

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

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

«ЭНЕРГИЯ-2024»

ДЕВЯТНАДЦАТАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ
(ОДИННАДЦАТАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ)
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ
И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

г. Иваново, 14-16 мая 2024 года

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

ТОМ 1

ИВАНОВО

ИГЭУ

2024

УДК 620 + 621 + 628

ББК 31

Т 34

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА // Девятнадцатая всероссийская (одинадцатая международная) научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Энергия-2024»: материалы конференции. В 6 т. Т. 1. – Иваново: ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», 2024. – 160 с.

ISBN 978-5-00062-628-3

ISBN 978-5-00062-627-6 (Т.1)

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

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

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

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

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

Зам. председателя: 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**; и.о. зав. кафедрой тепловых электрических станций, к.т.н., доцент **С.Д. ГОРШЕНИН**; 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 **Е.В. ЗАЙЦЕВА**.

СЕКЦИЯ 1

ТЕПЛОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

Председатель

к.т.н., доцент **Горшенин С. Д.**

Секретарь

к.т.н., доцент **Барочкин А.Е.**

Бельшиев А.А, студ.; рук. В.Ф. Степанов, ст. преп.

РАЗРАБОТКИ ТЕСТОВОЙ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ТС ТЕХНИЧЕСКОГО ВОДО- СНАБЖЕНИЯ ПТУ К-1000-60/3000

Тестирование знаний специалистов по различным технологическим системам (ТС) ядерного энергоблока – один из важнейших этапов подготовки персонала на АЭС. Тестирование знаний является одним из необходимых и эффективных способов обучения студентов.

ТС ТВС предназначена для снабжения технической водой потребителей группы «В» в машзале, реакторном отделении и спец-корпусе, а также для подпитки системы техводоснабжения потребителей группы «А».

Состав ТС ТВС: 1. Два насоса технической воды (НТВ). 2. Два НТВ РДЭС. 3. Трубопроводы, служащие технологическими связями, и арматура, предназначенная для выполнения необходимых переключений; 4. КИП и средства автоматики и защиты, предназначенные для контроля работы системы и автоматизации технологического процесса.

ТС ТВС связана со всеми ТС ЭБ АЭС, где используется техническая вода.

К тестированию приняты режимы нормальной эксплуатации ТС ТВС: 1. Подготовка к пуску; 2. Пуск; 3. Работа на мощности; 4. Останов; 5. Вывод в ремонт.

Разработка тестовой программы производится в системе «Аттестат». Она позволяет: 1. Устанавливать для каждой категории обучаемых персональный объем знаний и состав изучаемых в соответствии с требованиями программы обучения и/или должностной инструкции; 2. Организовывать проведение групповых и индивидуальных занятий с указанием сроков и времени занятий, объема и последовательности изучаемого материала, режима подачи учебного материала, необходимости включения входного, промежуточного и выходного контроля знаний; 3. Обеспечить самостоятельную работу обучаемых лиц с учебным материалом; 4. Проводить различные виды проверки знаний; 5. Создавать новые КОС, а также вносить изменения в существующие базы знаний.

Библиографический список

1. **Инструкции** по эксплуатации энергоблока № 3 Калининской АЭС.
2. **Альбом** схем ТС энергоблока № 3 Калининской АЭС.

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

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ВЫБРОСОВ ТЭС В АТМОСФЕРУ

В условиях реализации требований государственной политики в области охраны окружающей среды сформирована стратегия экологического развития основных отраслей экономики, предусматривающая меры и организационные решения для постепенного перехода к полной углеродной нейтральности с учетом мировых климатических изменений. Применение технологических мероприятий на отечественных предприятиях энергетики, как одной из наиболее энергоемких отраслей экономики, должно позволить обеспечить низкий уровень выбросов парниковых газов в атмосферу. Проведение эксперимента по квотированию выбросов загрязняющих веществ в отечественной теплоэнергетике предполагает поиск наиболее перспективных и относительно малозатратных природоохранных проектов, ограничивающих поступление парниковых газов в атмосферу, основанных на применении наилучших доступных технологий (НДТ). Поэтому одной из главных задач эксперимента является стимулирование внедрения технологий снижения выбросов парниковых газов в атмосферу для минимизации углеродного следа. Получение информации о массовых выбросах парниковых газов и интенсивности их поглощения позволит реализовать основные принципы эксперимента по квотированию выбросов. В этой связи определение норм и технологических показателей выбросов для тепловых электрических станций (ТЭС) и других энергетических предприятий должно быть использовано при инвентаризации выбросов парниковых газов, их квотировании, осуществлении верификации углеродной нейтральности, для разработки экономических и финансовых механизмов стимулирования внедрения технологических мер, способствующих снижению выбросов парниковых газов в атмосферу.

Таким образом, в работе выполнен анализ законодательной базы, нормативно-технических документов и методических подходов к установлению норм и оценке технологических показателей выбросов парниковых газов в атмосферу для котельных установок, сжигающих органическое топливо. Результаты исследования могут быть использованы энергетическими предприятиями для установления технологических показателей выбросов парниковых газов в атмосферу, обоснования участия в государственном эксперименте по квотированию выбросов и разработке программы повышения экологической эффективности, подготовке углеродной отчетности ТЭС.

И.А. Максимов, асп.; М.А. Островский, студ.;
Зуйкин Р.Е., студ.
(НИУ «МЭИ», г. Москва)

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПАРОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК ЗА СЧЁТ УТИЛИЗАЦИИ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ТЕПЛОТЫ

Повышение эффективности производства электроэнергии является одним из приоритетов, отражённых в Энергетической стратегии России на период до 2035 года. На сегодняшний день наибольшей энергоэффективностью обладают парогазовые энергоблоки, однако наличие источников рассеиваемой низкопотенциальной теплоты в бинарных циклах предопределяет потенциал к дополнительному росту КПД.

В настоящей работе проведён термодинамический анализ тринарного цикла парогазовой установки, где для сокращения теплотерь в конденсаторе паровой турбины используется развитая система регенерации, а теплота уходящих газов утилизируется в органическом цикле Ренкина с рекуператором (рис. 1). Было установлено, что на дубль-блочной ПГУ с ГТЭ-160 такая схема обеспечивает мощность нетто на 6.7 МВт большую, чем на традиционном блоке с двухконтурным котлом-утилизатором.

