаторов закрыто сплошными деревянными экранами, что значительно уменьшает теплоотдачу. Низкая температура поверхности радиаторов на втором этаже свидетельствует об их загрязнении. По результатам проведённых исследований даны рекомендации по улучшению параметров микроклимата, а также выполнен расчет нормативного теплопотребления дошкольного образовательного учреждения.

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

МЕТОДИКА ТЕПЛООВОГО РАСЧЕТА БИОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ

В настоящее время для утилизации органических отходов широко применяют биогазовые установки, в которых во время метаногенеза в субстрате развивается микрофлора, разрушающая органические вещества до простейших кислот, а последние под действием метанобразующих бактерий преобразуются в метан и углекислоту. Для повышения энергетической эффективности, в которой до 60 % выделяющегося биогаза используется установкой на собственные нужды [1], необходимо разрабатывать новые методы расчета, максимально учитывающие особенности процесса получения биогаза. Для теплового расчета биогазовой установки разработана методика, основанная на уравнении теплового баланса, в котором затраты теплоты на собственные нужды равны:

$$Q_{\text{общ}} = Q_{\text{наг}} + Q_{\text{мех}} + Q_{\text{пот}}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{наг}}$ – количество теплоты, требуемое для нагрева загружаемой массы отходов до температуры брожения, МДж/сут; $Q_{\text{мех}}$ – затраты энергии на механическое перемешивание, МДж/сут; $Q_{\text{пот}}$ – тепловые потери метантенка, МДж/сут.

Рассмотрены четыре группы исходного сырья: органические отходы крупного рогатого скота (КРС), растительное сырье, некачественные продукты питания и твердые коммунальные отходы. Расчет произведен на примере установки "Эко-Вольт-Агро" г. Оренбург [2]. Основные результаты выполненного расчета представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Влажность сырья и выход биогаза из разных видов субстратов

Характеристика	КРС	Травяной силос	Старый хлеб	Бумага
Выход биогаза, м ³ /т	90	208	482	190
Влажность сырья, %	87	65	13	6

Анализ таблицы показывает, что эффективность извлечения энергии биомассы в процессах анаэробного сбраживания главным образом зависит от состава исходного сырья.

Библиографический список

1. Ковалев, А.А. Возможные пути повышения энергетической эффективности биогазовой установки / А.А.Ковалев, Д.А.Ковалев // Вестник ВНИИМЖ, №4(8), 2012. –С. 36–40
2. Бухмиров, В.В. Биоэнергетическая станция "ЭкоВольтАгро" для переработки органических отходов / В.В. Бухмиров, Н.Ф. Кокарев, А.В. Садчиков // Агротехника и энергообеспечение. 2018. № 1 (18). –С. 60–69.

*Е.Д. Евланова, М.С. Карнаев, К.А. Лихачева, студ.;
рук. М.В. Пророкова, к.т.н.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ РЕКУПЕРАТИВНЫХ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ

Основными требованиями при проектировании теплообменных аппаратов являются обеспечение максимальной теплопередачи от горячего теплоносителя к холодному при наименьшем гидравлическом сопротивлении, а также компактность устройств, надежность и герметичность.

В работе предложен алгоритм гидравлического расчета теплообменных аппаратов трех типов (пластинчатых, кожухотрубных и секционных типа «труба в трубе») для оптимизации режимных параметров в целях сокращения потерь давления.

Целью гидравлического расчета теплообменника является определение затрат механической энергии на перемещение теплоносителя в аппарате с учетом сопротивления трению, местных сопротивлений, а также сопротивления из-за изменения направления его движения и теплового сопротивления, возникающего при изменении скорости текучей среды при ее расширении или сжатии в аппарате [1, 2].

Алгоритм гидравлического расчета рекуперативных теплообменников был автоматизирован в среде Microsoft Office Excel.

Разработанная авторская программа позволяет при известных скоростях теплоносителей и геометрических размерах теплообменного аппарата рассчитать потери давления и определить требуемую мощность для выбора насосного оборудования. В вычислительной программе приведены также справочные таблицы физических свойств теплоносителей и гидравлических коэффициентов трения и местного сопротивления в электронном виде.

Разработанный программный продукт позволит существенно уменьшить затраты на выполнение гидравлического расчета рекуператоров, как на этапе проектирования так и при выполнении поверочных расчетов при их эксплуатации.

Библиографический список

1. **Михайленко, Е.В.** Тепловой и гидравлический расчет теплообменного аппарата / Е.В. Михайленко. – Ухта: УГТУ, 2013. – 36 с.
2. **Губарева, В.В.** Проектирование трубчатых рекуперативных теплообменных аппаратов / В.В. Губарева. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2014. – 59 с.

*И.П. Кокулин, студ.; рук. Е.Е. Корочкина, к.т.н., доцент
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗМЕЩЕНИЯ ТЕПЛОЫДЕЛЯЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ РЭА ДЛЯ МИНИМИЗАЦИИ ИХ ТЕПЛООВОГО ВЛИЯНИЯ ДРУГ НА ДРУГА

Данная работа посвящена оптимизации размещения тепловыделяющих элементов радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) и оценке их друг на друга в зависимости от их размещения. Это позволит уменьшить перегревы элементов и повысить надежность функционирования аппаратуры, а так же уменьшить расходы на функционирование системы охлаждения [1].

Для оценки величины перегрева была создана тепловая модель, состоящая из четырех процессоров. Проведено моделирование температурного поля каждого процессора и результирующего температурного поля этих объектов, расположенных на различных расстояниях друг от друга средствами программного комплекса COMSOL Multifisics [2].

Численное моделирование температурных полей было проведено для процессоров электронных устройств – Intel Core i3, Intel Core i5, Intel Core i7. На первом этапе было выполнено твердотельное моделирование объекта исследования – четырех процессоров, расположенных в замкнутом объеме корпуса. Расчеты были проведены для процессоров, находящихся на расстоянии 10, 20, 30 и 40 мм друг от друга. Получены графические зависимости изменения температурного поля между процессорами, расположенными на различных расстояниях.

Результаты вычислительного эксперимента и графические зависимости изменения температур между процессорами позволяют определить наиболее оптимальное расстояние между процессорами и провести оптимизацию компоновки управляющей электронной аппаратуры в зависимости от интенсивности работы оборудования и целей его применения.

Библиографический список

1. **Корочкина, Е.Е.** Моделирование теплового режима микропроцессорной аппаратуры тканепечатного агрегата / Е.Е. Корочкина, М.А. Корнилов // Известия Вузов. Технология текстильной промышленности. 2013. №2. –С.135-138.
2. Сайт компании разработчика пакета COMSOL Multiphysics. [Электронный ресурс]./www.comsol.ru. Режим доступа: <http://www.comsol.ru/>, свободный.

*К.А. Комаров, М.Д. Калинин студ.; А.К. Гаськов, асп.;
рук. В.В. Бухмиров, д.т.н., проф., Т.Е. Созинова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕГРАЛЬНОЙ СТЕПЕНИ ЧЕРНОТЫ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ КРАСКИ

Расчет лучистого теплообмена требует задания радиационных характеристик тел, наиболее востребованной из которых является интегральная степень черноты [1].

Целью данной работы является определение интегральной степени черноты энергосберегающей краски, созданной на основе полых стеклянных микросфер в связующем из стирол-акриловой дисперсии. Исследования проводились на экспериментальной установке, которая представляет собой плоский электронагреватель с регулятором мощности, на поверхность которого был нанесён слой энергосберегающей краски [2]. Регулятором мощности нагревателя можно изменять температуру поверхности слоя энергосберегающей краски в широком диапазоне значений. Выполнена серия экспериментов при различных значениях мощности электронагревателя, в ходе проведения которых была измерена температура поверхности энергосберегающей краски при помощи трёх хромель-копелевых термопар, подключенных к вторичному преобразователю «Овен-УКТ38». Температура поверхности энергосберегающей краски была также измерена пирометром «Fluke 566» и его выносным контактным зондом. Для качественного контроля измеренной температуры поверхности слоя краски контактным и бесконтактным методом был применен тепловизор «Testo 882». Степень черноты поверхности слоя энергосберегающей краски для каждого опыта рассчитывалась по известным из теории теплового излучения формулам [3]. В результате обработки экспериментальных данных получена зависимость степени черноты поверхности энергосберегающей краски от температуры в диапазоне температур $30 \div 200$ °С.

Библиографический список

1. **Бухмиров, В.В.** Тепломассообмен: учебное пособие для бакалавров / В.В. Бухмиров; ФГБОУВПО "Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина". –Иваново:, 2014. –360 с.
2. **Комаров, К.А.** Лабораторный стенд для определения интегральной степени черноты твердых поверхностей / К.А. Комаров, А.Д. Константинов, Т.Е. Созинова/ Энергия-2018. XIII междунар. науч.-техн. конф.: материалы конф.: Т.1. – Иваново: ИГЭУ, 2018. –С. 59.
3. **Исаченко, В.П.** Теплопередача: учеб. для вузов / В.П. Исаченко, В.А. Осипов, А.С. Сукомел / М.: Энергия. 1975. –488 с.

*К.А. Комаров, М.Д. Калинин студ.;
рук. В.В. Бухмиров, д.т.н., проф., А.К. Гаскков, асп.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ КРАСКИ

Коэффициент теплопроводности характеризует способность тела проводить тепло и является одной из основных теплофизических величин, используемых при решении задач теплообмена [1].

Целью данной работы является определение коэффициента теплопроводности энергосберегающей краски, созданной на основе полых стеклянных микросфер в связующем материале из стирол-акриловой дисперсии с массовым содержанием микросфер в композиции ~30%. Эксперименты выполнены на опытном стенде, который представляет собой плоский электрический нагреватель с регулятором мощности, на поверхность которого при помощи двух направляющих-кондукторов был нанесён слой энергосберегающей краски толщиной 3 мм. Регулятором мощности нагревателя можно изменять температуру внутренней и наружной поверхности слоя энергосберегающей краски в широком диапазоне значений. Выполнена серия экспериментов при различных значениях мощности электронагревателя, в ходе проведения которых были измерены температуры внутренней и наружной поверхности слоя энергосберегающей краски при помощи шести хромель-копелевых термопар, подключенных к вторичному преобразователю «Овен-УКТ38», и плотность теплового потока, проходящего через слой энергосберегающей краски измерителем плотности тепловых потоков ИТП-МГ4.03/Х(1) «Поток» в стационарном режиме теплопроводности. Коэффициент теплопроводности энергосберегающей краски рассчитан по известным формулам теории теплопроводности для стационарного режима [2]. В результате обработки экспериментальных данных получена зависимость коэффициента теплопроводности энергосберегающей краски от температуры в диапазоне температур 30÷200°С.

Библиографический список

1. **Бухмиров, В.В.** Тепломассообмен: Учеб. пособие / В.В. Бухмиров // ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2014. –360 с.
2. **Исаченко, В.П.** Теплопередача: учеб. для вузов / В.П. Исаченко, В.А. Осипов, А.С. Сукомел / М.: Энергия. 1975. –488 с.

*Д.С. Михайлова, студ.; рук. Т.Е. Созинова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРЕПОДАВАНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ «ТЕПЛОМАССОБМЕН»

Развитие, происходящее в системе образования, ведет к формированию новых идеологий и методик объяснения материала. Инновационные технологии обучения следует рассматривать как инструмент, с помощью которого новая образовательная система может быть понятна и ясна для студента. Сущность такого обучения состоит в ориентации учебного процесса на потенциальные возможности студента и их реализацию.

На смену послушанию, повторению, подражанию приходят новые требования: умение видеть проблемы, спокойно принимать их и самостоятельно решать.

Изменились требования к современной личности: государству требуются грамотные, компетентные, креативные, умеющие быстро переобучаться и принимать решения, мобильные, конкурентно-способные граждане. Сейчас информация обновляется со скоростью света, студенту важно не потеряться в этом обилии, бурном потоке постоянно меняющейся информации, быть готовым осваивать её, ориентироваться в ней.

Целью и конечным итогом данной работы является представление материала дисциплины «Тепломассообмен» в виде удобной, информативной, понятной для студентов презентации. Отметим, что дисциплина «Тепломассообмен» является базовым курсом для студентов, обучающихся по профилям направления «Теплоэнергетика и теплотехника» и другим теплоэнергетическим направлениям.

В основе презентации лежит материал основного учебника для студентов теплоэнергетических профилей Ивановского государственного энергетического университета [1]. Презентация сделана в программе Microsoft PowerPoint. Теоретический материал сопровождаются яркими иллюстрациями, анимация и другие возможности данной программы.

Библиографический список

1. **Бухмиров В.В.** Тепломассообмен: Учеб. пособие / В.В. Бухмиров // ФГБОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2014. –360 с.

М.В. Пророкова, к.т.н.; рук. В.В. Бухмиров, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДА ОЦЕНКИ КОМФОРТНОСТИ МИКРОКЛИМАТА

Создание комфортного микроклимата – актуальная задача при создании энергоэффективной и безопасной для человека среды.

В работе рассматривается метод определения комфортных для человека характеристик внутренней среды, основанный на расчете составляющих уравнения теплового баланса человека в помещении с введением поправки на асимметрию тепловых потоков, радиационное охлаждение и качество воздушной среды (содержание углекислого газа в воздухе обслуживаемой зоны помещений). Метод реализован в виде компьютерной программы. Для оперативной оценки комфортности микроклимата при проведении инструментального обследования объекта и при отсутствии вычислительной техники разработан комплект номограмм для нескольких видов деятельности человека (офисная работа, отдых, учеба). Пример номограмм приведен на рис. 1 и 2.

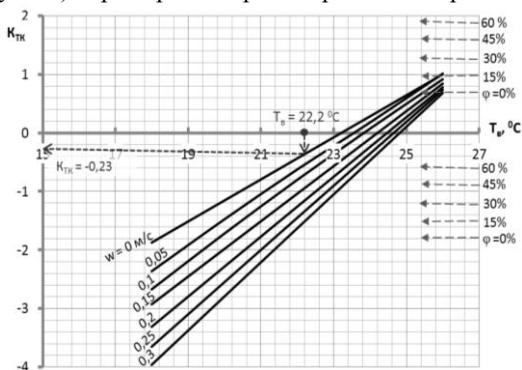


Рисунок 1 - Номограмма для оценки теплового комфорта ($K_{ТК}$) в зависимости от температуры (T_v), относительной влажности (ϕ) и подвижности воздуха (w)

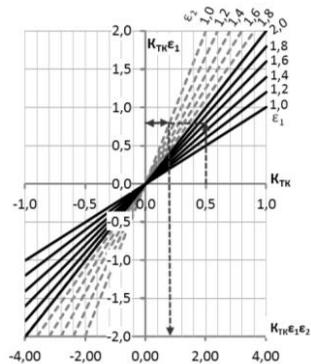


Рисунок 2 - Номограмма для учета поправок на асимметрию тепловых потоков (ϵ_1) и радиационное охлаждение (ϵ_2)

На рис. 1 штриховой линией показан пример определения коэффициента теплового комфорта человека в офисном помещении при известной температуре воздуха (22,2 °C), подвижности воздуха (0 м/с) и относительной влажности (30 %).

Использование номограмм позволяет оперативно выполнить оценку комфортности микроклимата в помещении, а также выбрать комфортные для человека параметры внутренней среды в зависимости от назначения помещения и вида выполняемой работы.

*Д.С. Филатьев, студ.; рук. Е.Е. Корочкина, к.т.н., доцент
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА ОХЛАДИТЕЛЬНОЙ ВОЗДУШНОЙ КАМЕРЫ ДЛЯ КАЛАНДРОВОЙ ЛИНИИ

В настоящее время на предприятии АО «Ивановоискож» действует централизованная система оборотной воды для охлаждения каландровой линии. Данная система функционирует длительное время и довольно часто выходит из строя в результате недостаточно эффективного охлаждения. Основной причиной поиска новых решений по охлаждению продукции является ненадежность существующей централизованной системы, так как при выходе из строя любого элемента перестает функционировать весь охладительный комплекс, а следовательно все оборудование предприятия. Выход из создавшейся ситуации возможен путем создания локальных систем охлаждения для каждой технологической линии.

Модернизируемая каландровая линия оснащена системой водяного централизованного охлаждения, что не всегда удобно. Авторами предлагается локальная система воздушного охлаждения, а именно, охладительную камеру для каландровой линии, которая заменит систему водяного охлаждения. Была разработана модель воздушного охлаждения материала конвективным путем. Для нахождения наиболее оптимального варианта было проведено моделирование нескольких вариантов конструкций камер охлаждения и расположения блоков кондиционеров. Интенсивность обдува материала зависит и от заданной траектории движения воздуха.

В процессе проектирования были определены: выделяемая тепловая мощность материалом и длина заправки материала в камеру. Проведено сравнение эффективности воздушного и водяного охлаждения. Температурное поле материала в процессе охлаждения приведено на рис. 1.

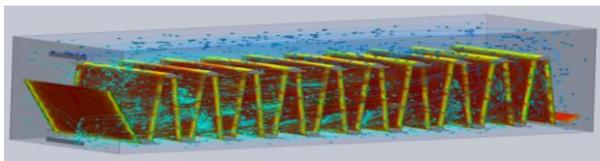


Рисунок 1 - Температурное поле материала

Предлагаемое техническое решение позволит улучшить систему охлаждения каландровой линии в жаркий период года, когда мощности градирни предприятия не хватает.

*И.А. Чернов студ.; рук. И.М. Чухин к.т.н., доц.
(ИГЭУ г. Иваново)*

ОСВОЕНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ НА ЭВМ «АНАЛИЗ ТЕПЛОВОЙ ЭКОНОМИЧНОСТИ ЦИКЛА ПГУ С КОТЛОМ-УТИЛИЗАТОРОМ»

Освоение новой лабораторной работы «Анализ тепловой экономичности цикла парогазовой установки с котлом-утилизатором» включает практическое тестирование данной работы перед ее вводом в учебный процесс по дисциплине «Техническая термодинамика» для студентов ТЭФ и ИФФ ИГЭУ.

Выполнение работы осуществляется на ЭВМ по специальной программе. Тепловая экономичность цикла парогазовой установки с котлом-утилизатором (ПГУ с КУ) зависит от большого числа факторов: температур рабочего тела на входе в компрессор и перед газовой турбиной, степени повышения давления газов в компрессоре, необратимостей в адиабатных процессах сжатия в компрессоре и расширения рабочего тела в турбине, давления и температуры пара на входе в паровую турбину и т.п. Использование ЭВМ позволяет быстро осуществить вариантные расчеты показателей термодинамической эффективности ПГУ с КУ в широком диапазоне изменения вышеперечисленных величин. На основании этих расчетов проводится анализ тепловой экономичности цикла ПГУ с КУ в зависимости от конкретных величин (12 типов постановочных задач) и делаются выводы по выбору оптимальных параметров рабочего тела ПГУ с КУ.