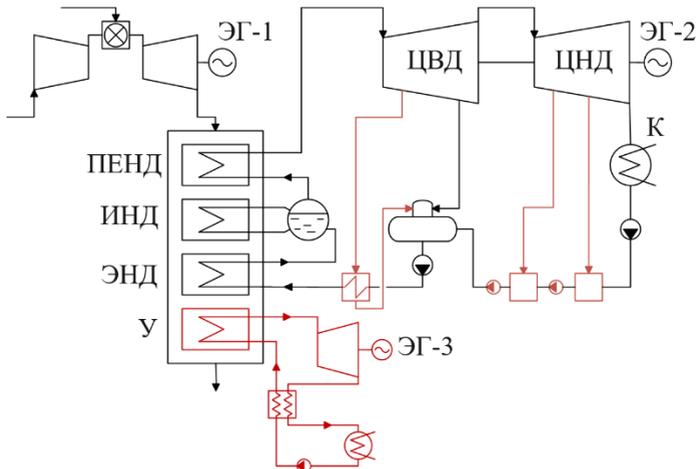


Рисунок 1 – Тепловая схема ПГУ с ОЦР

Исследование проведено в НИУ «МЭИ» при финансовой поддержке Минобрнауки России (государственное задание № FSWF-2023-0014, соглашение № 075-03-2023-383 от 18 января 2023 г.).

Библиографический список

1. **Тринарные** энергетические циклы для высокоэффективного производства электроэнергии из ископаемого топлива / В.О. Киндра, В.Ю. Наумов, Н.С. Скляр [и др.] //Новое в российской электроэнергетике. — 2022. — № 4. — С. 7–25.

*С.Д. Гостилов, студ. Колесников, студ.,;
рук. А.Е. Барочкин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

**ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ УВЕЛИЧЕНИЯ
МОЩНОСТИ ТУРБИНЫ
К-220-44-3 КОЛЬСКОЙ АЭС**

Кольская АЭС (КолАЭС) — российская атомная электрическая станция, уникальная тем, что это первая атомная станция, построенная в суровых климатических условиях Заполярья и самая северная АЭС в Европе. Суммарная установленная мощность Кольской АЭС — 1760 МВт. Кольская АЭС – главный производитель электроэнергии в Мурманской области. .

Как и любая атомная станция в мире, Кольская АЭС нуждается в постоянной модернизации оборудования под современные нужды, связанные с удешевлением электроэнергии и повышением надежности и безопасности работы энергетического предприятия.

Одним из таких мероприятий является повышение тепловой мощности во втором контуре блока электростанции. Следствием этого будет увеличение расхода свежего пара в проточную часть турбины, при сохранении номинальных параметров пара, повышении электрической мощности и изменение конструкции турбоагрегата.

Вопрос возможности увеличения мощности был рассмотрен в техническом отчете В.Л. Швецова.

Проведенные расчеты показывают, что повышение тепловой мощности второго контура на 7% и электрической мощности турбоустановки до 250 МВт удастся сохранить существующие узлы и детали турбины К-220-44-3. Конструктивные изменения турбины коснутся только соплового аппарата 1 ступени ЦВД – необходимо увеличение проходных сечений в направляющих лопатках 1 ступени ЦВД, при этом количество средний диаметр и длина направляющих лопаток остаются такими же, как и в существующем сопловом аппарате 1 ступени ЦВД.

Таким образом, незначительная модернизация даже не всей турбины, а только соплового аппарата 1 ступени позволит увеличить мощность на 7% и повысить выработку электроэнергии до 250 МВт, а также повысить безопасность и устойчивость работы блока.

*Д.А. Гусев, студ.; рук. Е.В. Зиновьева, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОСОБЕННОСТИ ВЕТРОВОГО РЕЖИМА ТВЕРСКОЙ ОБЛАСТИ

Ветроэнергетика - одна из самых быстроразвивающихся отраслей альтернативной энергетики. Ветровые электростанции (ВЭС) используют силу ветра для генерации электроэнергии. Анализ ветроэнергетического потенциала позволяет определить эффективность использования ветроустановок в том или ином регионе. Основным параметром, влияющими на принятие решения о целесообразности использования ВЭС, является скорость ветра. Известно [1], что для работы ветрогенераторов минимальная скорость ветра должна составлять примерно 3,5-4 м/с.

С целью повышения энергообеспеченности России, на территории всех регионов рассматривается возможность внедрения альтернативной энергетики. Тверская область, как одна из промышленных областей ЦФО, не стала исключением. Этот регион характеризуется довольно мягким континентальным климатом, с невысокими скоростями ветра.

В рамках исследования были использованы данные о скорости и направлении ветра, предоставленные метеорологическими станциями Тверской области [2]. Полученные данные были обработаны и проанализированы с использованием статистических методов.

Проведенные исследования ветропотенциала региона за десятилетний период (01.01.2013г.-01.01.2024г.) показали, что среднегодовая скорость ветра в Тверской области на приземной высоте колеблется от 1,46 до 2,31 м/с, что в 2 раза менее требуемой.

Однако, это не означает, что ветроэнергетика не имеет перспектив в данном регионе. При таких скоростях ветра возможно использование ветроустановок малой мощности.

Дополнительно необходимо провести исследования, включающие оценку других источников возобновляемой энергии, таких как

солнечная и гидроэнергетика, для определения наиболее эффективных решений для Тверской области.

Библиографический список

1. Безруких П.П., Ветроэнергетика: Справочно-методическое издание/ П.П. Безруких, П.П. Безруких (мл.), С.В. Грибков, под общ. ред. П.П. Безруких. – М.: «Интерэнерго-Издат», «Теплоэнергетик», 2014. – 304 с. URL:

<https://rawi.ru/wp-content/uploads/2021/01/vetroenergetika-spravочно-metodicheskoe-izdanie-by-bezrukih-p.p.-bezrukih-p.p.-ml.-gribkov-s.v..pdf> (дата обращения 06.11.23)

2. Расписание погоды (метеоданные наземных станций всех стран мира) - URL: <http://rp5.am/> (дата обращения 01.11.23)

*А.С. Зиновьева, асп.; рук. Г.В. Ледуховский, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ РАСЧЕТА ФАКТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ГТУ

В расчетах фактических показателей тепловой экономичности (ПТЭ) газотурбинных установок (ГТУ) используются энтальпии теплоносителей: воздуха на входе в компрессор, топлива на входе в камеру сгорания, уходящих газов на выходе из турбины. Энтальпии зависят от состава теплоносителей (смеси газов) и их измеренных параметров – давления (p) и температуры (t): $h = f(\text{состав}; p; t)$.