Пример вариантов исходных данных для расчета ПГУ с КУ представлен в табл. 1.

Таблица 1 – Исходные данные для выполнения расчетов цикла ПГУ

Вариант	$\eta_{гр}$	$\eta_{пг}$	$t_1, ^\circ\text{C}$	$t_3, ^\circ\text{C}$	η_k	$\eta_{гр}$
1	0,88	0,86	0	900	0,85	0,88
2	0,89	0,87	0	950	0,86	0,87

Пример результатов расчета оптимальных параметров рабочих тел ПГУ с КУ представлен в табл. 2.

Таблица 2 – Данные расчета цикла ПГУ при $t_1=0 ^\circ\text{C}$, $t_3=900 ^\circ\text{C}$ и $t_3=950 ^\circ\text{C}$, $x_k \geq 0,88$

v	$t_3, ^\circ\text{C}$	$t_{4is}, ^\circ\text{C}$	$t_0, ^\circ\text{C}$	$p_0, \text{бар}$	d_r	$I_{пгу}, \text{кДж/кг}$	$\text{КПД}_{пгу}$
8	900	442,8	340	6,1	9,93	2724,3	0,427
8	950	473,3	370	7,5	9,20	2812,7	0,4413

Библиографический список

1. **Чухин, И.М.** Анализ тепловой экономичности циклов ПГУ с КУ: методические указания к выполнению лабораторной работы на ЭВМ по курсу «Техническая термодинамика» / И.М. Чухин // ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2019. –32 с.

СЕКЦИЯ 5

ПРОМЫШЛЕННАЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

Председатель –
к.т.н., доцент **Банников А.В.**

Секретарь –
доцент **Смирнов Н.Н.**

*Е.В. Гарнышова, студ.; рук. Е.В. Измайлова, к.т.н., доц.
(КГЭУ, г. Казань)*

КОНТРОЛЬ ТОЛЩИНЫ ОТЛОЖЕНИЙ ТЕПЛООБМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ И СПОСОБЫ ЕГО ОЧИСТКИ

Одной из проблем эксплуатации теплообменного оборудования (ТО) является образования слоя накипи на стенках трубок, что снижает эксплуатационные качества и повышает энергетические затраты. В связи с этим является актуальным поиск методов и технологий для контроля толщины отложений ТО, позволяющих производить их своевременную очистку.

Для проведения экспериментальных исследований определения толщины отложений на ТО использован аппаратно-программный комплекс, состоящий из лабораторного стенда и компьютера с установленным специализированным программным обеспечением. Работа [1] выполнялась с целью отработки методик и программного обеспечения акустического контроля ТО.

Существует разные способы очистки ТО: механический, ультразвуковой, гидравлический, химический, смешанный. У каждого из этих способов свои достоинства и недостатки.

Методы очистки ТО можно разделить на разборные и неразборные. Неразборный метод предусматривает промывку с использованием химических реагентов. Разборный подразумевает ручную очистку с помощью механических устройств или установок.

Обязательными требованиями для применяемых методов является полное удаление отложений из очищаемого оборудования и сохранение целостности его конструкций. Эти требования должны выполняться в условиях безопасности для персонала, в приемлемые сроки, с минимальным воздействием на окружающую среду.

Своевременная и качественная промывка ТО и систем водоснабжения увеличивает теплообменную поверхность, что повышает эффективность работы теплообменника до 40%, также снижает риск локального сужения каналов и образования пробок.

Библиографический список

- 1. Journal of Physics: Conference Series. Method of assessing the thermal state of the heat transfer surfaces / E.R. Saifullin, Yu.V. Vankov, E.V. Izmaylova, E.R. Bazukova / IOP Publishing IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1058 (2018) 012058. doi: 10.1088/1742-6596/1058/1/012058.**

*А.А. Евстафьева, магистрант; А.Н. Сурикова, ст.преп.;
рук. С.В. Лукин, д.т.н, проф.
(ВоГУ, Вологда)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПАРА УТИЛИЗАЦИОННЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ПОДОГРЕВА ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ КОТЛОВ

Если рассмотреть металлургические предприятия в состав которых входит ТЭЦ – ПВС, выделяется проблема использования пара утилизационных установок, в нашем случае это котлы – утилизаторы. Решением данной проблемы, может быть использование пара для подогрева питательной воды на ТЭЦ [1].

Техническое решение данной проблемы предусматривает установку газотурбинной установки (ГТУ) в паре с котлом – утилизатором (КУ). Она предусматривает автоматизированную систему управления, что позволит обеспечить ее работу без постоянного присутствия обслуживающего персонала в помещении, ее можно использовать, как в пиковом, так и в полупиковом режиме работы. Большой плюс данной установки в том, что сервисное обслуживание производится на месте, а не надо везти ремонт на завод изготовитель.

В паре с газотурбинной установкой предусматривается котел – утилизатор паропроизводительностью 50 т/ч, $P_{\text{раб}}=18 \text{ кгс/см}^2$. В ходе работы котлов – утилизаторов на производстве получается переизбыток нагретого пара, который приходится сбрасывать в атмосферу, что неблагоприятно сказывается на окружающей среде. Происходит выброс тепла в атмосферу, что является одним из факторов глобального потепления. А ТЭЦ вместе с металлургическим предприятием сбрасывает в атмосферу большое количества тепла, которое можно использовать как вторичный энергоресурс. Регенерация позволяет экономить топливо, сжигаемое в котле, но снижает выработку электроэнергии. Но, если есть бесплатный пар от утилизационных установок, который летом не используется, то можно подогревать этим паром питательную воду на электростанции, а высвобожденный пар регенеративных отборов будет работать в турбине до конечного давления в конденсаторе, повышая электрическую мощность турбины. При этом расход топлива в котлах ТЭЦ не изменится.

Библиографический список

1. **Аронов, И.З.** Контактный нагрев воды продуктами сгорания природного газа. – Л.: Недра, 1990. – 280 с.

*А.А. Евстафьева, магистрант; А.Н. Сурикова, ст. преп.;
рук. С.В. Лукин, д.т.н, проф.
(ВоГУ, Вологда)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ БРНШ-3 ОТ ИСПАРИТЕЛЬНЫХ ПОЛОК И ДВИЖЕНИЯ НЕФТЕШЛАМА ПО НИМ

Исследование тепловой работы блока разделения нефтешламов показало, что они имеют весьма низкую производительность и невысокую степень осушки обводненных нефтепродуктов. При этом предлагаемые ранее мероприятия по модернизации БРНШ не учитывали процессы теплообмена в выпарном аппарате. В соответствии с принципиальной схемой корпус выпарного аппарата выполнен в виде стального цилиндра, снаружи покрытого тепловой изоляцией. В нижней части выпарного аппарата находятся трубы нагревателя, обогреваемые изнутри водой или паром, в верхней части аппарата находятся полки испарителя. Под действием силы тяжести эмульсия стекает с полки на полку, на которых происходит процесс выпаривания влаги из эмульсии за счет ее теплоты и охлажденная эмульсия возвращается обратно в нижнюю часть аппарата [1].

В ходе рассмотрения процессов тепло- и массообмена выпарного аппарата в режиме выпаривания влаги из эмульсии, выяснилось, что ширина испарительных полок не влияет на величину максимальной производительности выпарного аппарата G_{max} , но ее можно эффективно повысить за счет увеличения их количества N . Расстояние между соседними полками должно обеспечивать перемешивание слоев эмульсии при стекании для возникновения «новой» поверхности, то есть расстояние необходимо принимать не слишком маленькое. При изучении одних и тех же размеров корпуса выпарного аппарата число испарительных полок N теоретически можно сделать бесконечно большим. Но при проектировании аппарата возможно принять не более D/h_{min} (D – внутренний диаметр цилиндрического корпуса выпарного аппарата; h_{min} – минимальное расстояние по высоте между соседними полками, при котором происходит перемешивание слоев эмульсии).

Библиографический список

1. Лукин С.В., Сурикова А.Н. Интенсификация процессов тепло- и массообмена при выпаривании влаги из масловодяных эмульсий (от ЧГУ) // Промышленная энергетика. – 2017. – № 5. – С. 32-37.

**Ю.Н. Звонарева, доц.; рук. Ю.В. Ваньков д.т.н., проф.
(КГЭУ, г.Казань)**

ПОКАЗАТЕЛИ ЖИВУЧЕСТИ ВЗАИМОСВЯЗАННЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ

Система теплоснабжения относится к сложным техническим сооружениям, обслуживающим человека, ее отказ влечет недопустимые для него изменения окружающей среды. Стабильная работа систем теплоснабжения обеспечивается комплексом мероприятий, проводящихся в процессе монтажа, эксплуатации и реновации оборудования. В свою очередь бесперебойная и надежная работа тепловых сетей обеспечивает устойчивую работу взаимосвязанных с ней инженерных энергосистем.

Целью работы является:

1. Проанализировать реальные параметры, которые оказывают влияние на показатели надежности тепловой системы и способны вызывать возмущение перекрестных энергосистем;
2. Предложить способы структурирования, сохранения и обработки выбранных параметров в соответствии с заданными условиями с целью прогнозирования и предотвращения возможных отказов и сбоев в работе систем теплоснабжения;
3. Установить возможную взаимосвязь между двумя определенными расчетным способом фактическими величинами: показателем надежности и гидравлической стабильности тепловой сети;
4. Оценить влияние внедрения энергосберегающих мероприятий на гидравлическую стабильность и надежность систем централизованного теплоснабжения.
5. Спроектировать экспериментальный стенд, позволяющий оценивать живучесть системы при различных гидравлических колебаниях.

Библиографический список

1. **Применение средств автоматизации Danfoss в тепловых пунктах систем центрального теплоснабжения зданий.** Пособие. RB.00.H8.50.-М.:ООО «Данфосс», 2014 63 с.
2. **Звонарева Ю.Н., Ваньков Ю.В.** Влияние поэтапного внедрения ИТП на гидравлическую устойчивость и эффективность систем теплоснабжения // Совершенствование энергетических систем и теплоэнергетических комплексов: Труды XIV Международной научно-технической конференции. 30.10-1.11.2018 г. - г. Саратов

*Д.С. Карев; рук. В.М. Мельников, к.т.н., доц.
(ВлГУ, г. Владимир)*

КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЭЛЕМЕНТОВ СЦТ ОАО «СЕТКА»

Эффективное теплоснабжение является важнейшей задачей, необходимой для нормального жизнеобеспечения и функционирования зданий и обеспечения требуемых условий пребывания в них человека. В целом СЦТ характеризуется набором параметров, взаимосвязанных между собой и позволяющих осуществлять управление всей системой и прогноз изменения поведения ее составных частей в зависимости от изменения тех или иных параметров, которые можно поделить на регулируемые параметры и возмущающие воздействия.

В данной работе рассматривается система теплоснабжения ОАО «Сетка», которая предназначена для снабжения потребителей теплотой и горячей водой на отопление и хозяйственно-бытовые нужды. ОАО «Сетка» располагает центральной производственно-отопительной котельной. Транспорт тепловой энергии в виде горячей воды осуществляется по теплопроводам, проложенных наземным способом, протяженностью 2605,7 м в двухтрубном исчислении. Суммарная установленная мощность котельной составляет 17,25 МВт.

Присоединённая тепловая нагрузка к тепловым сетям в отопительный период на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение составляет 10,233 МВт, в том числе 10,206 МВт на отопление и 0,027 МВт на горячее водоснабжение.

В результате внедрения мероприятий, предложенных по результатам анализа эффективности работы системы теплоснабжения предприятия, удельный расход условного топлива был снижен на 6%, технологические потери при передаче тепловой энергии – на 13%.

Экономия от реализации мероприятий в финансовом выражении представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Экономия топливно-энергетических ресурсов.

Природный газ, руб.	Электроэнергия, руб.	Водопроводная вода, руб.
354 428,20	-28 739,20	10 847,70

С учетом величины снижения эксплуатационных затрат, амортизационных отчислений за планируемый период и годовых затрат на ремонт и обслуживание технических средств, установленных при реализации мероприятий по энергосбережению, потенциал оптимизации работы системы централизованного теплоснабжения ОАО «Сетка» составляет 271 217,89 руб. в год.

*И.В. Кириллова, асп.; рук. Т.А. Кулагина, д.т.н., проф.
(ПИ СФУ, г. Красноярск)*

ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПЕЧЕЙ МАЛОГО ОБЪЕМА ЗА СЧЕТ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ПОДГОТОВКИ ТОПЛИВА

Топочные устройства малого объема широко используются в России, например, в сельскохозяйственной промышленности, асфальтобетонных заводах (АБЗ) и т.п.

Решение задач, связанных со снижением вредного воздействия их на окружающую среду экономически оправдано за счет усовершенствования процессов подготовки и разработки технологий сжигания, в частности с использованием эффектов гидродинамического воздействия. [1]

Как правило, асфальтобетонные заводы относятся к четвертой группе промышленных предприятий, однако выбросы вредных веществ в атмосферу содержат канцерогенные вещества, поэтому совершенствования их топочных процессов является экономически и экологически целесообразным, а также обеспечивает экономию углеводородного топлива и снижает экологический ущерб. [2], [3]

В политехническом институте Сибирского федерального университета на протяжении многих лет ведется работа в этом направлении и получены лабораторные результаты, подтверждающие теоретические разработки, в том числе при использовании кавитационных аппаратов.

Библиографический список

- 1. Кулагина Т. А.** Разработка режимов сжигания обводненных топочных мазутов и водотопливных эмульсий. Диссертация канд. техн. наук / Т.А. Кулагина, 2000. 178с.
- 2. Кулагина Т. А.** Теоретические основы защиты окружающей среды Сиб. федер. ун-т, Политехн. ин-т., 2017. 365с.
- 3. Махонин В.Я.** Научно-практические и методологические основы экологической безопасности технологических процессов на асфальтобетонных заводах. Диссертация д-ра техн. наук / В.Я. Махонин, 2004. 429с.

*Р.Р. Ротач, асп.; рук. Ю.В. Ваньков, д.т.н., проф.
(КГЭУ, г. Казань)*

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Корректный анализ энергетической эффективности систем теплоснабжения базируется на подходе к системе теплоснабжения как к единому теплоэнергетическому комплексу. Функциональная схема системы централизованного теплоснабжения включает входные и выходные потоки [1].

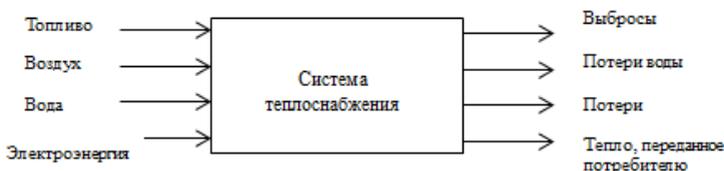


Рисунок 1 - Функциональная схема централизованного теплоснабжения

Современная система теплоснабжения представляет сложный комплекс функционально взаимосвязанных элементов. Основными технологическими процессами являются: производство тепловой энергии в виде пара и горячей воды энергетическими источниками за счет исходных ресурсов; транспорт энергоносителя, с соответствующими параметрами; потребление тепловой энергии [2].

Для достоверного анализа системы теплоснабжения необходимо учитывать все ее функциональные элементы совместно, т.е. для повышения эффективности работы системы необходимо найти возможности для снижения суммарных потерь энергии (эксергии) как во всех элементах системы (источники теплоснабжения, тепловые сети, потребители), так и в системе теплоснабжения в целом.

Функциональный анализ базируется на применении эксергетических и энергетических балансов. В результате анализа могут быть получены данные о преобразовании, использовании и потерях эксергии во всех элементах системы.

Библиографический список

1. **Клименко, А.В.** Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях. М.: б.н., 2014.
2. **Кручинин М.И.** Теоретические основы энерго- и ресурсосбережения. Иваново: б.н., 2013, 46 с.

*Э.Р. Хазиахметова, студ.;
рук. Ю.В. Ваньков, уч. степень д.т.н., проф.
(КГЭУ, г. Казань)*

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ РФ. СРАВНЕНИЕ БТВ И БСТВ.

Доклад посвящен обзору современных теплоизоляционных материалов, используемых в теплоэнергетике Российской Федерации. Особое внимание уделено теплоизоляционному материалу, производимому на основе базальтового волокна. В докладе указаны способы производства, его основные теплотехнические характеристики, такие как коэффициент теплопроводности и диапазон температуры использования, а также преимущества и недостатки теплоизоляционных материалов на основе базальтового волокна. Также сравниваются теплоизоляционные материалы на основе базальтового тонкого(БТВ) и базальтового супертонкого волокна(БСТВ), производимые заводом ООО «Базальтовые Огнезащитные Системы». Основные рассматриваемые параметры в докладе это теплотехнические характеристики материалов, особое внимание уделено коэффициенту теплопроводности, их составу, способу производства. Немаловажный вопрос поднимаемый в данном докладе является экологичность данного материала. Важным рассматриваемым аспектом является энергоэффективность данного материала.

Библиографический список

1. **Шойхет Б. М., Ставрицкая Л. В.** О расчетных характеристиках теплоизоляционных материалов // Энергосбережение. 2003. № 1.
2. **Махова М.Ф.** Базальтоволокнистые материалы. Изд-во ВНИИЭСМ, 1989 – 39с.
3. **Самарин О.Д.** Теплофизика. Энергосбережение. Энергоэффективность. М.: Изд-во МГСУ, 2009 – 292 с.
4. **СП 61.13330.2012.** Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов.
5. **СП 23-101-2004.** Проектирование тепловой защиты зданий.
6. **СП 41-101-95.** «Проектирование тепловых пунктов

*А.Г. Барышева, маг;
рук-ли А.В. Банников, к.т.н., доц.; В.В. Сенников, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ЭЛЕКТРОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ В ТЕПЛОВЫХ СЕТЯХ

В соответствии с приказом Минэнерго РФ. № 103 «Об утверждении правил оценки готовности к отопительному периоду» актуальным является ориентирование вовлеченных в процесс теплоснабжения сторон на применение информационно-технологических средств моделирования аварийных ситуаций и оценки их последствий.

Целями моделирования являются количественная и качественная оценка последствий в случае возникновения аварийных ситуаций в тепловых сетях и обоснование необходимых мероприятий по достижению требуемой надежности для каждого потребителя.

Эффективное планирование замен трубопроводов путем оптимального выбора участков тепловой сети, нуждающихся в замене, с минимальными временными и финансовыми затратами достигается с помощью специальной методики [1].

В результате расчета определяются: интенсивность отказов элементов, параметр потока отказов, среднее время восстановления и его интенсивность, вероятность состояния сети, вероятность безотказного теплоснабжения потребителя, коэффициент готовности к обеспечению расчетного теплоснабжения потребителя, средний суммарный недоотпуск теплоты потребителю в течение отопительного периода.