В практике расчетов на ТЭС для определения энтальпий используют либо соответствующие таблицы теплофизических свойств газов (и при этом фактически не учитывают реальный состав смеси газов), либо специализированные онлайн-калькуляторы или программные средства. Однако во многих случаях в расчетах ошибочно принимают значения энтальпий, отсчитанные от абсолютного нуля температуры, то есть в виде $h = h_t$, где h_t – энтальпия при измеренной температуре теплоносителя в соответствующей точке установки.

Причиной этого является отсутствие в большинстве современных руководящих документов указаний о необходимости отсчета энтальпий теплоносителей ГТУ от базовой температуры (отличной от абсолютного нуля). В более ранних документах такие указания присутствовали. Например, в ГОСТ 20440-75 «Установки газотурбинные. Методы испытаний» в п. 5.2.4 прямо указано следующее: «Значения энтальпий при всех расчетах отсчитываются от 273 К». То есть регламентировано определение энтальпии в виде $h = h_t - h_{t_0}$, где h_{t_0} – энтальпия теплоносителя того же состава и того же давления при температуре $t_0 = 273$ К.

В докладе рассматриваются результаты анализа последствий применения ошибочного расчета энтальпий теплоносителей ГТУ при

определении их ПТЭ. На примере одного из режимов работы ГТУ типа GTX-100 выявлено, что использование $h = h_t$ вместо $h = h_t - h_{t0}$ приводит к ошибке в расчете фактического значения КПД брутто ГТУ в 0,8 % (абс.). При абсолютном значении КПД на уровне 35 % такая ошибка оказывается недопустимой и приводит к кардинальному изменению выводов об экономичности установки: в данном случае вместо реальной экономии топлива в 26 т у.т./месяц (косвенно подтверждаемой соответствием суммы РТЭ – резервов тепловой экономичности энергоблока ПГУ по составляющим общему РТЭ энергоблока) будет фиксироваться перерасход топлива на уровне 230 т у.т./месяц.

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

МОДЕРНИЗАЦИЯ ПРОМКОНТУРА СИСТЕМЫ ГАЗООХЛАЖДЕНИЯ ГЕНЕРАТОРА НА БЛОКЕ №2 КАЭС

Калининская АЭС – одна из передовых атомных электростанций России по установленной мощности (4000 МВт) с двумя очередями по два энергоблока по 1000 МВт каждый (реакторы ВВЭР-1000). Расположена на севере Тверской области в 150 км от города Тверь.

Изменение экологического баланса озера Удомля привело к общей недовыработкой энергии и значительным экономическим потерям.

В результате полного анализа работы системы газоохлаждения генератора предположительными причинами неэффективной работы контура газо- и воздухоохлаждения генератора были признаны:

- недостаточность поверхности охлаждения имеющихся теплообменников ОГЦ (0,7-0,8% от текущей полной мощности генератора);
- повышенный расход воды контура газоохлаждения из-за использования значительного расхода воды для охлаждения контура системы охлаждения статора генератора через водо-водяные теплообменники ВВТ-100;
- возможные перетоки газа через неплотности перегородок между камерами холодного и горячего газа генератора.

Компенсировать дефицит поверхности охлаждения ОГЦ было решено установкой дополнительного теплообменника в параллель к существующим. Исходя из условий компоновки и ремонтпригодности, концерном «Росэнергоатом», было рекомендовано установить пластинчатый теплообменник (ПТО).

Кроме того, было принято решение о реконструкции контура охлаждения ВВТ переводом охлаждения его с дистиллята контура газоохлаждения генератора на охлаждение технической водой подаваемой в

машинный зал насосами неответственных потребителей НТН. Данная схема подачи охлаждающей воды от постороннего источника, не связанного с контуром газоохлаждения, должна будет позволить значительно увеличить запас по температурным параметрам генератора, вследствие перераспределения расхода дистиллята контура газоохлаждения в сторону его увеличения. Также модернизация должна будет существенно повысить маневренность при эксплуатации ОГЦ в плане их технического обслуживания.

*А.В. Кудаярова, студ.; рук. С.А. Панков, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МОДЕРНИЗАЦИЯ НАДБАНДАЖНЫХ УПЛОТНЕНИЙ ЦВД ТУРБИНЫ ПТ-60-130/13

Если проанализировать составляющие дополнительных потерь энергии в турбинных ступенях с полным подводом пара, то максимальное значение будут иметь потери от утечек. В части высокого давления (ЦВД) относительные потери от утечек примерно составляют до 20% общих потерь энергии в ступени и до 25% от основных потерь. Потери от утечек через надбандажные уплотнения в 5÷15 раз превышают потери в диафрагменных уплотнениях.

В процессе эксплуатации турбины из-за износа уплотнений потери от утечек возрастают, что приводит к снижению КПД. Уменьшение относительного внутреннего КПД цилиндра при износе уплотнений может составлять до 3÷4% по сравнению со значениями начального периода эксплуатации после монтажа или капитального ремонта.

Исследовались традиционные надбандажные уплотнения, имеющие по два гребня на бандаже рабочей решетки и металлокерамические вставки со стороны статора. В случае задевания уплотняющие гребни должны проделывать «дорожку» в этих вставках, однако на практике наблюдается интенсивный износ самих гребней. Расчеты выполнены для следующих условий: число гребешков –2; радиальные зазоры от 1,2 мм.

В качестве модернизации предлагается установка сотовых надбандажных уплотнений, для чего необходимо провести ряд операций: ремонт гребней на бандажах с восстановлением требуемой формы; механическая обработка узлов статора под установку сотовых вставок и установка вставок; расточка рабочей поверхности установленных сотовых вставок в окончательный размер, согласно требованиям конструкторской документации. Сотовые вставки изготовлены из жаропрочной хромоникелевой фольги толщиной 0,05 мм и имеют шестигранную форму ячейки в продольном сечении. Высота сот в поперечном сечении

составляет не менее 4÷5 мм, диаметр вписываемой в ячейку окружности около 1мм. Расчеты выполнены для условий: число гребешков – 6 (2 на бандаже и 4 со стороны статора); радиальные зазоры от 0,2 мм.