Методика расчета показателей надежности функционирования тепловой сети при соблюдении необходимых требований по снабжению тепловой энергией потребителей требуемого количества и качества и недопустимости создания аварийных ситуаций в тепловых сетях реализована в программном модуле «Надежность» программно-расчетного комплекса «ZuluThermo 7.0».

Библиографический список

1. Сеннова Е.В., Кирюхин С.Н. Методика и алгоритм расчета надежности тепловых сетей при разработке схем теплоснабжения городов / Сеннова Е.В., Кирюхин С.Н. – М.: ОАО «Газпром промгаз». – 2013. – 104с.

А.Е. Голубева, студ.;
рук. В.К. Пыжов, к.т.н., проф.
(ИГЭУ, Иваново)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ИНФРАКРАСНОГО ОБОГРЕВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГАЗОВЫХ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ

В настоящее время проблема энергосбережения для Российской Федерации является актуальной. На отопление зданий различного назначения ежегодно расходуется большое количество тепловой энергии, а, следовательно, и энергетических ресурсов, которые ограничены в своем объеме и имеют высокую стоимость. Одним из перспективных способов снизить энергетические затраты и повысить энергетическую эффективность систем отопления может служить применение инфракрасного обогрева [1]. Данный метод позволяет не только равномерно распределить теплоту в помещении, но и создать несколько зон с разными температурными режимами [2].

Для моделирования динамических режимов инфракрасного обогрева была выбрана среда численного моделирования COMSOL Multiphysics – мощная интегрированная платформа для моделирования и решения различных по сложности прикладных и инженерных задач.

В работе проведено исследование эффективности систем инфракрасного обогрева с использованием газовых и электрических излучателей. Для принятия начальных и граничных условий составлен тепловой баланс лаборатории «Энергосберегающих технологий и оборудования», где установлены инфракрасные обогреватели.

Создание математической модели лучистого отопления в среде COMSOL Multiphysics позволяет наглядно рассмотреть, как происходит изменение температуры в объеме помещения и интенсивности облучения оборудования и людей в зависимости от геометрических характеристик инфракрасных излучателей.

Библиографический список

1. **Храмцев Д.Д.** Создание стенда для эффективности инфракрасного обогрева: выпускная квалифицированная работа / Д.Д. Храмцев; ФГБОУВПО "Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина". - Иваново, 2017.
2. **Пыжов В. К.** Энергетические системы обеспечения жизни и деятельности человека: учебник / В. К. Пыжов; ФГБОУВПО "Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина". - Иваново, 2014.

*К.А. Комаров, студ.; рук В.К. Пыжов, к.т.н профессор
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОСОБЕННОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ МНОГОЗОНАЛЬНОГО ДИНАМИЧЕСКОГО МИКРОКЛИМАТА

В помещениях, в которых используется технологическое оборудование различного назначения с отличающимися выделениями вредностей, для поддержания необходимых параметров воздуха предпочтительно применение многозональных систем кондиционирования, учитывающих динамику изменения вредностей и режимов эксплуатации помещений и технологического оборудования.

В помещениях с работой высокого уровня ответственности только создания микроклимата недостаточно. В таких помещениях целесообразно использование системы кондиционирования «динамического микроклимата». Примером подобных помещений являются лаборатории «Энергосберегающих технологий и оборудования» (ЭТО) и полномасштабной модели БЩУ АЭС. Параметры микроклимата данных помещений обеспечиваются центральной системой кондиционирования с доводчиками, работающими в многозональном и многоканальном режиме.

Лаборатория ЭТО состоит из двух помещений: в первом находятся установки получения теплоты и холода во втором - центральный кондиционер и учебные стенды. В этих помещениях допускается поддержание допустимые параметры воздуха в рабочей зоне.

Данной теме посвящено несколько работ, в которых были созданы математические модели в программном пакте «Comsol Multiphysics».

К сожалению, в этих математических моделях отсутствует модуль распределения потоков влаги и не учитываются «пассивные» объекты, влияющие на воздухообмен в помещении.

Целью данной работы является создание математической модели многоканального и многозонального динамического микроклимата, в которой будет учтена динамика тепловых процессов во всех элементах, дополнена геометрия помещения активными и пассивными объектами, добавлены модули газодинамики и распределения потоков влаги. После проведения численного эксперимента на математической модели получен модуль, позволяющий выработать управляющий сигнал в режиме реального времени воздействия на оборудование системы создания микроклимата.

*М.В. Козлова маг.; рук. А.В. Банников к.т.н., доц.,
П.С. Соколов ст. преп. (ИГЭУ, Иваново)*

ПАРОВОЗДУШНЫЙ МЕТОД ОПРЕСНЕНИЯ МОРСКОЙ ВОДЫ

В настоящее время одной из глобальных проблем человечества является дефицит пресных водных ресурсов. Вариантом преодоления сложившейся ситуации является опреснение минерализованных вод.

На сегодняшний день наиболее распространенными методами получения пресной воды являются обратноосмотический, заключающийся в пропускании соленой воды через полупроницаемую мембрану, и дистилляционный, основанный на фазовых превращениях воды. Однако оба этих способа в силу их особенностей требуют существенных материальных затрат. В связи с этим разработка новых энергоэффективных методов опреснения является актуальной задачей.

В настоящей работе рассматривается паровоздушный метод опреснения [1], основанный на законе равновесного состояния парогидроджидкостных смесей.

В процессе опреснения воздух взаимодействует с нагретой минерализованной водой, при этом одновременно протекают: диффузия, молярный перенос теплоты и массы, лучистый теплообмен, термическая диффузия и неизотермическая массопроводность. Интенсивность этих элементарных процессов, а так же их значение и влияние определяются начальными условиями, конструктивными особенностями установки.

При контакте ненасыщенного паровоздушного потока и нагретой опресняемой воды вследствие разности парциальных давлений пара на поверхности жидкости и в газовой среде, вода охлаждается до температуры мокрого термометра, а тепловая энергия, образовавшаяся в этом процессе, направляется на генерацию пара [2].

Для паровоздушного метода характерны: высокая производительность, низкая себестоимость оборудования, простота эксплуатации, отсутствие сложной подготовки морской воды, низкое удельное потребление электроэнергии, возможность получения побочного продукта – кристаллизованной соли.

Библиографический список

1. **Автономная опреснительная установка:** пат. 2613920 Рос. Федерация: 2016100701; заявл. 11.01.16; опубл. 22.03.2017, Бюл N9 9с.
2. **Дикий Н.А.** Энергоустановки геотермальных электростанций/Н.А.Дикий. – К.: Вышш. Шк. Головное изд-во, 1989. – 198 с. – ISBN 5-11-001427-2.

*Г.И. Парфенов, студ.;
рук-ли В.К. Пыжов, к.т.н., проф., В.М.Захаров, к.т.н., проф.,
Н.Н. Смирнов, доц.;
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО МИКРОКЛИМАТА В ПОМЕЩЕНИИ ТРЕНАЖЕРА БЩУ АЭС

В настоящее время в помещениях высокого уровня ответственности, таких как блочные щиты управления (БЩУ) АЭС, поддержание концентрации внимания персонала является важной задачей. Однако создания только оптимальных условий микроклимата для этого недостаточно. Монотонная деятельность, имеющая нервно-эмоциональную нагрузку, может привести к утомлению человека и снижению его работоспособности, а иногда и к непредсказуемым негативным последствиям.

Одним из способов решения данной проблемы является создание динамического микроклимата с помощью системы кондиционирования, создающей периодические изменения метеорологических параметров воздуха, таких как температура, влажность и скорость воздушного потока.

Целью данной работы является создание математической модели, описывающей процессы тепловлагообмена и учитывающей особенности воздухообмена в помещении тренажера БЩУ АЭС при создании динамического микроклимата.

На кафедре “Промышленная теплоэнергетика” ИГЭУ проводилось моделирование динамического микроклимата в программном комплексе Comsol Multiphysics со следующими допущениями: не были учтены законы изменения всех параметров внутреннего и наружного воздуха; не учитывалась неоднородность ограждающих конструкций оборудования и здания; краевые условия для истечения струйных потоков из воздухоораспределителей были приняты исходя из каталожных данных завода-изготовителя и не описывалось влияние на воздухообмен оборудования и ограждений.

Для устранения отмеченных недостатков была уточнена математическая модель и скорректированы краевые условия. Приведены результаты моделирования динамического микроклимата и указываются проблемы, возникающие при использовании предлагаемой модели для управления системами создания микроклимата в режиме реального времени.

К.В. Терентьева, студ.;
рук. В.К. Пыжов, к.т.н., проф.
(ИГЭУ, Иваново)

МОДЕЛИРОВАНИЕ В СРЕДЕ COMSOL MULTIPHYSICS ДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ СИСТЕМЫ ПАНЕЛЬНОГО ОТОПЛЕНИЯ (ТЕПЛЫЙ ПОЛ)

В последнее время в строительстве все чаще в качестве основных отопительных систем применяются панельно-лучистые системы отопления. Наиболее важным преимуществом данных систем является получение более равномерного распределения температуры воздуха в помещении [1].

Моделирование динамических режимов в системах панельного отопления различных конструктивных исполнений выполнено в COMSOL Multiphysics – мощной интерактивной среде для моделирования и решения большого количества научных и инженерных задач, в основу которой заложены дифференциальные уравнения в частных производных (PDE) [2].

Для установления граничных и начальных условий в работе составлен тепловой баланс аудитории А-170а лаборатории «Энергосберегающих технологий и оборудования», где планируется установка стенда «Теплый пол». Моделирование панельного отопления производится с использованием в качестве греющей среды горячей воды и нагревательного электрического кабеля.

В результате создания математической модели теплого пола в программном комплексе COMSOL Multiphysics сделан вывод о неравномерности распределения температуры при использовании в качестве теплоносителя жидкостей. Полученная модель наглядно иллюстрирует динамику процессов теплообмена при использовании теплых полов с электрическим и водяным обогревом.

Библиографический список

1. **Пыжов, В. К.** Энергетические системы обеспечения жизни и деятельности человека: учебник / В. К. Пыжов; ФГБОУВПО "Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина".— Иваново, 2014.
2. **Баранов, А.В.** Анализ эффективности создания микроклимата с использованием системы отопления теплый пол: выпускная квалификационная работа / А.В. Баранов; ФГБОУВПО "Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина".— Иваново, 2018.

СЕКЦИЯ 6

ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Председатель –
к.т.н., доцент **Банников А.В.**

Секретарь –
доцент **Смирнов Н.Н.**

*Р.А. Белов, магистрант; рук. В.М. Мельников, к.т.н., доц.
(ВлГУ, Владимир)*

ОПТИМИЗАЦИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ СИСТЕМ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ В П. КРАСНАЯ ГОРБАТКА ОТ КОТЕЛЬНОЙ НА УЛ. ПРОФСОЮЗНАЯ

Анализ системы централизованного теплоснабжения от котельной по ул. Профсоюзная показал, что:

- котельная имеет многократное превышение генерирующих мощностей по сравнению с подключенными тепловыми нагрузками потребителей;
- существуют высокие расходы электрической энергии и воды для поддержания необходимого заданного давления в теплосети, а также требуемого количества теплоносителя для отопления и ГВС в часы максимального водоразбора потребителей;
- применение открытой системы теплоснабжения вынуждает ресурсоснабжающую организацию устанавливать дополнительные подкачивающие насосные станции, автоматику, установки водоподготовки для приведения воды до требуемым санитарным нормам;
- фильтрация такой воды сильно снижает эффективность и себестоимость обогрева;
- большие потери тепловой энергии при её транспортировке вследствие удалённости потребителей от источника теплоснабжения;

Для решения поставленной в рамках работы задачи необходимо реализовать следующие решения, направленные на оптимизацию систем централизованного теплоснабжения, энергосбережения и повышения энергетической эффективности:

1. Вывод из эксплуатации котельной, расположенной на ул. Профсоюзная д.28;
2. Перевод потребителей на закрытую схему теплоснабжения;
3. Предложения по строительству новых источников тепловой энергии, для эффективного обеспечения тепловой энергией и горячим водоснабжением потребителей;
4. Выбор наиболее оптимального варианта системы централизованного теплоснабжения с экономической точки зрения.

Библиографический список

1. СП 124.13330.2012. Свод правил. «Тепловые сети». Актуализированная редакция СНиП 41-02-2003. – М.: Стройиздат, 2004 г.

*Е.А. Изотова, студ.; рук. О.Н. Медведева, д.т.н., доц.
(СГТУ имени Гагарина Ю.А., г. Саратов)*

УСТАНОВКА ДЛЯ ТЕПЛОХЛАДОСНАБЖЕНИЯ

Одним из направлений в области энергосбережения является использование возобновляемых источников энергии. Назначение проекта – разработка современного автономного высокоэффективного альтернативного источника энергии для обеспечения комфортной жизнедеятельности человека. Система позволит обеспечить потребителей тепловой и холодоэнергией, себестоимость которой будет определяться затратами на используемое оборудование.

Основными элементами комплексной системы являются: солнечная установка теплоснабжения; вторичный контур с подключенным в него газовым котлом; автоматизированная система сбора данных; программное обеспечение для улучшенной работы системы [1].

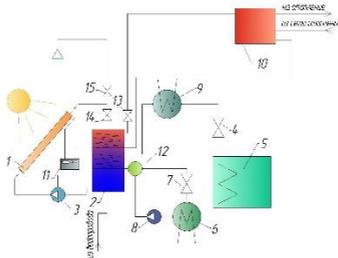


Рисунок 1 - Схема комбинированной геосистемы: 1 – гелиоколлектор; 2 – аккумулятор смешительного типа; 3,8 – насос; 4 – регулирующий вентиль; 5 – кондиционер; 6 – абсорбер; 7,13,14,15 – вентиль; 9 – конденсатор; 10 – газовый котел; 11 – контроллер; 12 – десорбер.

Научная новизна предлагаемых в проекте решений: нетрадиционные комбинированные методы получения тепла и холода; к солнечной установке предлагается присоединить систему телеметрии пункта редуцирования газа шкафного типа; солнечную установку планируется снабдить системой аварийного ввода резерва. Основным экономическим преимуществом системы является возможность существенного повышения комфортности жилого здания при одновременном снижении затрат на энергоносители.

Библиографический список

1. Медведева О.Н., Изотова Е.А., Фоминых Г.С. Информационно-аналитическая система для автоматизированного сбора и обработки данных с бытовых счетчиков энергоресурсов// Девятый Саратовский салон изобретений, инноваций и инвестиций. Саратов: СГТУ, 2017. С. 245-246.

Н.Д. Медведева, студ.; С.Д. Первалов; рук. О.Н. Медведева, д.т.н., доц. (СГТУ имени Гагарина Ю.А., г. Саратов)

ЭФФЕКТИВНАЯ БИОГАЗОВАЯ УСТАНОВКА

Как в отечественной, так и зарубежной практике широкое применение находят системы энергообеспечения предприятий и потребителей с использованием одного из альтернативных источников энергии – биогаза, решающего одновременно экологические и агробиологические проблемы [1, 2].

Цель работы – разработка эффективной биогазовой установки на основе анализа существующих способов получения биогаза и программного обеспечения для определения основных конструктивных и технологических параметров метатенков.

Основное назначение энергетической установки состоит в выработке тепловой или электрической энергии. Биогазовая установка перерабатывает сточные воды и в результате получает тепло от теплообменного оборудования и от реакций, происходящих при анаэробном сбраживании. При строительстве анаэробной станции получения биогаза важным выбором в процессе очистки сточных вод становится выбор конструктивных особенностей метатенков, типа реакторов и материалов для гидроизоляции [2].

Научная новизна: Разработан алгоритм расчета, позволяющий определять количество, конструктивные и теплоизоляционные характеристики биогазовой установки, а также численный выход метана по полученным значениям антропогенной нагрузки.

Практическая значимость работы: использование разработанной модели при проектировании реакторов для микрорайонов, отдаленных от источников энергоснабжения, небольших населенных пунктов, животноводческих хозяйств и полигонов твердых бытовых отходов. При этом, при расчете систем подогрева анаэробных реакторов есть возможность определить выгоду от продажи топливных излишков.

Библиографический список

1. Могилат Г.А. Использование биогазовых комплексов //Иновации. Образование. Энергоэффективность: материалы XI науч.- практ. конф. – Минск: ГАЗ-ИНСТИТУТ, 2017. – С. 76-77.
2. Медведева Н.Д., Медведева О.Н. Разработка биоэнергетической установки// «Высокие технологии в современной науке и технике»: сборник научных трудов VII Международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. Томск: ТПУ, 2018. С. 84-85

*Е.И. Николаева, студ; С.Г. Кultzяев, асс; рук. Э.М. Малая, к.т.н., доц
(СГТУ имени Гагарина Ю.А., г. Саратов)*

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ С УЧЕТОМ РАДИУСА ЭФФЕКТИВНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Сегодня основным направлением роста энергетической отрасли РФ является направленность на экономию тепла и рост энергоэффективности промышленного производства. В [1] впервые введено понятие радиуса эффективного теплоснабжения. Радиус эффективного теплоснабжения дает возможность оценить обстоятельства, при выполнении которых подключение новых или увеличивающих тепловую нагрузку теплопотребляющих установок (абонентов) к системе теплоснабжения становится нецелесообразным. Если эффективный радиус квартального теплоснабжения принимает отрицательные значения, то подключение перспективной тепловой нагрузки к существующим тепловым сетям неэффективно [2].

Выполненный авторами расчет радиусов эффективного теплоснабжения существующих котельных при проектировании системы теплоснабжения вновь застраиваемого микрорайона города Саратов представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Расчет радиуса эффективного теплоснабжения котельных

Наименование теплоисточника (котельной)	Протяженность тепловых сетей в 2-х трубном исполнении, км	Резервированная мощность, Гкал/час	Радиус эффективного теплоснабжения, м
Котельная 1	1,10	3,6	-150
Котельная 2	4,10	9	340
Котельная 3	0,95	9,6	305

Как видно из результатов расчёта эффективного радиуса квартального теплоснабжения для рассматриваемого населенного пункта для всех котельных, кроме котельной 1, возможно подключение новых (перспективных) абонентов. Таким образом, радиус эффективного теплоснабжения позволяет оценивать преимущества перспективного подключения новых объектов к существующим источникам тепловой энергии.

Библиографический список

1. Российская Федерация. Законы. О теплоснабжении: федер. Закон: [принят Гос. Думой 9 июля 2010 г. : одобр. Советом Федерации 14 июля 2010 г.]. – [8-е изд.]. – М. : ОАО «ЦПП», 2016 – 64 с.
2. Кожарин Ю.В., Волков Д. А. К вопросу определения эффективного радиуса теплоснабжения / Ю. В. Кожарин, Д.А. Волков // Новости теплоснабжения. – 2012. – № 8. – С. 30–34.

*М.А. Савельева, студ.; А.С Глинициков, студ;
рук. С.Г. Культаев; Н.Н. Осипова. д.т.н., доц
(СГТУ имени Гагарина Ю.А., г. Саратов)*

РЕСУРСΟΣБЕРЕГАЮЩАЯ ОРОСИТЕЛЬНАЯ КАМЕРА

Камеры орошения относятся к адиабатическому типу увлажнителей воздуха. Это означает что, кроме поддержания влажности адиабатические увлажнители обладают потенциалом испарительного охлаждения, как прямого, так и косвенного. Распределение капель в объеме камеры орошения определяется формой, плотностью и равномерностью факела распыла единичной форсунки, а также схемой расположения форсунок внутри камеры [1]. Благодаря достижению простоты конструкции устройства для тепловлажностной обработки воздуха, происходит интенсификация тепломассообменных процессов, что автоматически приводит к уменьшению габаритов кондиционеров и снижению их материало- и энергоемкости [2]. Предлагаемая конструкция ресурсосберегающей оросительной камеры представлена на рисунке 1.

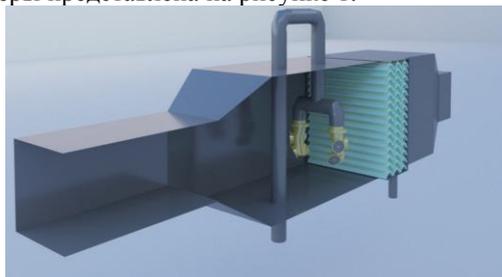


Рисунок 1 - 3D-модель ресурсосберегающей оросительной камеры для систем вентиляции и кондиционирования

В отличие от типовых форсуночных камер, разрабатываемая конструкция позволит распылять обрабатываемую воду поперек потока воздуха, что позволит уменьшить длину камеры и произвести эффективную обработку воздуха при меньшем расходе воды. Благодаря поперечному распылу «мелкодисперсный туман» будет достигнуто эффективное распределение капель воды в объеме камеры при уменьшении расхода обрабатываемой воды и высокие значения объемных коэффициентов тепло- и массопереноса.

Библиографический список

1. Баркалов, Б. Кондиционирование воздуха в промышленных, общественных и жилых зданиях / Б. Баркалов, Е. Карпис. М.: Литературы по строительству, 2014. 270 с.
2. Пажи Д. Г., Галустов В. С. Основы техники распыливания жидкостей. — Москва: Химия, 1984. - 256 с..

А.А. Сидорин, студ.; рук. С.Г. Культяев; Н.Н. Осипова. д.т.н., доц
(СГТУ имени Гагарина Ю.А., г. Саратов)

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ КОСВЕННО-ИСПАРИТЕЛЬНЫЙ КОНДИЦИОНЕР

Одним из потенциальных и неисчерпаемых источников энергии является природная неравновесность атмосферного воздуха в форме разности температур сухого и мокрого термометра [1,2]. Высокая психрометрическая разность температур может быть реализована в тепло- и массообменном аппарате косвенно-испарительного охлаждения при противоточном течении атмосферного воздуха в системе сухих и влажных каналов.

Автором разработана принципиально новая конструкция компактного кондиционера, представленная на рисунке 1. Теплый воздух из помещения нагнетается вентилятором 1 в входные патрубки теплообменника 2, где поток сухими и влажными каналами делится на две части рабочий и обрабатываемый. Рабочий поток идет во влажных каналах, где осуществляется смачивание распределительным трубопроводом 5 в верхней части аппарата, откуда вода распределяется по влажным каналам. Затем излишки стекают в поддон 4, откуда насосом 3 снова нагнетается вместе с пропиточной водой из водопровода в распределительный трубопровод.

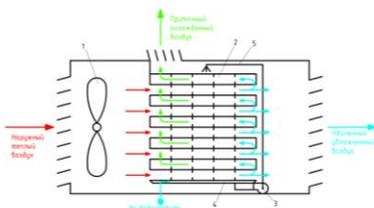


Рисунок 1 – Принципиальная схема компактного кондиционера

Впервые в конструкции данного кондиционера предлагается использовать революционный термодинамический М-цикл [2], использующий в своей основе природную тепловую неравновесность атмосферного воздуха в форме разности температур сухого и мокрого термометра.

Библиографический список

1. Термодинамічний цикл Майсоценка і перспективи його застосування в Україні / А.А. Халатов, І.М. Карп, Б.В. Ісаков // Вісн. НАН України. — 2013. — № 2. — С. 38-49. — Бібліогр.: 13 назв. — укр.
2. Gillan L., Maisotsenko V. Maisotsenko open cycle used for gas turbine power generation // Proc. ASME Turbo Expo 2003 (June 16–19, 2003, Atlanta, USA). — P. 75–84.

*А.И. Тымкуль, магистрант; Т.Ф. Манцерава, к.э.н., доц.
(БНТУ, г. Минск)*

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ МЕРОПРИЯТИЯ НА ТОРГОВЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Энергосбережение, как составляющая часть перехода к рациональным моделям потребления и производства, заявлено ООН как одна из целей в области устойчивого развития на период до 2030 г.

Направления и методы экономии энергии чрезвычайно разнообразны как в части ее видов и сфер использования в производстве, так и в части технико-экономических показателей энергосберегающих мероприятий: сроков окупаемости и внедрения, объемов инвестиций.

Для решения поставленных задач в области энергосбережения в Республике Беларусь разработана эффективная нормативно-правовая основа законодательства, определяющая основные рычаги государственного воздействия на юридических и физических лиц с целью обеспечения ими рационального использования топливно-энергетических ресурсов (ТЭР). Одним из наиболее действенных механизмов достижения максимальной эффективности использования ТЭР и выявления резервов их экономии, особенно в энергоемких отраслях народного хозяйства, является проведение энергетического обследования предприятий, учреждений и организаций.

При проведении энергетических обследований на торговых предприятиях в качестве основных направлений по энергосбережению указываются:

- Внедрение систем автоматического регулирования расхода тепловой энергии для нужд отопления;
- Внедрение современных энергоэффективных холодильных компрессоров;
- Внедрение энергоэкономичных осветительных приборов;
- Утилизация тепловой энергии конденсации фреона холодильных централей;
- Модернизация систем общеобменной вентиляции путем внедрения современных энергоэффективных рекуперативных приточно-вытяжных систем.

Активное внедрение энергосберегающих мероприятий может помочь торговым предприятиям в значительной степени снизить затраты на обеспечение торговых объектов тепловой и электрической энергией и тем самым увеличить их прибыльность.

*В.И. Федорчатенко, студ.; рук. А.В. Шалухо, к.т.н., доц.
(НГТУ, г. Н. Новгород)*

ВОПРОСЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТВЕРДООКСИДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЭНЕРГОУДАЛЕННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

В России проблема электроснабжения наиболее актуальна для объектов, находящихся в удаленных районах [1]. Одно из перспективных решений связано с применением химических источников тока. Проведен анализ возможности использования энергоустановок малой мощности на твердооксидных топливных элементах (ТОТЭ) для электроснабжения энергоудаленных потребителей.

Общим преимуществом топливных элементов (ТЭ) является их высокая эффективность, отсутствие движущихся частей, тихая работа и отсутствие вредных выбросов в окружающую среду. Среди различных видов ТЭ наибольшими преимуществами обладают ТОТЭ: КПД $\approx 90\%$, возможность применения различного вида топлива, срок службы без обслуживания до четырёх лет, экологичность.

Одна пластина ТОТЭ состоит из семи слоев. Толщина одной пластины не более 200 микрон. Пластины собираются в стеки, далее помещаются в жаропрочный контейнер, который выдерживает режим работы при температуре 1000°C, и несколько модулей собираются в общую энергетическую установку (ЭУ).

В настоящее время среди наиболее перспективных областей применения ТОТЭ выделяют катодную защиту трубопроводов и транспортные средства. Однако, благодаря своим преимуществам, ТОТЭ могут рассматриваться как стационарный источник распределенной генерации для различных удаленных промышленных и непромышленных объектов.

Главными недостатками ЭУ на ТОТЭ являются их высокая стоимость, высокая рабочая температура и низкая маневренность. В низкой маневренности заключается проблема внедрения ТОТЭ в системы электроснабжения. Требуется решение задачи совмещения постоянной генерации ТОТЭ с переменным графиком нагрузки.

Библиографический список

1. **Иванни О.А., Директор Л.Б.** Оценка эффективности системы электроснабжения сельского населенного пункта на базе газотурбинной установки // Интеллектуальная электротехника, НГТУ им. Р.Е. Алексеева, Нижний Новгород. 2018. № 3. С. 34-44.

*И.А. Халлыев, асп.; Н.О. Таначев, студ.,
рук. К.Х. Гильфанов, д.т.н., проф. (КГЭУ, г.Казань)*

КОМБИНИРОВАННАЯ СИСТЕМА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ТЕПЛОВОЙ НАСОС - СОЛНЕЧНЫЙ КОЛЛЕКТОР

На сегодняшний день, возобновляемая энергетика не является энергетикой будущего, а считается энергетикой настоящего. Во многих странах давно используют альтернативные источники тепловой энергии – воздух, грунтовые воды, воды водоемов, энергию солнца. Извлекают теплоту из окружающей среды с помощью теплонаносной системы теплоснабжения (ТСТ), основой которого является тепловой насос. Большими преимуществами данной системы является экологичность и экономичность.

Одним из основных недостатков ТСТ является дороговизна монтажа коллектора первого контура. Коллектор теплового насоса представляет собой изолированные трубки, горизонтально смонтированные в глубине не меньше 1.5 метра, или вертикальные зонды, для монтажа которых необходимо бурение до 20 метров. Горизонтальные коллекторы являются более популярными из-за запрета на бурение во многих местностях. Горизонтальные коллекторы имеют также экологический вред почве, так как почва над коллекторами со временем становится непригодной для растительности. [1]

Солнечный коллектор(СК) является не менее важным компонентом предлагаемой системы. Если реализовывать отопление и ГВС только с использованием СК, то для обеспечения тепловых нужд среднего коттеджного дома, необходимо установить солнечные коллекторы с общей площадью 180 м². Учитывая что единственным местом, при установке на котором не уменьшится общий КПД коллектора, является крыша дома, то установка столь большого количества солнечных коллекторов является невозможной.

Подача нагретой солнечным коллектором воды в первый контур теплового насоса вдвое сократит количество необходимых СК. В регионах с высокой инсоляцией, при больших количествах солнечных дней, можно будет подавать воду из СК напрямую в систему отопления, при этом не затрачивать энергию на функционирование теплового насоса, что положительно повлияет на КПД всей системы.

Библиографический список

1. Амерханов Р. А. Тепловые насосы. М.: Энергоатомиздат, 2005.

*Е.С. Алеманова, Е.А. Гадалова, студ.;
рук. А.В. Банников, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, Иваново)*

ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ В ИВАНОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Для грамотного и эффективного использования солнечной энергии в Ивановском регионе необходимо определиться с рядом параметров солнечного излучения связанных, прежде всего, с интенсивностью и дискретностью. Одним из устройств, преобразующих солнечную энергию в тепловую, является плоский солнечный коллектор. На примере этого устройства была проведена оценка эффективности потенциала солнечной энергии и построен график зависимости КПД от температуры наружного воздуха.

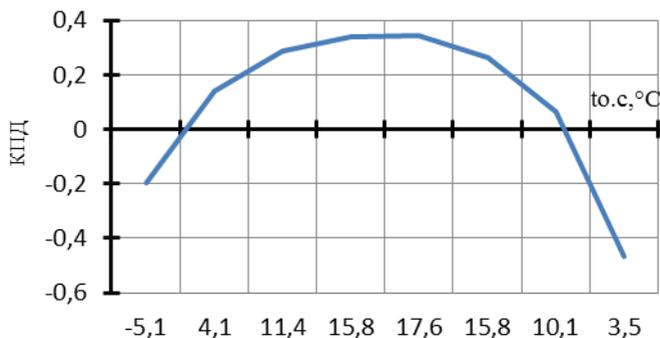


Рисунок 1 – Зависимость эффективности плоского солнечного коллектора от температуры наружного воздуха.

Анализ графика показывает, что в климатических условиях Ивановской области для производства тепловой энергии целесообразно использовать сезонные солнечные установки, работающие в период с апреля по сентябрь, либо установки на базе коллекторов иных конструкций с большим коэффициентом полезного действия.

Библиографический список

1. ВСН 52-86 «Установки солнечного горячего водоснабжения», Москва, 1988.
2. Даффи Дж., Бекман У. Основы солнечной теплоэнергетики – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2013.- 888 с.

*К.А. Комаров, студ.; рук А.В. Банников, к.т.н доцент
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАРАБОЛИЧЕСКОГО СОЛНЕЧНОГО КОНЦЕТРАТОРА ДЛЯ РАБОТЫ АБСОРБЦИОННОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ МАШИНЫ

Абсорбционные холодильные агрегаты – это устройства, способные утилизировать тепловую энергию достаточно высокого потенциала для производства холода за счет периодических процессов абсорбции и десорбции холодильного агента.

При наличии подходящего потенциала тепловых ВЭР, например, уходящие газы после газотурбинной установки, отработанный производственный пар и т.п., абсорбционные холодильные аппараты должны иметь большую эффективность по сравнению с парокомпрессионными холодильными машинами, так как затрачивают меньше электрической энергии для работы цикла.

Цель настоящей работы заключается в анализе использования солнечной энергии в качестве источника высокого потенциала для работы абсорбционного холодильного цикла.

Анализ проводился на основе диффузного холодильного аппарата. В качестве рабочего раствора был выбран водоаммиачный, так как полная десорбция аммиака из воды возможна при температуре выше 36°C [1].

Для региона с географической широтой 44° суммарный поток солнечной радиации на горизонтальную поверхность за месяц июнь равен $68,6 \text{ Вт/м}^2$. Температура в фокусе линзы при выше перечисленных условиях составит 341°C . Солнечная радиация фокусируется на генератор холодильной машины.

Используя метод численного моделирования в программе «Comsol Multiphysics», была получена средняя по внутренней поверхности температура генератора, она составила 107°C .

По результатам работы можно сделать вывод о целесообразности использования солнечной энергии, с точки зрения энерго- и ресурсосбережения, для работы абсорбционных холодильных машин, в определенных геоклиматических условиях.

Библиографический список

1. Соколов Е.Я., Бродянский В.М. Энергетические основы трансформации тепла и процессов охлаждения: Учеб.пособие для вузов. — 2-е изд., перераб. — М.: Энергоиздат, 1981. — 320 с, ил.

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

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА В ДВИГАТЕЛЕ СТИРЛИНГА ТИПА β

Двигатели Стирлинга прямого цикла находят применение в качестве первичного двигателя при реализации современных когенерационных технологий и служат альтернативой двигателям внутреннего сгорания, паротурбинным и газотурбинным установкам.

В работе выполнен анализ существующих термодинамических моделей, описывающих работу двигателя Стирлинга [1-3]. Авторами на основании теории Шмидта, а также модифицированной модели, с учетом теплообмена, гидравлических сопротивлений и неидеальности регенератора, разработаны алгоритмы расчета параметров внутреннего теплообменного контура двигателя Стирлинга типа β , которые реализованы в программном продукте MSEXCEL.

Расчет индикаторного КПД и тепловой мощности двигателя Стирлинга с заданными исходными данными выполняется в четыре этапа: 1) производится расчет средних по циклу коэффициентов теплоотдачи в нагревателе и холодильнике, значений температур рабочего тела в горячей и холодной полостях двигателя и расчетного отношения температур; 2) рассчитываются потери давления в нагревателе, холодильнике и регенераторе, определяется работа цикла; 3) определяется теплотеплопередаваемая газом регенератору и теплота, подводимая к двигателю за цикл; 4) определяется расчетный индикаторный КПД и индикаторная мощность двигателя, а также тепловая нагрузка нагревателя. При решении уравнений, полученных в интегральном виде, для определения ряда величин: работы цикла, средних коэффициентов теплоотдачи и др., использовался математический пакет программного средства Mathcad.

Библиографический список

- 1.Трухов, В. С.** Расчет параметров внутреннего теплообменного контура двигателя Стирлинга / В.С. Трухов, И.А.Турсунбаев, Г.Я. Умаров. – Ташкент : «Фан», 1979. – 80 с.
- 2.Ридер Г.** Двигатели Стирлинга: пер с англ. / Г. Ридер, Ч. Хупер. – М. : «Мир», 1986. – 464 с., ил.
- 3.Рыбалко, А.И.** Термодинамическая модель процессов, протекающих во внутреннем контуре двигателя Стирлинга / В.С. Кукис, П.К. Сеначин, А.И.Рыбалко//Ползуновский вестник. - № 4. – Ч. 2. – 2010. – С. 123–131.

СЕКЦИЯ 7

**АВТОМАТИЗАЦИЯ
ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ**

Председатель –
д.т.н., профессор **Тютиков В.В.**

Секретарь –
к.т.н., доцент **Ставров С.Г.**

*К.И. Андреев, студ., Р.И. Ермоленко, студ.; рук. А.А. Тишков, к.т.н.
(ВИ(ИТ) ВА МТО, г. Санкт-Петербург)*

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НАРУЖНЫМ ОСВЕЩЕНИЕМ ГОРОДОВ СЕВЕРА

При исследовании проблемных вопросов используемых систем управления наружным освещением городов севера решались следующие задачи: проведен анализ существующих систем управления, выбраны рациональные методы управления, а также проведена оценка стоимости и надежности их эксплуатации.

Исходя из поставленных вопросов, сделано заключение о направлении вектора совершенствования системы эксплуатации наружного освещения в сторону автоматизации.

Проведенный в ходе исследования расчет экономической эффективности при внедрении автоматизированной системы управления наружного освещения (АСУНО) показал, что среднее значение времени горения светильников за сутки во время полярной ночи с использованием АСУНО составило 15 часов, тогда как с учетом человеческого фактора 17 часов. Также подтверждено расчетами и экспериментально, что с учетом обоснованного выбора систем управления достигим реальный экономический эффект при автоматизации управления даже небольшими группами светильников в короткие сроки.

Автоматическое управление одиночными светильниками или небольшой группой светильников суммарной мощностью до 1 кВт рационально осуществлять с использованием фотореле. Управление освещением дорог и не больших территорий рационально выполнять при помощи щитов с возможностью автоматического управления. При этом внедрение диспетчеризации или сложных систем управления свойственных крупным городам, в условиях северных городков малоэффективно вследствие сложности и высокой стоимости.

Библиографический список

- 1. Сторожев С.В., Тишков А.А.** Система автоматического управления в сетях наружного освещения северных городков. // Сборник докладов XI международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Энергия-2016» в 7 т. Т.3. Иваново: ФГБОУВПО "Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина", 2016.
- 2. Колесник И.В., Панасюк В.Н., Тишков А.А.** Создание системы контроля состояния изоляции кабельных сетей на объектах МО РФ. // Военный инженер. 2017 №1(3).
- 3. Вендт А.В., Колесник И.В., Тишков А.А.** Сборник научных трудов «Проблемные вопросы эксплуатации сетей наружного освещения воинских частей». СПб: Издательство Политехнического университета. 2015.