По результатам расчетов построены графики зависимостей величины потерь от утечек и КПД ступеней от вида применяемых уплотнений. Повышение КПД при использовании сотовых уплотнений по отношению к лабиринтовым составил 2,3%.

*Д.С. Федоров, асп.; рук. Г.В. Ледуховский, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОПРАВОК К ПОКАЗАТЕЛЯМ ТЕПЛОВОЙ ЭКОНОМИЧНОСТИ ГТУ ПО ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМ ДАННЫМ

Парогазовые установки (ПГУ), обладающие в сравнении с паросиловыми энергоблоками высокими показателями тепловой экономичности, в настоящее время обеспечивают существенную долю генерации электрической энергии в России. На этапе проектирования и освоения ПГУ в основном решены задачи выбора и обоснования компоновочных и конструктивных решений, параметров теплоносителя в водопаровом тракте, тепловых схем. На этапе эксплуатации существенные резервы тепловой экономичности связаны с режимной оптимизацией, предусматривающей перераспределение электрических и тепловых нагрузок между параллельно работающими агрегатами, в том числе ПГУ и установками паросилового цикла.

Решение задач режимной оптимизации сопряжено с необходимостью разработки математических моделей, с достаточной точностью описывающих характеристики действующего оборудования в возможных режимах эксплуатации. Опыт предшествующих исследований [1] показывает, что в качестве основы для моделирования наиболее перспективным является использование нормативных энергетических характеристик оборудования с введением соответствующих поправок на отклонение значений внешних факторов от фиксированных условий. Для паросиловых энергоблоков эта задача в целом решена. Для ПГУ и, в частности, для газотурбинных установок (ГТУ) отсутствуют в достаточной мере обоснованные методы расчета таких поправок.

Предлагается способ определения поправок к основным и промежуточным показателям тепловой экономичности ГТУ на отклонение значений внешних факторов от фиксированных условий в виде

мультипликативных функций, идентификация которых выполняется по фактическим эксплуатационным данным методами множественного регрессионного анализа. Решение поставленной задачи иллюстрируется применительно к ГТУ типа GTX-100 и SGT-800 номинальной электрической мощностью 43 и 45 МВт соответственно.

Библиографический список

1. Программный комплекс «ТЭС-Эксперт»: опыт оптимизации режимов работы оборудования ТЭЦ / Барочкин Е.В., Поспелов А.А., Жуков В.П., Андреев А.А., Ледуховский Г.В., Борисов А.А. // Вестник ИГЭУ. 2006. № 4. С. 3-6.

*Д.С. Федоров, асп.; рук. Г.В. Ледуховский, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

СОПОСТАВЛЕНИЕ ФАКТИЧЕСКИХ И НОМИНАЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ГТУ

Для оптимизации работы оборудования ТЭС необходимо располагать математическими моделями, с приемлемой точностью описывающими параметры действительных режимов его эксплуатации. Часто такие модели разрабатываются на основе нормативных энергетических характеристик (НЭХ) оборудования, которые с введением комплекса поправок на отклонение значений внешних факторов от фиксированных условий позволяют получать номинальные значения показателей тепловой экономичности (ПТЭ) в каждом конкретном режиме.

Чем больше различаются номинальные и фактические значения ПТЭ для одних и тех же условий (ΔP_i), тем хуже прогностические возможности математической модели. Поэтому на начальном этапе построения модели важно определить диапазоны возможных значений ΔP_i по каждому интересующему ПТЭ. В докладе решение такой задачи рассматривается применительно к газотурбинной установке (ГТУ) типа SGT-800. На рисунке в качестве примера приведены данные по температуре уходящих газов ГТУ. Фактические значения получены в результате измерений, номинальные значения рассчитаны для тех же режимов по НЭХ с введением соответствующих поправок.

Видно, что в данном случае НЭХ с комплексом поправок не позволяют прогнозировать рассматриваемый параметр ГТУ с приемлемой точностью. Аналогичная ситуация выявлена и по другим ПТЭ. Такой

результат ставит задачу уточнения существующих либо разработки дополнительных поправок к НЭХ.

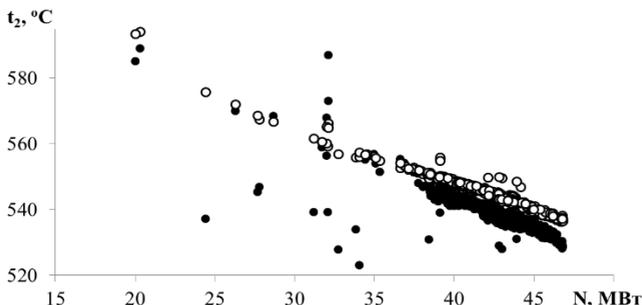


Рисунок – Результаты сопоставления: t_2 , °С – температура уходящих газов ГТУ; N , МВт – электрическая мощность ГТУ; ○ – расчет по НЭХ с поправками; ● – по данным учета фактических показателей (данным АСУ ТП)

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

ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ ВСТРОЕННОГО ПУЧКА КОНДЕНСАТОРА КГО-6200-2

Конденсационная установка состоит из конденсаторной группы типа КГО-6200-2, включающей в себя два поверхностных двухходовых конденсатора, соединенных между собой по паровой стороне двумя уравнительными линиями. Во избежание нарушения плотности вальцовочных соединений при различных режимах работы на корпусе каждого конденсатора предусмотрены линзовые компенсаторы. Корпуса конденсаторов приварены к выхлопным патрубкам ЦНД и установлены на пружинных опорах. Охлаждающая поверхность по водяной стороне разделена на три обособленные части: крайние и средние пучки составляют 85% и встроенный пучок – 15%.

Основной проблемой являются потери тепла в конденсаторе на теплофикационных режимах. Они снижают тепловую экономичность турбин с регулируемым отбором пара по сравнению с турбинами с противодавлением, в которых такие потери отсутствуют. Вместе с тем турбины с регулируемым отбором, снабженные конденсационной установкой, имеют то преимущество, что могут работать с независимым заданием электрической и тепловой нагрузок, в то время как в турбинах с противодавлением выработка электроэнергии однозначно связана с тепловой нагрузкой.