*Н.И. Берсенева, асп.; рук. А.Г. Шумихин, д.т.н., проф.,
Б.Г. Стафейчук, к.т.н., доц.
(ПНИПУ, г. Пермь)*

ВЫБОР СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ ДАВЛЕНИЯ ПАРА ЭНЕРГОБЛОКА 800 МВТ С УЧЕТОМ СВОЙСТВ РЕАЛЬНЫХ ВОЗМУЩАЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ И ДИНАМИКИ ОБЪЕКТА РЕГУЛИРОВАНИЯ

В работе [1] приведены результаты оценки значений технологических параметров системы управления мощностью энергоблока 800 МВт Пермской ГРЭС, работающего в режиме нормальной эксплуатации.

Анализ корреляционных функций эквивалентных возмущений, полученных в режиме нормальной эксплуатации, показывает, что эффективное решение задачи управления мощностью блока нельзя получить с помощью котельного регулятора давления (КРД) принципиально, так как время корреляции эквивалентного возмущения по давлению острого пара ($\tau_{\text{кор}}=60$ сек.) меньше величины запаздывания по каналу расход топливного газа-давление острого пара ($\tau_{\text{кор}}=146$ сек.). Таким образом, возникает проблема повышения качества работы системы регулирования давления острого пара при работе блока в режиме регулирования частоты энергосистемы и возникающих спорадических возмущениях.

В [2] рассмотрены вопросы оптимального регулирования систем с применением предиктора Смита.

Рассматривая «традиционный» подход к параметрическому синтезу КРД при ограничении на частотный показатель колебательности $M=1,55$, получены следующие параметры настройки регуляторов для рассматриваемого объекта управления: ПИ ($K_p = 2,79 \text{ \%}/\text{Мпа}$; $T_i = 89$ сек) и ПИД ($K_p = 4,3 \text{ \%}/\text{Мпа}$; $T_i = 82$ сек; $T_d = 116$ сек).

Анализ переходных процессов показывает, что ПИД регулятор при значительной величине запаздывания не приносит существенного повышения качества работы по сравнению с ПИ регулятором.

Библиографический список

1. Берсенева Н.И., Шумихин А.Г., Стафейчук Б.Г. Исследование свойств реальных возмущающих воздействий в системе управления мощностью энергоблока 800 МВт // Двенадцатая международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Энергия-2017»: Материалы конференции в 6 Т. Т.5 - Иваново, 2017. - 232 с.

2. Стафейчук Б.Г. Синтез оптимального линейного регулятора для объектов с запаздыванием // Доклады науч.-техн. конф. по итогам науч.-исслед. раб. за 1964-1965 г. МЭИ, 1965.

*Н.И. Берсенева, асп.; рук. А.Г. Шумихин, д.т.н., проф.,
Б.Г. Стафейчук, к.т.н., доц.
(ПНИПУ, г. Пермь)*

ПРИМЕНЕНИЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО ПРЕДИКТОРА СМИТА В СИСТЕМЕ СТАБИЛИЗАЦИИ ДАВЛЕНИЯ ОСТРОГО ПАРА ЭНЕРГОБЛОКА 800 МВт

В [1] показано, что для повышения качества работы системы управления объектом при значительной величине транспортного запаздывания по каналу регулирующего воздействия можно применить предиктор Смита.

Выполнена в MATLAB Simulink система стабилизации давления острого пара энергоблока с модифицированным предиктором Смита. В рассматриваемой системе управления применяется традиционный ПИД алгоритм и учитывается влияние концевых ограничителей исполнительного механизма.

При сравнении систем управления давлением острого пара энергоблока с ПИ регулятором и с модифицированным предиктором Смита получены результаты работы этих схем по каналу задающего воздействия, который используется для подключения форсирующих сигналов первичного регулирования частоты, по каналу внутреннего возмущения, по каналу внешнего возмущения (рис. 1).

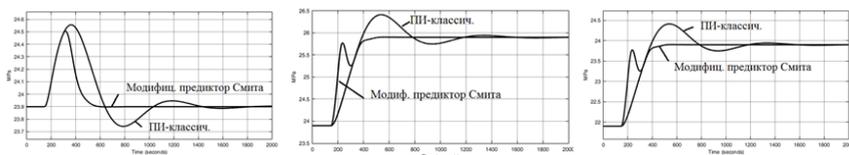


Рисунок 1 - Результаты сравнения систем управления давлением острого пара

Анализ представленных на рисунках результатов моделирования показывает, что в сравнении с «традиционным» алгоритмом ПИ регулирования, модифицированный алгоритм с предиктором Смита существенно повышает быстродействие системы регулирования давления острого пара. Полученные результаты свидетельствуют о возможности повышения качества регулирования частоты при возникновении нештатных ситуаций в работе энергосистемы за счет применения рассматриваемого алгоритма.

Библиографический список

1. Стафейчук Б.Г. Синтез оптимального линейного регулятора для объектов с запаздыванием // Доклады науч.-техн. конф. по итогам науч.-исслед. раб. за 1964-1965 г. МЭИ, 1965.

*В.Н. Королева, студ.; рук. О.В. Блинов, к.т.н., доц.,
А.Р. Горнушкин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново);
конс. В.П. Александров, к.т.н.
(АО «ИВЭЛЕКТРОНАЛАДКА», г. Иваново)*

ПОГОДОЗАВИСИМАЯ ИМПУЛЬСНАЯ АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОПОТРЕБЛЕНИЕМ ЗДАНИЯ

На рис. 1 представлен общий вид импульсного регулятора расхода теплоносителя (ИРРТ), на базе которого разрабатывается импульсная автоматическая система управления теплопотреблением (ИАСУТ) здания. ИРРТ работает следующим образом. В исходном состоянии теплоноситель через шаровой кран 2, нормально-открытый электромагнитный клапан 1 и шаровой кран 3 подается в трубопровод потребителя с максимальным расходом, при этом использование нормально-открытого электромагнитного клапана 1 исключает возможность прекращения подачи теплоносителя в трубопровод потребителя в нестандартных ситуациях, например, при аварийном отключении ИАСУТ от сети электроснабжения.

Уменьшение или увеличение расхода теплоносителя, соответственно и температуры в здании, регулируется длительностью открытого состояния клапана 1 в течении заданного периода. Временными параметрами открытого и закрытого состояний электромагнитного клапана управляет контроллер (не показан на рис. 1), при этом управление должно осуществляться на основании заданного графика зависимости температуры теплоносителя в обратном трубопроводе системы отопления здания от текущей температуры наружно воздуха.

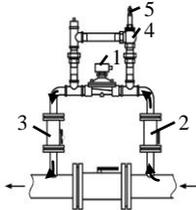


Рисунок 1 - Двухпозиционный регулятор расхода теплоносителя.
1- нормально-открытый электромагнитный клапан; 2,3- шаровые краны;
4-предохранительный клапан; 5 – регулировочная гайка

*В.А. Павлыгина, студ.; рук. А.Н. Богданов, к.т.н.
(КГЭУ, г.Казань)*

РАЗРАБОТКА РОБОТА-ПЫЛЕСОСА

В данное время всё становится автоматизированным, ручной труд заменяется машинами и роботами. Каждый человек проводит дома у себя уборку. Как много люди тратят времени на это? Существуют разные механизмы, которые позволяют облегчить домашние дела и робот-пылесос – «новичок» на российском рынке.

О подобной технике не каждый знает из-за его стоимости и недостаточной распространенности на рынке. Почему? В основном все новые технологии, которые доступны в наших магазинах сегодня импортные и стоят они не мало. Роботы-пылесосы появились в Европе в 2002 году и с каждым годом они совершенствовались. Сейчас существуют несколько европейских брендов – разработчиков роботов-пылесосов. В данное время на рынок выходят китайские производители. Стоимость устройств начинается с 8000 рублей.

Робот-пылесос ничем не отличается от другой автоматической бытовой техники. Главное его призвание – облегчить уборку человеку. Благодаря специальному механизму, пылесос самостоятельно наводит порядок. Небольшие размеры устройства позволяют «проползать» под мебелью и проводить уборку в труднодоступных местах. Внутри робота-пылесоса есть аккумуляторы, их нужно заряжать от специального зарядного устройства. Управление роботом осуществляется посредством кнопок на поверхности пылесоса.

Принцип работы достаточно прост: продвигаясь по помещению, центральной щеткой, робот-пылесос поддевает мусор, который встречается ему на пути. Его с потоком воздуха засасывает внутрь вентилятор. При наличии боковых щеток, они подгребают мусор с боков к центральной щетке, которая его и поднимает. Попавший внутрь воздух проходит через фильтры, очищенный выходит через выпускное отверстие. Мусор и пыль оседают в специальном резервуаре. Для перемещения робот-пылесос использует данные с датчиков сканирования пространства.

На данный момент большинство машин не позиционируются как полная замена пылесосу. Их можно рассматривать как средство поддержания чистоты.

Цель работы – разработать компактное бюджетное устройство, которое будет доступно для большинства людей и иметь простой интерфейс. Такое устройство позволит уменьшить время, затрачиваемое на уборку дома, и повысит качество уборки.

*К.С. Фоминых, студ.; рук. Ю.В. Ваньков, д.т.н., проф.
(ПГТУ, г. Йошкар-Ола)*

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА АКУСТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

Места повреждений подземных участков тепловых сетей (ТС), появляющиеся в процессе гидравлических испытаний (ГИ), обычно обнаруживаются при шурфовке грунта. В свою очередь, шурфовки требуют больших затрат: оплата почасовой работы тяжелой техники, возобновление строительных конструкций, герметизация канала, обратная засыпка и восстановление территории. Таким образом, задача поиска дефекта трубопровода занимает особое место и от ее решения зависит не только время ограничения подачи тепловой энергии, но и денежные затраты.

На МУП «ТЭЦ-1» г. Йошкар-Ола введен мониторинг ТС, по результатам которого установлено, что количество порывов после пуска составляет до 50% от количества порывов в процессе проведения ГИ. По данным цеха ТС при проведении ГИ в 2017 г. образовалось 50 порывов, из них: в камерах или на выходе из камеры - 21 порыв; по каналу - 29 порывов. Обзор ежегодно регистрируемых порывов показал, что в результате проведенных ГИ и в процессе последующей эксплуатации имеется устойчивая тенденция к увеличению числа порывов при ГИ, а в период эксплуатации, после пуска ГВС и отопления по сравнению с 2016 г. на уменьшение [1]. Исходя из этого, можно сделать вывод, что для выявления будущих порывов не обязательно использовать ГИ; с этим успешно может справиться акустическая диагностика. Она заменяет ГИ и уменьшает стрессовое состояние металла, вызванное ими.

Опытным путем установлено, что для проведения акустической диагностики подходит корреляционный течеискатель «Вектор-2001» (современная модификация «КурСАР»), который определяет место порыва с приемлемой точностью, используется в любое время года, определяет течи минимальной интенсивности, но у него есть ограничение по длине участка, так как расстояние от постановки датчиков составляет не менее 40 м. Практическая точность определения места шурфовки не превышает 95%. Данные, полученные в результате оценки состояния эксплуатируемых ТС, могут служить основой для решения вопроса об их ремонте, а также реконструкции и модернизации.

Библиографический список

- 1. Лопкин С.Н., Чернов Д.В.** Сводная таблица учета порывов, регистрируемых ЛНКиД ОТЭК за 2017 год, январь 2018 г.
- 2. Матвеев В.И.** Опыт диагностики ТС на МУП «Йошкар-Олинская ТЭЦ-1», июль 2001 г.

*М.Н. Альбещенко, студ.; рук. А.Р. Горнушкин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СЛУЧАЙНЫХ СИГНАЛОВ

Основной целью спектрального анализа является определение спектральной плотности мощности. Кажущееся очевидным решение, использовать прямое преобразование Фурье для получения спектра процесса, невозможно применить для случайных процессов по двум причинам.

Во-первых, невыполнение условия абсолютной интегрируемости для всех реализаций процесса. Во-вторых, спектральная плотность процесса будет также являться случайной величиной. Что, из-за случайности фаз спектральных составляющих при усреднении по множеству реализаций, приведет к нулевому спектру. Поэтому на практике пользуются оценкой спектра (средним по времени).

Она связана с автокорреляционной функцией преобразованием Фурье. Очевидно, что в реальности придется ограничиться некоторым временным диапазоном измерения сигнала. Получим:

$$\tilde{G}(f) = \frac{1}{2T} \left| \int_{-T}^T x(t) e^{-j2\pi ft} dt \right|^2$$

Данная оценка называется периодограммой. На практике процесс представляет собой дискретную последовательность измерений, поэтому перейдем к ДПФ:

$$\tilde{G}(f) = \frac{1}{N\Delta t} \left| \Delta t \sum_{i=0}^{N-1} x(i) e^{-j2\pi f i \Delta t} \right|^2.$$

Тогда алгоритм применения данного метода к реальному процессу:

- 1) Выбор шага квантования Δt и числа отчетов N ;
- 2) Разделить последовательность $x(i)$ на M подмножеств по L отчетов в каждой;
- 3) Вычислить ДПФ по каждому подмножеству;
- 4) Рассчитать периодограммы;
- 5) Рассчитать усредненную СПМ.

Библиографический список

1. Ланцош, К. Практические методы прикладного анализа / К. Ланцош. – М.: ГИФМЛ, 1961. – 524 с.
2. Романюк, Ю.А. Основы цифровой обработки сигналов 2007 / Ю.А. Романюк. – М.: МФТИ, 2007. – 122 с.

*Ю.О. Зыкова, студ.; рук. Е.К. Торопова, доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

СОЗДАНИЕ И РЕДАКТИРОВАНИЕ ДВУМЕРНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ БЛОКОВ В AUTOCAD

Для оптимизации работы с блоками, уменьшения их общего количества в библиотеках и файлах, существует понятие динамического блока. Динамическим блоком называется блок, которому присвоены какие-либо параметры и операции.

Процесс создания сложных динамических блоков является достаточно трудоемким. При создании динамических блоков целесообразно формировать их библиотеку для последующего использования.

Ниже представлен принцип создания динамических блоков в графической системе AUTOCAD.

1. Используя стандартные примитивы, вычерчивается объект и создается статический блок.

2. Осуществляется переход в режим редактирования блока. В диалоговом окне Редактирование определения блока следует выбрать имя будущего динамического блока.

3. Задание динамических свойств блока. Основными инструментами реализации являются палитры (вкладки) окна Палитра вариаций блоков, которые используются в следующей последовательности:

- Параметры – задание параметров для редактирования, определение месторасположения ручек, установление расположения ярлычков параметров и их названий;

- Операции – установление операций, применимых к параметрам;

- Наборы параметров – задание наборов параметров с автоматическим добавлением конкретных операций. Эта палитра содержит наиболее частые случаи сочетания параметров с операциями, то есть иногда можно не использовать первые две вкладки за счет существующей комбинации в данной [1];

- Зависимости – установление геометрических и размерных зависимостей на части блоков.

4. Кроме палитр в режиме редактирования блоков появляется вкладка Редактор блоков. Следует сохранить блок, закрыть Редактор блоков. Преобразовать блок в пространстве Модели можно следующим образом: панель Свойства – закладка Настройки – выбор изменяемого значения для готового динамического блока.

Библиографический список

1. **Полещук, Н.Н.** Самоучитель AutoCAD 2017 / Н.Н. Полещук. – СПб.: БХВ-Петербург, 2017. – 480 с.

*Е.А. Каленова, студ.; рук. С.Б. Плетников, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ОБЪЕКТА ДЛЯ ТРЕНАЖЁРА «АСР ДЕАЭРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ»

Автоматическое регулирование параметров деаэрационной установки включает в себя управление уровнем в баке деаэратора и давлением в деаэрационной колонке. Поэтому деаэратор, как объект регулирования является двухмерным. Изменение регулируемых (выходных) параметров зависит от ряда входных воздействий. Эти зависимости можно показать с помощью схемы-матрицы, представленной на рис. 1.

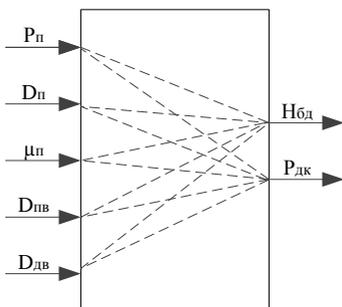


Рис. 1. Схема-матрица взаимосвязей регулируемых величин деаэратора

На этом рисунке: P_p – давление греющего пара; D_p – расход греющего пара; μ_p – положение регулирующего органа расхода греющего пара; $D_{пв}$ и $D_{дв}$ – расходы питательной и добавочной воды; $H_{бд}$ – уровень воды в баке деаэратора; $P_{дк}$ – давление пара в деаэрационной колонке.

При разработке математической модели деаэратора использовались уравнения:

- материального и теплового баланса водяного объема бака деаэратора;
- материального и теплового баланса парового объема бака деаэратора;
- материального и теплового баланса деаэрационной колонки;
- регулирующих органов расхода добавочной воды и пара.

Описанная выше математическая модель была реализована в среде визуального программирования LabView 8.0.

*В.С. Колесов, студ.; рук А.М. Дёмин, к.т.н, доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ФОРМИРОВАНИЕ КАНАЛА СВЯЗИ ИЗ УПУ КР-500М В SCADA СИСТЕМУ TRACE MODE

Российская SCADA система TRACE MODE широко применяется для разработки АСУТП, в т.ч. в теплоэнергетике, и может работать с разными ПТК. Внедрение промышленных контроллеров серии Контраст КР-500М делает актуальными изучение особенностей взаимодействия программного обеспечения (ПО) этих систем, разработку методики такого изучения и формирование навыков разработки их ПО.

На основании проведенных исследований для решения поставленных задач разработаны состав и последовательность действий.

- Создать в Trace Mode проект – окно для работы с принимаемой информацией (можно использовать готовый шаблон).
- Модифицировать технологическую программу КР-500М, установленного на учебном стенде, – подготовить канал связи в SCADA систему TRACE MODE – и загрузить ее в контроллер.
- Наладить тип канала связи «Источники / приёмники» посредством сопоставления SCADA системы с ПО контроллера КР-500М.
- Создать условия для связи протоколов КР-500М и его модулей.
- Выставить для формируемого канала во вкладке «Каналы» дополнительные функции при работе с параметрами (выходные сигналы из контроллера / входные сигналы в Trace Mode).
- Связать все элементы канала в окне «Экран#n:n» с целью правильности индикации сигналов на графиках и панелях визуального отображения.

• Получить в реальном времени отображение параметров и процессов в КР-500М и в окне Trace Mode компьютера, на котором загружен проект и канал связи которого через сеть настроен на связь с контроллером (рис. 1).

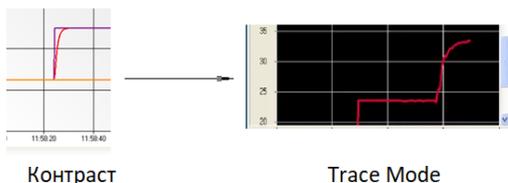


Рисунок 1 - Сравнение одновременно полученных процессов в окне ПО контроллера Контраст КР-500М и в окне SCADA системы Trace Mode

Результаты работы внедряются в учебный процесс лаборатории микропроцессорной техники кафедры АТП ИГЭУ на стендах «Устройство программного управления КОНТРАСТ КР-500М».

*О.Д. Мишина, маг., рук. С.Г. Ставров, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МОДЕЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД В ПРОГРАММИРОВАНИИ ПЛК

Модельно-ориентированная разработка программного обеспечения (ПО) – это методология разработки, в которой особое внимание уделяется использованию моделей, создаваемых при проектировании ПО и непрерывно связывающих все этапы разработки ПО.

Модель проекта может быть создана с помощью унифицированного языка моделирования UML. Она описывает ПО на более высоком уровне абстракции, независимо от деталей ее реализации на конкретной программно-аппаратной платформе. После преобразования эта модель может быть использована для генерации программного кода для конкретных программно-аппаратных средств.

Использование преобразования позволяет автоматизировать подверженные ошибкам задачи, связанные с импортом информации из предыдущих этапов разработки и инструментов ПО.

В задачах логического управления модельно-ориентированная методология разработки ПО для промышленных контроллеров реализуется следующим образом [1]. На основе унифицированного языка моделирования UML строится автоматная модель логического управления. С помощью специальных инструментальных средств автоматная модель преобразуется в программный код на одном из языков стандарта МЭК 61131-3.

С помощью модельно-ориентированного подхода разработана программа для управления клапаном и программа управления вентилятором системы поддержания температурного режима компрессорной станции. Результаты работы планируется внедрить в учебный процесс кафедры АТП ИГЭУ.

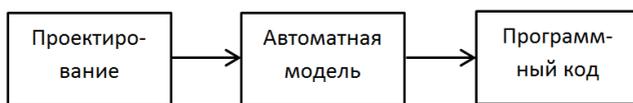


Рисунок 1 - Модельно-ориентированный подход в программировании ПЛК

Библиографический список

1. **Большаков, О.А.** Автоматное моделирование систем автоматизации с реализацией на ПЛК / О.А. Большаков, А.В. Рыбаков // Автоматизация в промышленности. – 2013. – №10. – С.60-64.

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

НЕЙРОСЕТИ В ЗАДАЧАХ МНОГОСВЯЗНОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

Проблематичность задач управления многосвязными объектами такого типа в реальных условиях дополняется существенной нестационарностью и нелинейностью. Классические принципы организации управления с применением типовых регуляторов во многих случаях либо не эффективны, либо ограничены узким диапазоном режимов, на который настроена автоматика. Для обеспечения высокого качества процесса управления подобными многосвязными объектами необходимо, чтобы система могла подстраиваться под изменения свойств объекта. Одним из возможных подходов к построению системы управления МОУ является применение нейросетей.

В докладе на примере многосвязного объекта с двумя входами и выходами показывается возможность применения нейроконтроллера [1], реализующего современный подход к организации автономного управления в многосвязных объектах [2].

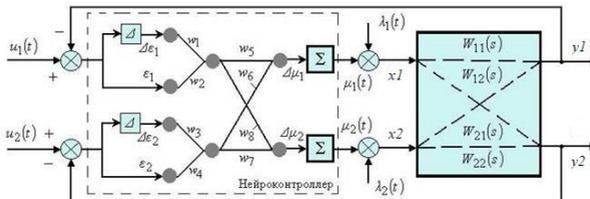


Рисунок 1 - Пример структуры ДАСР с нейроконтроллером

Первой стадией работы явилось создание многомерной нейросети. Как сама нейросеть, так и алгоритм её обучения описаны на языке матричной алгебры. Реализация выполнена в среде системы имитационного моделирования VisSim. Разработанные алгоритмы будут использованы в матричном нейрорегуляторе для теплоэнергетических объектов (на примере задачи управления мощностью энергоблока).

Библиографический список

1. Кондрашин А.В. Электронная версия учебного курса для магистров «Современные проблемы теории управления». – Иваново, 2016.
2. Биленко В.А. Разработка методических основ, исследование и внедрение многосвязных автоматических систем регулирования теплоэнергетических объектов: автореф. дис. докт. техн. наук. М., 2012. – 40 с.

СЕКЦИЯ 8

ПАРОВЫЕ И ГАЗОВЫЕ ТУРБИНЫ

Председатель –
к.т.н., доцент **Виноградов А.Л.**

Секретарь –
к.т.н., доцент **Григорьев Е.Ю.**

*Воденяктов А.Д. маг., Проломова А.К., маг.;
рук. Ю.В. Абасев, к.т.н., доц.
(КГЭУ, г. Казань)*

МОДЕРНИЗАЦИЯ КОНДЕНСАТОСБОРНИКОВ ПАРОВЫХ ТУРБИН К-200-130

Конденсационная установка является одной из важнейших составляющих паровой турбины. Работа конденсационной установки турбины заключается в конденсации отработавшего в турбине пара и поддержании в конденсаторе установленного давления. Условия работы и экономичность турбины определяется, не в последнюю очередь, режимом работы конденсатора. Одним из факторов, оказывающих существенное влияние на условия работы конденсатора и системы регенерации низкого давления в целом, является содержание кислорода в основном конденсате. [1]

Так, избыточное содержание кислорода в конденсате греющего пара, являющееся следствием неплотности вакуумной системы турбины, вызывает снижение температуры основного конденсата и активизацию коррозии системы регенерации (от конденсатора до деаэратора).

Один из вариантов повышения эффективности работы конденсационных установок является установка барботажных устройств в конденсатосборник турбины. Такие устройства позволят снизить содержание кислорода в конденсате, а также уменьшить температурный напор. [2,3]

В данной работе авторы рассматриваются установка в конденсатор турбины К-200-130 барботажного устройства оригинальной конструкции, а также приводятся выводы и рекомендации.

Библиографический список

- 1. Капелович Б.Э.** Эксплуатация паротурбинных установок. М.: Энергия, 1975.288 с.
- 2. Ю.М. Бродов. Р.З.Савельев.** Конденсационные установки паровых турбин. М.: Энергоатомиздат, 1994.287 с.
- 3. Г.Г. Шкловер. О.О.Мильман.** Исследование и расчет конденсационных устройств паровых турбин. М.: Энергоатомиздат, 1985.240 с.

*А. И. Кирьякова, студ.; рук. О. В. Боруш, к.т.н., доц.
(НГТУ, Новосибирск)*

РАЗВИТИЕ ПГУ В РОССИИ

Тенденция непрерывного развития мира и роста потребления энергии человечеством требует от современной энергетики повышения эффективности производства тепловой и электрической энергии. Одним из вариантов решения данной задачи является строительство ПГУ (парогазовых установок). На сегодня в стране насчитывается уже более 20 ГВт мощности парогазовых установок.

К ПГУ, получившим распространение в энергетике страны, относятся: с высоконапорным парогенератором, со сбросом газов в топку низконапорного парогенератора, ПГУ с котлом-утилизатором, парогазовые установки с газоводяным подогревателем, парогазовые установки со сбросом газов в сетевую установку.

Сравнение эффективности различных типов комбинированных ПГУ приведено в табл.1 [1].

Таблица 1 - Сравнение эффективности различных типов ПГУ

Тип ПГУ	Россия		Зарубежные страны		Уд.кап.вложения, долл./кВт
	$N_э$, МВт	$\eta_э^{HT}$, %	$N_э$, МВт	$\eta_э^{HT}$, %	
ПГУ с КУ	80...490	48,6...54,9	62...972	44,8...58,2	450...800
ПГУ с ВПГ	200	37,1	70...425	40,0...44,0	1000...1600
ПГУ с НППГ	250...410	37,4...47,7	550...765	41,2...46,5	700...900
ПГУ с ГВП	410...550	43,4...47,4	-	-	700...800
ПГУ с ГСП	150...450	45,0...47,0	-	-	500...700

Парогазовые установки являются перспективным и развивающимся направлением в энергетике, при этом установки с котлом-утилизатором отличаются наиболее высокой эффективностью с КПД до 55% и распространенностью. Эту технологию можно встретить на ПГУ-78 и ПГУ-80 Сочинской ТЭС, ПГУ-116 и ПГУ-120 Московской ТЭС, ПГУ-110 Астраханской ГРЭС, ПГУ-110 Вологодской ТЭЦ, ПГУ-110 Колпинской ТЭЦ и др [2-4].

Библиографический список

1. **Боруш О.В.** Парогазовые установки: учебное пособие / О.В. Боруш, О.К. Григорьева. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016. - 64 с.
2. ТЭС. Сочинская ТЭС [Электронный ресурс] / Энергетический портал CityEnergygo - http://www.cityenergygo.info/reference_book/power_objects/thermoelectric_power_station/detail.php?ELEMENT_ID=966 (Дата обращения: 24.02.2018);
3. ТЭС Международная [Электронный ресурс] / РосТепло - энциклопедия теплоснабжения. - <http://www.rosteplo.ru/w/> ТЭС_Международная (Дата обращения: 24.02.2018);
4. Астраханская ГРЭС [Электронный ресурс] / РосТепло - энциклопедия теплоснабжения. - <http://www.rosteplo.ru/w/> Астраханская_ГРЭС (Дата обращения: 24.02.2018).

Г.Е.Марьин, ст. маш. блока Д.И. Менделеев, асп.;
рук. Ю.Я. Галицкий, к.т.н, доцент
(КТЭЦ-2, КГЭУ г. Казань)

ВЛИЯНИЕ РАБОТЫ ВХОДНОГО НАПРАВЛЯЮЩЕГО АППАРАТА КОМПРЕССОРА ГТУ НА ПОКАЗАТЕЛИ БЛОКА ПГУ

Сооружение установок комбинированного цикла, или ПГУ (парогазовых установок), стало основной тенденцией развития мировой теплоэнергетики в последние два десятилетия.

Преимущества ПГУ (высокий КПД, низкая стоимость единицы установленной мощности, короткие сроки возведения, меньший расход воды на единицу вырабатываемой электроэнергии, компактные размеры, более быстрый пуск в работу), в случае их использования при модернизации ТЭС или сооружении новых станций, можно рассматривать как один из этапов повышения маневренности станции. Однако, учитывая один из недостатков ПГУ - сезонные ограничения мощности (максимальная производительность в зимнее время), и тот факт, что необходим обоснованный и правильный выбор мощности, устанавливаемой ПГУ и ее вспомогательного оборудования, делает непростой задачу повышения маневренности станции только за счет ПГУ.

В реальной эксплуатации парогазовых блоков на ТЭЦ, газотурбинные установки работают в переменных режимах и основные показатели отличаются от расчётных режимов (при температуре наружного воздуха 15С).

Для поддержания частоты вращения ротора газовой турбины 5230 об/мин необходимы соответствующие расходы топлива и воздуха. Топливо подается в камеру сгорания с помощью топливных клапанов, воздух подается входным направляющим аппаратом (ВНА). Поворот лопаток ВНА на определенный угол изменяет расход воздуха и в целом влияет на режим работы всей ГТУ. Правильная работа ВНА обеспечивает как минимум высокую экономичность ГТУ на переменных режимах и надежность эксплуатации в переменных режимах.

В работе представлены основные характеристики, позволяющие оценить зависимость параметров рабочей среды, КПД ГТУ и ПГУ от степени открытия ВНА и температуры наружного воздуха и зависимости работы ГТУ при частичном засорении ВНА, что позволяет оценить экономичность работы ГТУ и ПГУ в целом и факторы влияющие на эту экономичность и надежность работы.

*Д.И. Менделеев, асп.; Г.Е.Марьин, ст. маш. блока
рук. Ю.Я. Галицкий, к.т.н, доцент
(КГЭУ, КТЭЦ-2, г. Казань)*

АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ КТ-33/36–7,5/0,12 ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ

Все изменения уровня потребления, сетевые ограничения, состояние генерирующего оборудования невозможно спрогнозировать заранее с абсолютной точностью. При управлении режимом работы энергосистемы в реальном времени необходимо компенсировать возникающие отклонения от режима, запланированного сутки назад. Расчет и доведение до объектов управления графиков генерации при фактическом управлении ЕЭС в режиме реального времени реализуется в рамках балансирующего рынка.

Эксплуатация парогазовых установок бинарного типа значительно отличается от эксплуатации паротурбинного оборудования. Отличительной особенностью является активная роль газовой турбины и пассивная роль паросиловой части при регулировании электрической и тепловой нагрузки парогазовой установки, а также скользящие параметры пара и отсутствие регулирования температуры пара перед паровой турбиной.

При работе паровой турбины КТ-33/36-7,5/0,12 в составе энергоблока ПГУ – 110 Мвт неизбежно изменение основных параметров, таких как, давление и температура пара, температура уходящих газов ГТУ. Изменение температуры и давления пара приводит к изменению реактивности ступеней, а работа ступеней в нерасчетных режимах приводит к снижению КПД цилиндра турбины.

К большому снижению экономичности приводит изменение КПД при работе на сниженных начальных параметрах. В подобных случаях необходимо определить все параметры режима работы системы регулирования и ее влияние на надежность турбоагрегата в целом.

В данной работе проанализирован режим работы оборудования с полностью открытыми регулирующими клапанами, его параметры и характеристики, а также его влияние на экономичность паровой турбины в целом.

*М.А. Носкова, асп.; рук. Т.В. Богомолова, д.т.н., проф.
(НИУ «МЭИ»)*

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

В условиях современной экономики России в области энергетики приоритетными стали направления, связанные со снижением себестоимости отпускаемой тепловой и электрической энергии за счет повышения эффективности их работы. Речь идет о повышении конкурентоспособности действующих электростанций за счет оптимизации их режимов работы.

Существующие методы оптимизации режимов работы энергетических установок трудоемки и занимают много времени, что снижает оперативность принятия решений персоналом ТЭЦ в вопросах эффективного распределения нагрузок между агрегатами, подготовки и подачи качественных отчетов и ценовых заявок по участию ТЭЦ в реализации электроэнергии на оптовом рынке электрической энергии и мощности (ОРЭМ) [1].

Известны следующие методы оптимизации режимов работы в условиях электрической станции: метод равенства относительных приростов; метод открытых клапанов; метод динамического программирования Беллмана; упрощенные методы оптимизации; распределение нагрузки методом перебора всех вариантов; метод равенства относительных приростов; градиентный метод; имитационное моделирование.

Каждый из перечисленных выше методов оптимизации режимов работы энергоблоков обладает некоторыми недостатками. Наиболее эффективный метод – имитационный. Имитационное моделирование представляет собой математическую модель, которая описывает работу энергоблока в широком диапазоне режимов его работы, такая модель, созданная в среде *Delphi*, позволяет проводить расчеты и выбор оптимального режима нагрузки [2]. Приводится сравнение удельного расхода топлива на Костромской ГРЭС для двух способов регулирования суточной нагрузки: при постоянном начальном давлении перед стопорно-регулирующими клапанами $p_0 = const$ при скользящем начальном давлении $p_0 = var$. Расчеты показали, что экономия топлива на Костромской ГРЭС при регулировании суточной нагрузки на скользящем давлении составляет 75,9 т у.т. в сутки.

Библиографический список

1. Аракелян Э.К., Пикина Г.А. Оптимизация и оптимальное управление, М.: Издательский дом МЭИ, 2-е изд., 2008.

*Я.С. Тимшина, студ.; рук. В.Н. Голошумова, к.т.н., доцент;
Ю.М. Бродов, д.т.н., профессор,
(УрФУ, г.Екатеринбург)*

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ПАРА В СТОПОРНОМ КЛАПАНЕ

Корпус стопорного клапана (СК) во время прогрева главного паропровода при пуске из любых состояний является критическим элементом паротурбинной установки (ПТУ).

Основным признаком непригодности СК является образование трещин в его корпусе. Для уверенности в надежности СК необходимо определение его термонапряженного состояния при разработке технологии пусков ПТУ.

Так как СК имеет сложную геометрическую форму корпуса, внутри которого установлено паровое сито, то вычисление коэффициентов теплоотдачи при турбулентном течении пара в нем по формуле Нуссельта для гладкой трубы становится сомнительным. При численном моделировании процесса течения в СК определены линии тока пара и распределение скоростей пара в пристеночной области СК.

Полученные результаты не противоречат опубликованным в [1] экспериментальным данным. Нами выделено несколько особых областей на внутренней поверхности СК: область фланца (Ф), паровая коробка (ПК), область под обтекателем (О). Для каждой получено критериальное уравнение граничных условий теплообмена 3-го рода: 1 – Ф, 2 – ПК, 3 – О.

$$Nu_{\Phi} = 0,016Re^{0,8}Pr^{0,43}, \quad (1)$$

$$Nu_{ПК} = 0,029Re^{0,8}Pr^{0,43}, \quad (2)$$

$$Nu_{O} = 0,009Re^{0,8}Pr^{0,43}, \quad (3)$$

где Nu – число Нуссельта; Re – число Рейнольдса; Pr – число Прандтля. Полученные уравнения (1, 2, 3) уточняют уравнение, полученное Нуссельтом:

$$Nu = 0,021Re^{0,8}Pr^{0,43} \quad (4)$$

Библиографический список

1. Ивановский А. А. Моделирование теплового и термонапряженного состояния критических узлов высокотемпературной части теплофикационных паровых турбин с целью повышения их надежности и маневренности.: дис. ... канд. техн. наук: 05.04.12: защищена 06.11.08 / Ивановский Александр Александрович. – Екатеринбург, 2008. – 164 с. Библиогр.: с. 150-162.

*А.С. Воронкова, студ.; О.В. Боруш, к.т.н., доцент
(НГТУ, г. Новосибирск)*

ДВУХТОПЛИВНАЯ ПГУ С ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СХЕМОЙ

Возможным вариантом повышения эффективности выработки электрической энергии в угольных регионах может служить переход к двухтопливным парогазовым установкам (ПГУ) [1].