Потери тепла в конденсаторе на режимах работы с тепловой нагрузкой могут быть сведены к минимуму или полностью исключены двумя способами – сокращением пропуски пара в ЧНД и других сбросов тепла в конденсатор до нуля или близких к нулю величин; использованием тепла пара, поступающего в конденсатор, в цикле станции, например для подогрева обратной сетевой или подпиточной воды тепловых сетей.

Известны реконструкции турбин, предусматривающие на отопительный период замену ротора НД на промежуточный вал, что позволяет практически полностью исключить расход пара в конденсатор. Недостатком такого режима является необходимость останова турбины, разборка ЧНД с заменой ротора НД промежуточным валом при каждом переходе от теплофикационного режима с минимальным пропуском пара в конденсатор на режим работы по электрическому графику с выработкой конденсационной электрической энергии. В новых турбинах значительное распространение получило выполнение конденсатора «со встроенным пучком».

*В.М. Андрианов, асп.; рук. С.Д. Горшенин, к.т.н., доцент
(ИГЭУ, г. Иваново)*

СХЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ПАРОГАЗОВЫХ ТЭС

На парогазовых ТЭС все чаще начинают применять драйкулеры или сухие градирни для охлаждения конденсаторов турбоагрегатов. По сравнению с башенными градирнями они занимают гораздо меньше места, легче в обслуживании или ремонте.

В качестве примера рассмотрим систему циркуляционного "сухого" охлаждающего оборудования Прегольской ТЭС [1]. Для охлаждения четырех блоков парогазовых установок 110МВт используются две сухих градирни типа АС-F200/22. Внешне сухая градирня представляет собой перевернутую усеченную пирамиду. Из-за различных требований к максимально допустимой температуре охлаждающей воды на выходе, градирни были разделены на две зоны:

- +48°С для контура охлаждения конденсатора паровой турбины;
- +35°С для контура охлаждения вспомогательного оборудования.

Для основного оборудования в градирне предусмотрено 18 секций, а для вспомогательного 4.

Принцип работы схож с обычной градирней. Из конденсатора охлаждающая вода подается в градирню через насосную станцию, а далее в каждую из секций градирни. В секциях вода направляется вертикальными трубными пучками, в которых она охлаждается воздухом,

забираемым снаружи. Затем охлажденная вода подается обратно в конденсатор.

Для повышения эффективности охлаждения устанавливаются радиальные вентиляторы, которые располагаются вертикально один над другим для каждой секции. Кроме того, 2 из 3 вентиляторов оснащены частотными преобразователем для регулировки скорости вращения.

Для охлаждения вспомогательного оборудования в летние месяцы организована возможность адиабатического увлажнения впускного воздуха до теплообменных поверхностей. Эта система предусмотрена для понижения температуры воздуха. Вода перекачивается по трубопроводам в форсунки, которые в потоке впускного воздуха создают водяной туман. За счет испарения мелких капель воды температура воздуха понижается.

Библиографический список

1. Альбом технологических схем Прегольской ТЭС.

*В.М. Андрианов, асп.; рук. С.Д. Горшенин, к.т.н., доцент
ИГЭУ, г. Иваново*

СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ПАРОТУРБИННЫХ ТЭС

Конденсатор является важной и неотъемлемой частью любой электрической станции. Давление пара в конденсаторе существенно влияет на работу турбогенератора и составляет, как правило, не более 12 кПа.

Одним из ключевых факторов, влияющих на глубину вакуума в конденсаторе, является тип системы технического водоснабжения.

Прямоточная система водоснабжения с береговой насосной встречается не так часто. Для этой системы необходимо наличие полноводной реки или крупного водоема. Эта схема позволяет обеспечить максимально выгодные условия охлаждения за счет низкой температуры охлаждающей воды.

Схема оборотного водоснабжения с прудом-охладителем больше распространена, чем прямоточная. Используемые водоемы могут быть как естественными, так и искусственными. Несмотря на то, что пруд-охладитель дорогое сооружение, он обеспечивает лучшие условия охлаждения по сравнению с другими системами оборотного водоснабжения.

Схема оборотного охлаждения конденсатора с градирней более распространена на вновь вводимых ТЭС, так как не требуют постоянного источника водоснабжения и способствуют снижению площади промплощадки.

Выбор способа технического водоснабжения при проектировании тепловой электрической станции значительно влияют на величину экономически выгодного вакуума в конденсаторе, а значит и на основные технико-экономические показатели работы ТЭС. Например, можно организовать более глубокий вакуум в конденсаторе за счет повышения расхода охлаждающей воды, но увеличение затрат электроэнергии на привод циркуляционных насосов могут превысить прирост мощности паровой турбины. В отельных случаях на глубину вакуума могут повлиять дополнительные факторы, например, величина налога за водопользование ТЭС.

Библиографический список

1. В.Д. Буров, Е.В. Дорохов, Д.П. Елизаров и др.. Тепловые электрические станции, учебник для вузов. Издательский дом МЭИ. 2009 – 467 с.
2. В.А. Чиж, Н.Б. Карницкий, С.М. Денисов. Водоподготовка и водно-химические режимы ТЭС и АЭС. Белорусский национальный технический университет. 2015. – 107 с.
3. Ю.М. Бродов, Р.З. Савельев. Конденсационные установки паровых турбин: Учебн. пособие для вузов. М.: Энергоатомиздат, 1994.— 288 с

*Д.А. Михальцов, студ.; рук. И.А. Кокулин, ассистент
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ЗАГРУЗКИ ОБОРУДОВАНИЯ ТЕПЛОФИКАЦИОННЫХ ТУРБИН

Теплофикационные турбины играют важную роль в обеспечении надёжной и эффективной работы теплоэлектроцентралей (ТЭЦ). Они позволяют использовать тепловую энергию, вырабатываемую при производстве электроэнергии, для отопления и горячего водоснабжения.

Определение оптимальных режимов загрузки теплофикационных турбин является ключевым фактором в обеспечении их эффективной работы. Это позволяет достичь максимальной производительности при минимальных затратах топлива и других ресурсов.