В данной работе рассчитывается ПГУ с параллельной схемой работы. ПГУ комплектуется газотурбинной установкой (ГТУ) с камерой сгорания (КС), котлом-утилизатором (КУ) и паротурбинной установкой (ПТУ) с паровым котлом (ПК). ГТУ обеспечивает выработку электроэнергии при сжигании газа в КС, помимо этого отработавшие в ГТУ газы направляются в КУ. В КУ обеспечивается генерация части пара, в последующем совмещаемой с горячей веткой третьего промежуточного перегрева ПТУ, а также обеспечивается частичное вытеснение системы регенерации ПТУ. ПТУ в свою очередь обеспечивает выработку электроэнергии и представляет собой четырехконтурную паровую турбину с системой регенерации включающей в себя 4 подогревателя низкого давления, деаэрактор и 4 подогревателя высокого давления. ПК обеспечивает паровую турбину острым паром суперкритических параметров ($p_0=29,4\text{МПа}$, $t_0=600^\circ\text{C}$) и паром трех промежуточных перегревов. Топливом для ПК является уголь.

Предложены варианты распределения регенеративного подогрева воды линии основного конденсата, как с учетом низкпотенциальных подогревателей, так и без них. Выполнен расчет и анализ линии ПНД при учете расходов в пара в сальниковом подогревателе (СП) и охладитель эжектора (ОЭ). Расчет выполняется для двух вариантов работы: автономный режим и режим ПГУ.

По полученным данным можно сделать вывод, что при введении в расчет СП и ОЭ расход пара на регенеративные отборы уменьшается и как следствие увеличивается пропуск пара в конденсатор, что влечет за собой изменение показателей работы турбоагрегата и установки в целом.

Библиографический список

1. **Щинников П.А., Боруш О.В., Францева А.А., Зуева А.А.** Топливная конкурентоспособность ПГУ с преимущественным использованием угля // Совершенствование энергетических систем и топливно-энергетических комплексов: материалы XIV междунар. науч.-техн. конф. – Саратов, 2018. – С. 167-172.

*А.И. Аверин, студ.; рук. Е.Ю. Григорьев к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г.Иваново)
конс. А.Е. Зарянкин А.Е. д.т.н., проф
(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 трансформов 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 0,6 % по сравнению с турбинной решеткой без системы оребрения.

*Аверин Н.И., студ.; рук. Григорьев Е.Ю., к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОБЗОР К-Е МОДЕЛЕЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ

В наши дни пакеты численного моделирования открывают огромные возможности для инженеров и исследователей из самых разных областей. Между тем все эти пакеты основаны на фундаментальных законах механики, и каждый входной параметр является критически важным для получения достоверного и соответствующего действительности решения, одним из таких параметров является модель турбулентности, которые будут рассмотрены нами.

Стандартная модель турбулентности к-ε. Связь между напряжениями по Рейнольдсу и параметрами течения определяют с помощью моделей турбулентности, в которых принимаются допущения позволяющие найти все неизвестные. Одним из таких допущений является введение турбулентной вязкости, которое первым осуществил Буссинеск. Заметим что в пакете Ansys Fluent стандартную к-ε модель используют в ином виде, который описывается создателями модели [1].

RNG к-ε модель. RNG модель была получена при помощи теории ренормализованных групп [2]. Она имеет схожую форму со стандартной к-ε моделью, но включает следующие улучшения: имеет дополнительный член в уравнении для ϵ ; в модели учтено влияние завихренности на турбулентность; данная теория предлагает аналитические формулы для турбулентных чисел Прандтля; RNG модель предлагает аналитически полученные формулы для эффективной вязкости.

Реальная к-ε модель. Реальная к-ε модель имеет следующие улучшения: предлагается новая формула для определения турбулентной вязкости, первоначально предложенная еще Рейнольдсом; используется новое уравнение для диссипации ϵ , основанное на динамическом уравнении среднеквадратичных колебаний завихренности.

Выводы: к-ε модели являются наиболее популярными в численных пакетах, т.к они получили широкое практическое подтверждение, но не следует забывать о том, что данные модели имеют как преимущества, так и недостатки, которые могут быть учтены в других моделях.

Библиографический список

1. **Launder B.E.**, Spalding D.B. Lectures in Mathematical Models of Turbulence. - London: Academic Press, 1972.
2. **A new k-s eddy-viscosity model for high Reynolds number turbulent flows** - Model development and validation / T.-H. Shih, W.W. Liou, A. Shabir, Z. Yang, J. Zhu // Computers fluids. – 1995.

*Белова Е.В. студ.; рук. Виноградов А.Л., к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПРИЧИНЫ СОЗДАНИЯ И АКТУАЛЬНОСТЬ ПОЛНОМАСШТАБНЫХ ТРЕНАЖЕРОВ

Создание и введение в работу качественного полномасштабного тренажера позволит существенно снизить эксплуатационные затраты, связанные с потерями, и увеличить надежность работы электростанции.

В целом касаясь Российского энергетического рынка до массового введения полномасштабных тренажеров процентное отношение аварийных ситуаций по вине персонала к общему количеству аварий составляло 2%. В частности, по электростанциям этот показатель зашкаливал до 18%. [1]

Уже более 25 лет в энергетической отрасли промышленности уходят от устаревших методик обучения и внедряют современные полномасштабные тренажерные комплексы для тепловой и электрической части электростанций. А в последнее 10-летие активно начато внедрение информационно-коммуникационных технологий в систему образования.

Появление полномасштабных тренажеров, моделирующих процесс работы оборудования на производстве, было обусловлено не только авариями, но и рядом других причин, важнейшими из которых являются: невозможность применения обучения и тренировки на реальном оборудовании; высокая информационная нагрузка оператора и несоответствие система человек машина основным законам функционирования памяти; рост количества физически и морально устаревшего оборудования, используемого за пределами рабочего ресурса при несовершенстве существующей системы диагностики; некачественно разработанная производственная документация; консерватизм методики подготовки обучаемых.

Исходя из этих соображений, должность оператора пульта управления никогда не будет отдана вычислительной машине, вследствие чего возникает огромная необходимость в создании промышленных тренажеров, в которых будут исправлены все недостатки существующей модели.

Библиографический список

1. Магид С. И. Подготовка персонала энергопредприятий: О целесообразности использования тренажеров. // Энергетика в промышленности России. Вып №11. 2002. 160 с.

*С.А. Павлычев, студ.; рук. Е.Ю. Григорьев, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО ЦИКЛА, РАБОТАЮЩИМ НА ДИОКСИДЕ УГЛЕРОДА

В настоящее время стоит проблема выбросов парниковых газов в атмосферу. За последнее время количество выбросов резко увеличилось. Такое повышение вызывает озабоченность мирового сообщества. Исследования направлены на уменьшение выбросов, в частности ведется разработка энергетических установок, где в качестве рабочего тела используется диоксид углерода.

Разработка энергетических установок на диоксиде углерода, достаточно сложная задача. Установки должны эффективно снижать выбросы парниковых газов в атмосферу и при этом иметь высокую экономичность. Были предложены различные термодинамические циклы, имеющие достаточно высокую экономичность.

Самым перспективным на данный момент является цикл Родни Аллама. Данный цикл является замкнутым и имеет достаточно высокие параметры на входе в турбину : давление и температура на входе около 300 бар и 1150 °С соответственно. В качестве рабочей тела используется диоксид углерода (95-97 %). Избытки возникающие при горении могут быть в дальнейшем выделены и использованы, что может принести дополнительную прибыль. Эффективность данного цикла составляет в среднем 55%.

Данное направление новое и поэтому работа направлена на исследование и разработку высокоэкономичного оборудования для данного цикла. Где отдельное внимание уделено разработки газовой турбины, где рабочим телом является диоксид углерода, т.к. достаточного опыта по разработке не имеет ни один производитель.

Библиографический список

1. **R. J. Allam** and et al, “New Power Cycle Provides High Efficiency and Lower Cost Electricity Generation from Coal while Eliminating Atmospheric Emissions,” COAL-GEN, 2013.

*Нямба И.Р. - III., студ.;
рук. Григорьев Е.Ю., к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ВЫБОР СПОСОБОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОФИКАЦИОННОЙ ПГУ ПРИ РАБОТЕ НА ПЕРЕМЕННОМ РЕЖИМЕ

В настоящее время в большей части бинарных ПГУ и ГТУ с утилизацией теплоты уходящих газов применяются газовые турбины. Основным требованием к их режимам эксплуатации является покрытие графиков тепловых нагрузок ЖКХ и промышленных потребителей. Регулирование работы ГТУ осуществляется таким образом, чтобы в необходимый момент времени тепловой поток, отдаваемый в котле-утилизаторе (КУ) соответствовал установленному ($Q_{ку}=Q_T$). Также работа ГТУ в значительной степени зависит от параметров окружающей среды. А ΔT на входе/выходе ГТУ зависит от выбранной системы регулирования. В основном используются режимы поддержания постоянной температуры на входе в ГТ (T_3), или температуры на выходе (T_4).

Выбор оптимальной системы циклов теплофикационной ПГУ реализуют основываясь на термодинамическом и топливном анализе, а в качестве критериев оценки эффективности применяется величина удельной относительной экономии топлива в системе и эффективный КПД ПГУ. [1]

Относительно теплофикационных ПГУ, высокую эффективность показало регулирование с поддержанием постоянной температуры перед ТВД за счет изменения π_k , а регулирование ГТУ с помощью поддержания температуры на выхлопе возможно поддерживать постоянную тепловую мощность и повысить температуру перед ТВД, но данный аспект требует дополнительного обоснования в отношении надежности проточной части.

Обеспечение требуемых показателей ГТУ по тепловой и электрической мощности получают с помощью впрыска пара, поворота ВНА и т.д.

Библиографический список

1. Беляева С.О. Современные методы повышения эффективности парогазовых установок / С.О. Беляева, В.А. Коваль // Вестник Национального технического университета «ХПИ». 2008.

*Костин Н.И., студ.; рук. Буданов В.А., к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИИ СОЕДИНЕНИЯ ВОЗДУХОВОДА С ПАТРУБКОМ КОМПРЕССОРА ГТЭ-160

Конструкция стыковочных узлов соединения воздухопроводающего тракта представляет особый интерес в части ее влияния на работу системы промывки. Возможны два типа соединения: классический – жесткий фланец и второй вариант – используется в тех случаях, когда не удается обеспечить абсолютно точной стыковки поперечных сечений воздуховода и патрубка - представляет из себя гофрированный рукав и козырек, обеспечивающий плавный переход проходного сечения. В результате анализа траектории капель жидкости, впрыскиваемой форсунками, которые устанавливаются на задней и передней стенке патрубка, а также на внутреннем конусе, где наблюдается наибольшее воздействие на структуру потока, было выявлено эжектирующее влияние струи воздуха, вытекающей из кольцевой камеры на капли впрыскиваемой жидкости. Как и следовало ожидать, наибольшее отклонение испытали капли меньшего диаметра. В патрубке с классическим соединением такого эффекта не наблюдается. Использование конструкции с гофрированным рукавом заметно изменяет траекторию капель моющей жидкости и эффективность работы всей системы промывки. Расчеты показывают, что капли большего диаметра проникают в поток глубже и в меньшей степени подвержены воздействию со стороны воздуха.

Согласно вышеизложенному можно сделать вывод о том, что систему промывки следует проектировать индивидуально даже для ГТУ, одинаковых по конструкции, но с различными стыковыми соединениями.

Библиографический список

1. **Ольховский Г.Г.** Газовые турбины для энергетики.-2004г.-стр 33-43.

*Альшеевский А.Д., студ.; рук. Киселев А.И., к.т.н. доцент
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАСЧЁТ НА ПРОЧНОСТЬ РАБОЧЕЙ ЛОПАТКИ ГТУ

Рабочие лопатки осевой турбины являются самыми главными деталями газотурбинного двигателя, от надежности которых зависит надежность работы газотурбинной установки в целом.

При работе ГТУ на рабочие лопатки действуют статические, динамические и температурные нагрузки, которые составляют сложную картину напряжений. Центробежные силы вызывают деформации растяжения, изгиба и кручения.

На ГТУ из-за больших нагрузок на рабочий и сопловой аппарат, требуется выбирать наиболее подходящий материал. В ходе расчета модели, исходя из температуры на входе в ступень, равной в 687° , была выбрана марка сплава ЭИ929. Данный сплав жаропрочный и предназначен для работы при температурах до 950° . Были вычислены напряжения на растяжения лопаток, в которых максимальное напряжение составило 89 МПа. Затем был произведен расчет лопаток на изгибную прочность.

После расчетов модельных характеристик, был определен масштабный коэффициент, который составляет 2,3. Зная этот коэффициент, мы получили реальные характеристики профиля и определить максимальное изгибное напряжение в корне сечения и изгиб для всех ступеней. Определили реальные геометрические характеристики профиля, а именно: шаг и хорду, координаты выходной кромки. Было найдено число рабочих лопаток на колесе, аэродинамическую нагрузку и крутящий момент. Полученные значения запасов прочности во всех сечениях удовлетворяют нормам прочности и не являются завышенными, следовательно, материал лопатки подобран рационально.

Библиографический список

- 1. 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, 2002. - 584 с.
- 2. В.И. Абрамов, В.В. Чижов.** Основы проектирования и расчета стационарных газотурбинных установок. М.: МЭИ, 1988.
- 3. С.Л. Ривкин.** Термодинамические свойства газов. М.: Энергия, 1973.

*Е.А. Ивков, студ.; рук. А.И. Киселев, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

КОНСТРУКТИВНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЛОПАТОК ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Конструкция лопаток турбин достаточно сложная. В зависимости от вида и мощности турбины, лопатки проектируются отдельно. В настоящее время мощности растут, а следовательно необходимо соответствовать заявленным характеристикам турбоустановки. Для этого необходимо произвести исследования для повышения прочности лопаток турбин.

Лопатки турбин разделяются: сопловые и рабочие лопатки. Наиболее высокие напряжения возникают на рабочих лопатках. На них действуют: центробежные силы, аэродинамические силы, неравномерное температурное поле. Также лопатка турбины подвержена вибрации, коррозионному и эрозионному воздействию со стороны потока рабочего тела.

Максимальные напряжения возникают в корне лопатке или чуть выше. Для снижения напряжений лопатки выполняют переменного сечения по высоте, с уменьшением от корня к периферии. Для этого используют различные законы изменения площади по высоте, что способствуют ее разгрузке. Для повышения прочности используют материалы имеющие высокий предел текучести. При этом материал должен иметь высокое сопротивление коррозии и эрозии, высоким усталостным напряжениям и ударным нагрузкам.

Исследование этого направление, достаточно необходимо. В основе разработки конструкции лопаток лежит требование обеспечения высокой надежности, экономичности и технологичности изготовления.

Библиографический список

1. **Костюк А. Г.** Динамика и прочность турбомашин. М.: Издательство МЭИ, 2000. 480 с.

*Д.А. Силенко, студ., рук-ль Яблоков Л.Д. к.т.н. ,доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОБЗОР ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ В ТУРБИННОЙ РЕШЕТКЕ И ПУТЕЙ ИХ СНИЖЕНИЯ

Турбинная решетка представляет собой совокупность лопаток. Лопатки специально спрофилированы, установлены под одним углом и расположены по окружности на диске с одинаковым расстоянием друг от друга. В ходе эксплуатации турбины, в решетках возникают разного рода потери, с которыми необходимо бороться для увеличения КПД турбины, а следовательно и эффективности станции.

Все потери в турбинной решетке делятся: профильные и концевые потери. Профильные потери связаны с характером обтекания профиля течением. Концевые потери связаны с ограниченной длиной лопаток в турбинной решетке и пространственным характером течения.

Профильные потери разделяются: потери на трение, мера борьбы это снижение шероховатости; кромочные потери, мера борьбы – уменьшение толщины кромки; волновые потери, мера борьбы – снижение числа Маха.

Концевые потери, методы борьбы: для рабочих решеток – установка бандажной полки; на этапе проектирования решетки должны иметь длины лопатки не менее 15 - 17 мм. Также для снижения этих потерь используют нетрадиционные методы: установка ограничивающих ребер на хвостовиках и бандажах, использования дельфинообразного профиля, отсос пограничного слоя.

Рассмотренные потери имеют определенные методы их снижения. Но использование их для каждой турбины, не всегда представляется возможным и необходим поиск новых, универсальных и эффективных методов снижения потерь в решетках.

Библиографический список

1. **Трухний А. Д.** Стационарные паровые турбины М.: Энергоатомиздат, 1990.639[1] с
2. **Л. Д. Яблоков, И. Г. Логинов.** Паровые и газовые турбоустановки. М.: Энергоатомиздат, 1988.352 с.

*Борисов А.А. студ.; рук. Шлёнkin Р.Ю. асс-т
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ВЫБОР ГОРЕЛОЧНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ МАЛОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ КОТЛОАГРЕГАТОВ

Горелочное устройство необходимо для преобразования химической энергии топлива в тепловую энергию. А ее назначение сводится к полному сжиганию исходного топлива и к формированию газовоздушного факела, который будет соответствовать требованиям.

Горелки котельных агрегатов необходимо выбирать, учитывая конкретные условия их эксплуатации на определенном оборудовании. Для целесообразного подбора горелочных устройств необходимо определить требования к ним и уточнить характеристики уже известных горелок.

Проектные организации в своей большей части, разрабатывающие горелки, стремятся ввести универсальные горелки, которые в дальнейшем можно было бы применить для любых типов котельных агрегатов [1]. Важная роль при этом отдается созданию конструкций горелок, реализующих полное смешение газа с воздухом. Но, к сожалению, они забывают о том, что правильный выбор горелки из уже имеющихся конструкций может значительно облегчить их работу.

В исследовательской литературе при изучении различных типов горелок чаще всего отдается предпочтение одному способу сжигания газа по сравнению с другими, например, кинетическому вместо диффузионного. Но очевидно, что данные противопоставления некорректны, так для котлов могут с успехом использоваться горелки, как с кинетическим принципом, так и с диффузионным, если их выбор был сделан с учетом производительности и конструктивных особенностей.

В настоящее время отсутствуют конкретные рекомендации по выбору типов и компоновок горелок, так как база проведенных испытаний весьма мала, а имеющиеся материалы испытаний и опыт эксплуатации обобщены недостаточно.

Библиографический список

1. **Завьялов А.А.** Повышение эффективности использования топлива/А. А. Завьялов. — М.: Легкая промышленность, 1982. — 232 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 1. Тепловые электрические станции

Богданова А.Е. Анализ абразивного износа трубопроводов системы ГЗУ ТЭС, работающей на различных видах угля; *рук. Чугунков Д.В.*...5

Голубовский В.В. Анализ опыта работы с детандер-генераторными агрегатами; *рук. Соколов Е.А.*.....6

Есин С.Б. Повышение надежности и эффективности бездеаэрационной схемы энергоблока СКД в расширенном регулировочном диапазоне нагрузок; *рук. Трифионов Н.Н.*.....7

Лазарев И.Б. Расчет осевого диффузора паровой турбины с винтовым оребрением на внутренней поверхности диффузора; *рук. Богомолова Т.В.*.....8

Маренко В.С. Особенности газовой турбины первого энергоблока Няганьской ПГУ; *рук. Боруш О.В.*.....9

Скурихина А.Д. Формирование состава защитных противокоррозионных покрытий; *рук. Чугунков Д.В.*.....10

Титов Д.А. Обоснование конструкции динамического сепаратора на основе численного моделирования; *рук. Григорьев К.А.*.....11

Толстомятов Д.Е. Особенности методики расчёта тепловых схем проектируемых МикроТЭС; *рук. Трохимчук М.В.*.....12

Абрамов А.А., Халявин В.С. Оценка относительного расхода окислителя для работы котла-утилизатора «П-102» при минимальной электрической мощности «ГТЭ-6П»; *рук. Шельгин Б.Л.*.....13

Абрамов А.А. Результаты расчёта показателей котла-утилизатора «П-102» при пониженных нагрузках «ГТЭ-6П»; *рук. Шельгин Б.Л.*14

<i>Барочкин Ю.Е.</i> Математическая модель деаэрации воды за счет начального эффекта; <i>рук. Ледуховский Г.В.</i>	15
<i>Бубнов К.Н.</i> Регулирование температуры сетевой воды паровинтовой машиной; <i>Орлов Г.Г.</i>	16
<i>Калистратов В.Н.</i> Повышение экономичности ТЭС с паровой подсушкой бурых углей; <i>рук. Орлов Г.Г.</i>	17
<i>Кокулин И.А.</i> Сравнение величин потребления тепла в жилых домах до и после установки приборов учёта тепла; <i>рук. Барочкин А.Е.</i>	18
<i>Кокулин И.А.</i> Влияние капитальных ремонтов жилых домов на снижение тепловых нагрузок; <i>рук. Барочкин А.Е.</i>	19
<i>Колмаков Р.М.</i> Определение оптимальных значений коэффициента избытка воздуха в газах перед котлом-утилизатором «П-88» при пониженных нагрузках ПГУ-325; <i>рук. Шелыгин Б.Л.</i>	20
<i>Коркин Е.Д.</i> Учет влияния минимальных температурных напоров при оптимизации температуры уходящих газов ПГУ; <i>рук. Зорин М.Ю.</i>	21
<i>Крылова А.Л.</i> Обоснование выбора варианта реализации частотного привода питательных насосов Сызранской ТЭЦ; <i>рук. Ледуховский Г.В.</i>	22
<i>Пшенинкова О.Д.</i> Модернизация концевых уплотнений ЦВД турбины К-500-240 ЛМЗ; <i>рук. Зорин М.Ю.</i>	23
<i>Угрюмов А.Д.</i> Оценка эффективности вариантов расширения промышленной ТЭЦ в Вологодской области; <i>рук-ли Ледуховский Г.В., Горшенин С.Д.</i>	24
<i>Халявин В.С.</i> Определение оптимальной паропроизводительности котла-утилизатора «П-102» при автономном режиме его работы и проектной температуре наружного воздуха; <i>рук. Шелыгин Б.Л.</i>	25

Секция 2. Технология воды и топлива

<i>Комова А.В., Комова О.В., Ершова Е.А.</i> Некоторые результаты экспериментального исследования вихревой противоточной камеры сгорания; <i>рук. Новиков И.Н.</i>	29
<i>Комова О.В., Комова А.В., Терехова А.С.</i> Результаты экспериментального исследования вихревой противоточной камеры сгорания на водотопливной эмульсии; <i>рук. Новиков И.Н.</i>	30
<i>Гурина Р.В.</i> Разработка технологической схемы утилизации нефтешлама путем добавления в топочный мазут; <i>рук. Кулагина Т.А.</i>	31
<i>Иваницкий М.С.</i> Токсичность канцерогенных ПАУ в уходящих газах газомазутного котла ТГМП-314.....	32
<i>Наумова П.Ю.</i> Изменения в расчетах нормативов допустимых выбросов загрязняющих веществ; <i>рук. Еремина Н.А.</i>	33
<i>Наумова П.Ю.</i> Изменения в расчетах нормативов допустимых сбросов загрязняющих веществ; <i>рук. Еремина Н.А.</i>	34
<i>Карманова А.М.</i> Анализ схемы утилизации концентрата установки обратного осмоса; <i>рук. Бушуев Е.Н.</i>	35
<i>Колодяжная М.Э.</i> Совершенствование ВПУ блока 1200 МВт Костромской ГРЭС; <i>рук. Еремина Н.А.</i>	36
<i>Копылова Т.А., Софронова А.А., Кулишина А.А.</i> Анализ работы установки предварительной очистки ИвТЭЦ-3; <i>рук. Карпычев Е.А.</i>	37
<i>Королева Е.М., Лапина А.А.</i> Определение концентраций солевых компонентов в питательной и котловой воде блоков ПГУ; <i>рук. Ларин Б.М.</i>	38
<i>Кулишина А.А.</i> Сравнение технологических показателей работы блока фильтров с импортными и отечественными ионитами; <i>рук. Еремина Н.А.</i>	39

<i>Лапина А.А., Королёва Е.М.</i> Анализатор качества пара энергетических котлов ТЭС и парогенераторов АЭС; <i>рук. Ларин А.Б.</i>	40
<i>Логонова А.Ю.</i> Модернизация ВПУ Владимирской ТЭЦ-2; <i>рук. Еремينا Н.А.</i>	41
<i>Медведев В.Д.</i> Сравнение термических методов переработки ТБО; <i>рук. Ларин Б.М.</i>	42
<i>Данилина А.А., Орлов А.Е.</i> Особенности контроля фактической дозы микропеска в осветлителе Actiflo; <i>рук. Карнычев Е.А.</i>	43
<i>Рябинина А.А.</i> Проблемы ресурсосбережения на установках обратного осмоса при обессоливании воды на ТЭС; <i>рук. Бушуев Е.Н.</i>	44
<i>Федорова А.Ю.</i> Определение условных констант скоростей химической очистки от отложений экранных труб паровых котлов; <i>рук. Бушуев Е.Н.</i>	45
<i>Федорова А.Ю.</i> Исследование процессов химической очистки от отложений экранных труб паровых котлов; <i>рук. Бушуев Е.Н.</i>	46

Секция 3. Химия в энергетике

<i>Кинжибаева Т.С., Закожурников С.С.</i> Химические основы получения SiC; <i>рук. Закожурникова Г.С.</i>	49
<i>Графчикова А.А., Загаринская А.А., Ильина О.А.</i> Компактная установка для измерений проницаемости пористых сред; <i>рук-ли Игошин И.П., Зайцева Е.В.</i>	50

Секция 4. Теоретические основы теплотехники

<i>Бондарева Н.В.</i> Система подогрева клиновых задвижек на магистральных трубопроводах; <i>рук. Базаров А.А.</i>	53
<i>Онохин Д.А.</i> Теплоотдача заготовки в относительно длинных циклонных камерах; <i>рук. Карпов С.В.</i>	54

<i>Рязанцев В.А. , Забиров А.Р.</i> Теплообмен при пленочном кипении недогретых смесей вода-этанол под давлением; <i>рук. Ягов В.В.</i>	55
<i>Аверин Н.И., Светушков И.И.</i> Математическое моделирование нестационарной теплопроводности и термоупругости в COMSOL MULTIPHYSICS; <i>рук-ли Бухмиров В.В., Гаськов А.К.</i>	56
<i>Бакин А.И.</i> Комбинированная установка с парогазовыми циклами; <i>рук. Чухин И.М.</i>	57
<i>Быкова И.А., Садертинова В.А.</i> Эксергетический анализ простого цикла паротурбинной установки; <i>рук. Ракутина Д.В.</i>	58
<i>Воронин С.А., Малофеев Д.А.</i> Инструментальное исследование микроклимата в дошкольном образовательном учреждении; <i>рук. Ракутина Д.В.</i>	59
<i>Гадалова Е.А.</i> Методика теплового расчета биогазовой установки; <i>рук. Бухмиров В.В.</i>	60
<i>Евланова Е.Д., Карнаев М.С., Лихачева К.А.</i> Гидравлический расчет рекуперативных теплообменных аппаратов; <i>рук. Пророкова М.В.</i>	61
<i>Кокулин И.А.</i> Оптимизация размещения тепловыделяющих элементов РЭА для минимизации их теплового влияния друг на друга; <i>рук. Корочкина Е.Е.</i>	62
<i>Комаров К.А., Калинин М.Д.</i> Экспериментальное определение интегральной степени черноты энергосберегающей краски; <i>рук-ли Гаськов А.К., Бухмиров В.В. Созинова Т.Е.</i>	63
<i>Комаров К.А., Калинин М.Д.</i> Экспериментальное определение коэффициента теплопроводности энергосберегающей краски; <i>рук-ли Гаськов А.К., Бухмиров В.В.</i>	64
<i>Михайлова Д.С.</i> Инновационные технологии преподавания дисциплины "Тепломассообмен" ; <i>рук. Созинова Т.Е.</i>	65
<i>Пророкова М.В. ;</i> Оптимизация метода оценки комфортности микроклимата; <i>Бухмиров В.В.</i>	66

Филатов Д.С. Разработка охладительной воздушной камеры для каландровой линии; *рук. Корочкина Е.Е.*.....67

Чернов И.А. Освоение лабораторной работы на эвм "Анализ тепловой экономичности цикла ПГУ с котлом-утилизатором"; *рук. Чухин И.М.*.....68

Секция 5. Промышленная теплоэнергетика

Гарнышова Е.В. Контроль толщины отложений теплообменного оборудования и способы его очистки; *рук. Измайлова Е.В.*.....71

Евстафьева А.А., Сурикова А.Н. Использование пара утилизационных установок для подогрева питательной воды котлов; *рук. Лукин С.В.*...72

Евстафьева А.А., Сурикова А.Н. Исследование зависимости производительности БРНШ-3 от испарительных полок и движения нефтешлама по ним; *рук. Лукин С.В.*.....73

Звонарева Ю.Н. Показатели живучести взаимосвязанных инженерных систем; *рук. Ваньков Ю.В.*.....74

Карев Д.С. Комплексный анализ энергоэффективности работы элементов СЦТ ОАО «Сетка»; *рук. Мельников В.М.*.....75

Кириллова И.В. Повышение безопасности эксплуатации печей малого объема за счет моделирования процессов подготовки топлива; *рук. Кулагина Т.А.*.....76

Ротач Р.Р. Функциональный анализ систем теплоснабжения; *рук. Ваньков Ю.В.*.....77

Хазиахметова Э.Р. Современные теплоизоляционные материалы, применяемые в теплоэнергетике РФ. Сравнение БТВ и БСТВ; *рук. Ваньков Ю.В.*.....78

<i>Барышева А.Г.</i> Математическое и электронное моделирование возникновения аварийных ситуаций в тепловых сетях; <i>рук-ли Банников А.В., Сенников В.В.</i>	79
<i>Голубева А.Е.</i> Моделирование динамических режимов инфракрасного обогрева с использованием газовых и электрических излучателей; <i>рук. Пыжов В.К.</i>	80
<i>Комаров К.А.</i> Особенности математического моделирования многозонального динамического микроклимата; <i>рук. Пыжов В.К.</i>	81
<i>Козлова М.В.</i> Паровоздушный метод опреснения морской воды; <i>рук-ли Банников А.В., Соколов П.С.</i>	82
<i>Парфенов Г.И.</i> Моделирование динамического микроклимата в помещении тренажера БЩУ АЭС; <i>рук-ли Пыжов В.К., Захаров В.М., Смирнов Н.Н.</i>	83
<i>Терентьева К.В.</i> Моделирование в среде COMSOL Multiphysics динамических режимов системы панельного отопления (теплый пол); <i>рук. Пыжов В.К.</i>	84

Секция 6. Энергоресурсосбережение

<i>Белов Р.А.</i> Оптимизация гидравлических режимов систем централизованного теплоснабжения в п. Красная Горбатка от котельной на ул. Профсоюзная; <i>рук. Мельников В.М.</i>	87
<i>Изотова Е.А.</i> Установка для теплохладоснабжения; <i>рук. Медведева О.Н.</i>	88
<i>Медведева Н.Д., Перевалов С.Д.</i> Эффективная биогазовая установка; <i>рук. Медведева О.Н.</i>	89
<i>Николаева Е.И., Культяев С.Г.</i> Проектирование тепловых сетей с учетом радиуса эффективного теплоснабжения; <i>рук. Малая Э.М.</i>	90
<i>Савельева М.А., Глинщиков А.С.</i> Ресурсосберегающая оросительная камера; <i>рук-ли Культяев С.Г., Осипова Н.Н.</i>	91

<i>Сидорин А.А.</i> Энергосберегающий косвенно-испарительный кондиционер; <i>рук-ли Культияев С.Г., Осипова Н.Н.</i>	92
<i>Тьмуль А.И.</i> Энергосберегающие мероприятия на торговых предприятиях; <i>рук. Манцерова Т.Ф.</i>	93
<i>Федорчатенко В.И.</i> Вопросы применения твердооксидных топливных элементов для электроснабжения энергоудаленных потребителей; <i>рук. Шалухо А.В.</i>	94
<i>Халыев И.А., Таначев Н.О.</i> Комбинированная система теплоснабжения тепловой насос – солнечный коллектор; <i>рук. Гильфанов К.Х.</i>	95
<i>Алеманова Е.С., Гадалова Е.А.</i> Оценка потенциала солнечной энергии в Ивановской области; <i>рук. Банников А.В.</i>	96
<i>Комаров К.А.</i> Использование параболического солнечного концентратора для работы абсорбционной холодильной машины; <i>рук. Банников А.В.</i>	97
<i>Копосов А.С.</i> Термодинамические модели рабочего процесса в двигателе Стирлинга типа β ; <i>рук-ли Васильев С.В., Банников А.В.</i>	98

Секция 7. Автоматизация технологических процессов

<i>Андреев К.И., Ермоленко Р.И.</i> Модернизация систем управления наружным освещением городов севера; <i>рук. Тишков А.А.</i>	101
<i>Берсенева Н.И.</i> Выбор структуры системы стабилизации давления пара энергоблока 800 МВт с учетом свойств реальных возмущающих воздействий и динамики объекта регулирования; <i>рук-ли Шумихин А.Г., Стафейчук Б.Г.</i>	102
<i>Берсенева Н.И.</i> Применение модифицированного предиктора Смита в системе стабилизации давления пара энергоблока 800 МВт; <i>рук-ли Шумихин А.Г., Стафейчук Б.Г.</i>	103
<i>Королева В.Н.</i> Погодозависимая импульсная автоматическая система управления теплоснабжением здания; <i>рук. Блинов О.В.</i>	104

<i>Павлыгина В.А.</i> Разработка робота-пылесоса; <i>рук. Богданов А.Н.</i>	105
<i>Фоминых К.С.</i> Применение метода акустической диагностики тепловых сетей; <i>рук. Ваньков Ю.В.</i>	106
<i>Альбещенко М.Н.</i> Спектральный анализ случайных сигналов; <i>рук. Горнушкин А.Р.</i>	107
<i>Зыкова Ю.О.</i> Создание и редактирование двумерных динамических блоков в AUTOCAD; <i>рук. Торопова Е.К.</i>	108
<i>Каленова Е.А.</i> Разработка модели объекта для тренажера "АСР деаэрационной установки"; <i>рук. Плетников С.Б.</i>	109
<i>Колесов В.С.</i> Формирование канала связи из УПУ КР-500М в SCADA систему TRACE MODE; <i>рук. Демин А.М.</i>	110
<i>Мишина О.Д.</i> Модельно-ориентированный подход в программировании ПЛК; <i>рук. Ставров С.Г.</i>	111
<i>Юдичева А.С.</i> Нейросети в задачах многосвязного управления теплоэнергетическими объектами; <i>рук. Кондрашин А.В.</i>	112

Секция 8. Паровые и газовые турбины

<i>Воденяктов А.Д., Проломова А.К.</i> Модернизация конденсаторов паровых турбин К-200-130; <i>рук. Абасев Ю.В.</i>	115
<i>Кирьякова А.И.</i> ; Развитие ПГУ в России; <i>рук. Боруш О.В.</i>	116
<i>Марьин Г.Е., Менделеев Д.И.</i> Влияние работы входного направляющего аппарата компрессора ГТУ на показатели блока ПГУ; <i>рук. Галицкий Ю.Я.</i>	117
<i>Менделеев Д.И., Марьин Г.Е.</i> Анализ характеристик паровой турбины КТ-33/36–7,5/0,12 при различных режимах работы системы регулирования; <i>рук. Галицкий Ю.Я.</i>	118

<i>Носкова М.А.</i> Оптимизация режимов работы энергетических установок; <i>рук. Богомолова Т.В.</i>	119
<i>Тимишина Я.С.</i> Численное моделирование течения пара в стопорном клапане; <i>рук. Голошумова В.Н., Бродов Ю.М.</i>	120
<i>Воронкова А.С.</i> Двухтопливная ПГУ с параллельной схемой; <i>рук. Бо-руш О.В.</i>	121
<i>Аверин А.И.</i> Разработка и исследование способов снижения потерь в турбинных решетках; <i>рук-ли Григорьев Е.Ю., Зарянкин А.Е.</i>	122
<i>Аверин Н.И.</i> Обзор к-ε моделей турбулентности; <i>рук. Григорьев Е.Ю.</i>	123
<i>Белова Е.В.</i> Причины создания и актуальность полномасштабных тренажеров; <i>рук. Виноградов А.Л.</i>	124
<i>Павлычев С.А.</i> Разработка оборудования для термодинамического цикла, работающим на диоксиде углерода; <i>рук. Григорьев Е.Ю.</i>	125
<i>Нямба И.Р.</i> Выбор способов регулирования теплофикационной ПГУ при работе; <i>рук. Шлёнкин Р.Ю.</i>	126
<i>Костин Н.И.</i> Влияние конструкции соединения воздуховода с патрубком компрессора ГТЭ-160; <i>рук. Буданов В.А.</i>	127
<i>Альшевский А.Д.</i> Расчёт на прочность рабочей лопатки ГТУ; <i>рук. Киселев А.И.</i>	128
<i>Ивков Е.А.</i> Конструктивные исследования лопаток для повышения прочностных характеристик; <i>рук. Киселев А.И.</i>	129
<i>Силенко Д.А.</i> Обзор потерь энергии в турбинной решетке и путей их снижения; <i>рук. Яблоков Л.Д.</i>	130
<i>Борисов А.А.</i> Выбор горелочных устройств для малопроизводительных котлоагрегатов; <i>рук. Шлёнкин Р.Ю.</i>	131

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЁНЫХ «ЭНЕРГИЯ – 2019»

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ ТОМ 1

Печатается в авторской редакции

Подписано в печать 11.04.2019. Формат 60x84 1/16.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 8,25
Тираж 100 экз. Заказ № 112.
ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический
университет им. В.И. Ленина»
153003, Иваново, ул. Рабфаковская, 34.

Отпечатано в УИУНЛ ИГЭУ.