Важность определения оптимальных режимов загрузки теплофикационных турбин заключается в том, что это позволяет:

- снизить затраты на топливо и другие ресурсы (максимально эффективное использование тепловой энергии).
- обеспечить надёжную работу турбин (отсутствие перегрузок).
- улучшить качество теплоснабжения (обеспечение стабильного и качественного теплоснабжения потребителей).

В рамках данной работы рассмотрена эффективность решения оптимизационной задачи при помощи программного комплекса «ТЭС-Эксперт» для двух турбоагрегатов типа Т-100/120-130, параллельно

работающие по свежему пару, питательной воде, электрической мощности и сетевой воде.

Расчеты выполнялись на всём диапазоне электрической мощности, которую могут обеспечивать турбоагрегаты при заданных параметров сформированного режима.

Исходя из полученных данных в результате расчета, наблюдается экономия по расходу сжигаемого топлива на ТЭЦ при оптимальной загрузке оборудования.

Сравнение рассчитанных технико-экономических показателей работы ТЭЦ (удельный расход топлива) в зависимости от типа загрузки оборудования теплофикационных турбин

Наименование показателя	Оптимальный	Неоптимальный	Отклонение
бэ, г у.т./кВт.ч	305,53	308,70	1,03%
втэ, кг у.т./Гкал	130,57	130,87	0,23%

Из чего следует вывод, что оптимизация загрузки оборудования турбин позволяет выявить наиболее эффективные режимы работы турбин и определить оптимальные параметры их эксплуатации.

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

РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПОДАВЛЕНИЮ ВЫБРОСОВ ОКСИДОВ АЗОТА NO_x НА КОТЛЕ БКЗ-420-140 ГМ НИЖЕГОРОДСКОЙ ГРЭС

Наиболее опасными выбросами ТЭС являются оксиды азота. Содержание оксидов азота определяет токсичность продуктов сгорания угля и мазута на 40-50 %, а природного газа на 90-95 %. Кроме того, оксиды азота под воздействием ультрафиолетового излучения активно участвуют в фотохимических реакциях в атмосфере с образованием других вредных газов. Для снижения выбросов оксидов азота на электростанциях проводят следующие мероприятия:

- использование специальных горелок (снижение NO_x до 60 %);
- ступенчатое сжигание топлива (снижение NO_x на 35-45 %);
- ступенчатую подачу воздуха (снижение NO_x до 50 %);
- рециркуляцию дымовых газов (снижение NO_x до 33 %);
- впрыск воды (водомазутной эмульсии) в ядро факела (снижение NO_x на 25-44 %);
- комбинацию первичных мероприятий (снижение NO_x до 90 %).

Первичные мероприятия малозатратны, и поэтому их применяют прежде всего для обеспечения нормируемых выбросов оксидов азота.

Тепловой расчет к/а БКЗ-420-140 ГМ проводился для природного газа с теплотой сгорания $Q_{нр} = 8630$ ккал/м³.

Всего были выполнены четыре варианта поверочного расчета:

- номинальная нагрузка, степень рециркуляции дымовых газов – 0%;
- номинальная нагрузка, степень рециркуляции газов – 20%;
- 50%-ая нагрузка, степень рециркуляции дымовых газов равна 0%;
- 5%-ая нагрузка, степень рециркуляции дымовых газов равна 15%.

Для снижения выбросов оксидов азота на котлоагрегате БКЗ-420-140 ГМ при сжигании природного газа до уровней, не превышающих ПДВ, рекомендуются следующие мероприятия:

1. Рециркуляция продуктов сгорания, как обычным способом, так и неравномерная, по горелкам одного яруса. При доле газов рециркуляции $г = 20-22\%$ внедрение данного мероприятия позволит снизить выход NO_x на 55-60% и достичь уровней ниже ПДВ.

2. Применение усовершенствованных конструкций горелочных устройств. Хотя реализация данного мероприятия и требует значительных капитальных вложений, тем не менее оно позволит уменьшить эмиссию оксидов азота до 70% и получить выброс NO_x на уровне существенно ниже установленного ПДВ.

*Н.Т. Манин, К.С. Рудяков, студ.;
рук. А.Е. Барочкин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, Иваново)*

УСТАНОВКА КОНТАКТНЫХ ЭКОНОМАЙЗЕРОВ В КОТЕЛЬНОЙ ГОРОДА СЫКТЫВКАР

При текущем развитии энергетики в России на большинстве ТЭС и крупных водогрейных котельных, расположенных в центральной части страны, в качестве основного топлива сжигается природный газ. Основной составляющей потери теплоты в газомазутных котлах является потеря тепла с уходящими газами, которая обычно изменяется в пределах от 5 до 6%. Следовательно, единственным путем значимого повышения КПД газомазутных котлов является глубокое охлаждение дымовых газов на выходе из котла до температуры конденсации водяных паров и полезное использование выделяющейся скрытой теплоты конденсации.

Котельная ЦВК - основной источник централизованного теплоснабжения в г. Сыктывкар. Установленная тепловая мощность 513 Гкал/ч.

Тепловая нагрузка 411 Гкал/ч. На данной котельной предлагается установка контактных экономайзеров прямого действия для использования теплоты уходящих газов трёх водогрейных котлов ПТВМ-50. Конструкция контактных экономайзеров обеспечит глубокое охлаждение и конденсацию водяных паров. Основным требованием для нагреваемой среды является температура менее 55 °С для поддержания точки росы. Поэтому, в качестве нагреваемой среды выступит подпиточная вода теплосети. Главная цель – увеличение топливной эффективности более чем на 6,57 тыс. т у.т. в год.

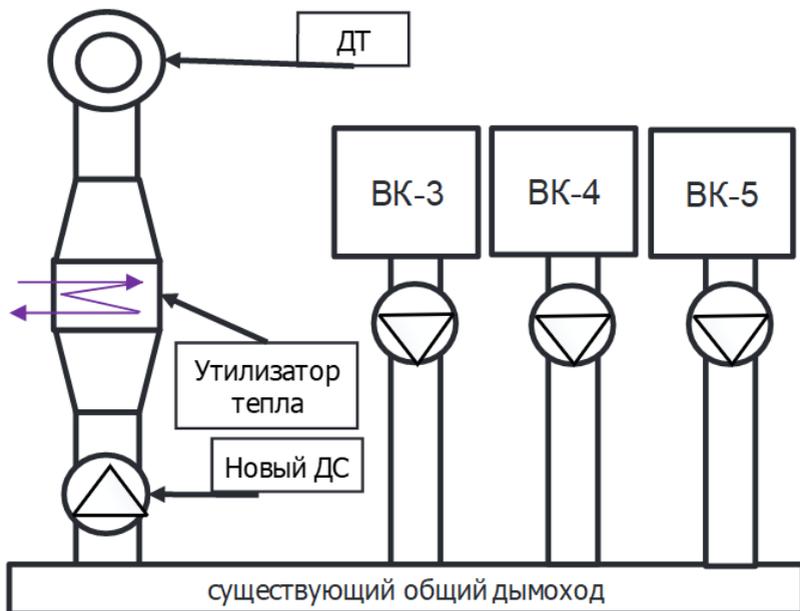


Рисунок 1. Схема установки

Библиографический список

1. **Аронов И.З.** Контактный нагрев воды продуктами сгорания природного газа. - 2-е изд., перераб. и доп. - Л.: Недра : Ленингр. отд-ние, 1990. - 280 с

*Е.Д. Гильмутдинов, асп.; рук. С.Д. Горшенин, к.т.н., доцент
ИГЭУ, г. Иваново*

УТОЧНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЕСОРБЦИИ РАСТВОРЕННОГО КИСЛОРОДА В ДЕАЭРАТОРЕ ТИПА АВАКС

Деаэратор типа АВАКС работает за счет попадания перегретой воды в зону с пониженным относительно состояния насыщения давлением. Отличается простотой и компактностью, но до сих пор остается малоизученным аппаратом.

Значимый вклад в исследование эффективности деаэраторов, работающих на начальном эффекте, сделан научным коллективом кафедры ТЭС ИГЭУ, в частности Ледуховским Г.В., Барочкиным Ю.Е. [1]. Авторами предложена математическая модель процесса деаэрации воды, содержащая единственный параметр идентификации b :

$$\zeta = 1 - \frac{1}{1 + b \frac{Ar}{Ku}},$$

где ζ – эффект деаэрации, Ar – критерий Архимеда, Ku – критерий Кутателадзе, Δt – уменьшение температуры деаэрируемой воды в деаэрационном элементе, r – удельная теплота парообразования, c_p – удельная теплоемкость воды.

В результате идентификации модели по экспериментальным данным по деаэраторам ДЦВ, КД и ДКС коэффициент b предлагается определять по выражению:

$$b = 0,37 - 0,18 \frac{G}{G_n} + 0,007(t_{ex} - t_s),$$

где G и G_n – эффект текущая и номинальная гидравлическая нагрузка, $t_{вх}$ и t_s – температура воды на входе и температура насыщения.

Целью настоящего этапа исследований является уточнение предложенной математической модели по экспериментальным данным, полученным на физическом стенде деаэратора типа АВАКС [2].

Библиографический список

1. Барочкин, Ю.Е. Совершенствование технологических систем ТЭС с применением кавитационно-струйного деаэратора: дис. ...канд. техн. наук. 05.14.14 / Барочкин Юрий Евгеньевич. – Иваново, 2020. – 165 с.

2. Гильмутдинов Е.Д. Разработка экспериментального стенда деаэрационной установки с деаэратором типа АВАКС / Гильмутдинов Е.Д., Горшенин С.Д. // Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологии (XXII Бенардосовские чтения): Междунар. науч.-техн. конф.: 31 мая – 2 июня 2023 г.: Материалы конференции. Т 2 / Под. ред. Г.В. Ледуховского, В.В. Тютикова, В.А. Шуина и др. – Иваново: ФГБОУ ВО «Ивановский государ. энергетический университет им. В.И. Ленина», 2023. – 388 с. С. 51-54.

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

ГЕОТЕРМАЛЬНОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ ВОЗДУХА В КВОУ ГТУ ЭНЕРГОБЛОКА ПГУ-800 МВт ПЕРМСКОЙ ГРЭС

Пермская ГРЭС – четвертая в России (и первая в Пермском крае) тепловая станция по установленной мощности (3 393 МВт). Пермская ГРЭС вырабатывает около 2% от общего объёма производимой в России электроэнергии (ежегодный отпуск электроэнергии станцией составляет порядка 13 млрд кВт*ч).

За 2019 - 2021 гг. только по филиалу «Пермская ГРЭС» потеря маржинальной прибыли Общества из-за ограничения мощности по погодным условиям составила 490,7 млн. руб.

С учётом того, что филиал «Пермская ГРЭС» расположен в центральной части Урала с умеренно-континентальным климатом, был разработан комплекс мероприятий, основной задачей которого является охлаждение воздуха в КВОУ перед компрессорами ГТУ энергоблока ст. № 4.

Для частичного исключения данной проблемы предлагается инновационное решение в качестве основного мероприятия по внедрению схемы геотермального охлаждения, за счёт использования энергии холода земли. В АОС КВОУ циркулирует водно-гликолевый раствор, который, с точки зрения экологической безопасности, нежелательно эксплуатировать в подземных резервуарах (охладителях). На жаркий период года его предлагается сливать в ёмкость для хранения каждой КВОУ, а в качестве хладоносителя использовать подготовленную сетевую воду, которая будет проходить 4-х ступенчатое охлаждение.

Также предлагается дополнительное мероприятие - покрытие поверхностей нагрева наружных металлоконструкций КВОУ защитным солнце-отражающим слоем на полимерной основе. Основополагающим фактором защиты металлоконструкций КВОУ от солнца и, как следствие, исключение дополнительного нагрева температуры воздуха перед компрессорами ГТУ будет являться защитный солнце-отражающий слой лакокрасочного материала на полимерной основе (ЛКМ применяемый для дорожной разметки) нанесённый на наружные металлические поверхности КВОУ.

*К.А. Копнышева, студ.; рук. Е.В. Зиновьева, к.т.н.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ВЛИЯНИЕ ГЭС НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Энергетический сектор - один из источников выбросов парниковых газов. Считается, что значительный урон экологии наносят станции, работающие на традиционных источниках энергии, а станции, работающие на возобновляемых источниках энергии, относят к безопасной «зеленой» энергетике. Но все ли так однозначно?

Гидроэлектростанция (ГЭС) – электростанция, в качестве источника энергии использующая энергию водного потока. Этот тип станций относят к «зеленой» энергетике, в виду того, что при ее работе не сжигается топливо и никаких отходов не образуется. Но если проанализировать работу станции со всех сторон, то обнаружится ряд недостатков, пагубно влияющих на окружающую среду:

- При сооружении ГЭС происходит: затопление земель, пригодных для сельского хозяйства; изменение уровня реки, ее скоростного и температурного режима. Все эти изменения влияют на экосистему региона.

- При работе ГЭС, так же, как и на ТЭС, выделяются парниковые газы. Сами ГЭС, работая, не выбрасывают парниковые газы, но водохранилища выделяют значительное количество метана и углекислого газа, особенно если такая станция находится в тропическом климате [1].

- До сих пор актуально стоит вопрос заморозов рыбы. Несмотря на то, что для миграции рыб на ГЭС строят специальные рыбопропускные сооружения, часть рыбы гибнет, так как нарушаются условия существования и нереста. Кроме того, резкие сбросы воды на ГЭС так же приводят к массовой гибели жителей водоема [2].

- Аварии на ГЭС могут привести к спуску воды из водохранилища и затоплению прилегающих территорий.

Подводя итог можно отметить, что человечество пока не нашло источника энергии полностью безопасного для живой природы.

Библиографический список

1. **Макаренко Д.В.** Влияние гидроэлектростанций на окружающую среду [Электронный ресурс] / URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-gidroelektrostantsiy-na-okruzhayuschuyu-sredu-2> (дата обращения 08.02.24)

2. **Кондратова А. М.** О достоинствах и недостатках гидроэлектростанций [Электронный ресурс] — URL: <https://moluch.ru/archive/89/18498/> (дата обращения: 01.03.2024)

*К.А. Копнышева, студ.; рук. Е.В. Зиновьева, к.т.н.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ЗАИЛЕНИЕ ВОДОХРАНИЛИЩ ГЭС

Несмотря на то, что ГЭС относятся к типам станций, работающих на возобновляемых источниках энергии, ее работа приводит к значительным воздействиям на окружающую среду.

Одной из экологических проблем при работе плотинных ГЭС является заиление водохранилища - процесс заполнения ёмкости водохранилища наносами, вносимыми в него поверхностным стоком, а также наносами, образующимися в результате разрушения берегов.

Заиление, в целом, естественный процесс, который могут обуславливать постепенное разрушение берегов водохранилища под воздействием волн, осадки, жизнедеятельность микроорганизмов и др.

В общем виде механизм заиления и осадконакопления в водохранилище включает следующие процессы: поступление седиментационного материала с водосбора и его образование в самом водохранилище; транспортирование взвесей в водохранилище, их переработка и сортировка; осаждение и вынос из водохранилища; преобразование донных отложений в осадочную породу.

К последствиям заиления можно отнести образование сероводорода, метана и др. соединений, отрицательно влияющих на окружающую среду.

Ввиду того, что конструкция гидроэлектростанции подразумевает эксплуатацию искусственно созданного водохранилища значительной площади, эксплуатация гидроэнергетических объектов неминуемо приводит к ускорению процесса заиления и, как следствие, выделению парниковых газов.

Даже небольшое заиление пагубно отражается на окружающей среде. Для борьбы с заилением используются следующие методы:

- 1) Склоны водосборной площади вспахивают в горизонтальном направлении, что уменьшает смыв почвы.
- 2) Насажение лесных полос и формирование травяного покрова на водосборной площади в целях укрепления береговой зоны.
- 3) Использование фильтров для очистки воды на водозаборных сооружениях.

Библиографический список

1. Гвелесиани Л.Г. Заиление водохранилищ гидроэлектростанций / Л. Г. Гвелесиани, Н.П. Шмальцель – Энергия. Москва 1968- 89с
2. **Новости** университета ИТМО [Электронный ресурс] / URL: <https://news.itmo.ru/ru/science/photonics/news/13147> (дата обращения 02.03.24)

*Д.С. Крайкин, И.В. Пластинин, студ.;
рук. А.Е. Барочкин, к.т.н., доц
(ИГЭУ, Иваново)*

ПЕРЕХОД НА ЗАКРЫТУЮ СХЕМУ ГВС Г. ИРКУТСК

Ново-Иркутская ТЭЦ является основным источником централизованного теплоснабжения в г. Иркутск. Имеет установленную электрическую мощность 708 МВт, тепловую - 1612,5 Гкал/ч. В г. Иркутск большинство жилых домов подключена к открытой схеме ГВС (66,5%).

До недавнего времени законодательство РФ (Федеральный закон 190-ФЗ "О теплоснабжении") требовало перевода потребителей, подключенных к открытой схеме горячего водоснабжения на закрытую схему ГВС до 01.01.2022 г. В 2022 г. часть 3 статьи 23 закона 190-ФЗ дополнена пунктом 7.1, с требованием о выполнении в схемах теплоснабжения обязательной оценки экономической эффективности мероприятий по переводу открытых систем теплоснабжения (горячего водоснабжения), отдельных участков таких систем на закрытые системы горячего водоснабжения).

С целью определения экономической целесообразности перевода на закрытую схему ГВС были выполнены соответствующие расчеты.

Для перевода на закрытую схему необходима реализация следующих мероприятий:

- реконструкция или устройство нового ИТП с установкой теплообменников ГВС и автоматизацией;
- замена внутрименовых систем ГВС с применением полимерных труб;
- увеличение пропускной способности водопроводных вводов с учетом дополнительного расхода воды на ГВС;
- обеспечение не ниже 2 - й категории надежности электроснабжения ИТП.

Для Ново-Иркутской ТЭЦ проведен подсчет средств для установки ИТП у каждого потребителя, подключенного по открытой схеме ГВС, с учетом его тепловой нагрузки. Общая величина капитальных затрат составит 6,4 млрд. руб. с НДС.

Потенциал энергосбережения в зданиях при установке ИТП с блоком погодного регулирования оценивается в 7% от объема потребления тепловой энергии на услуги отопления.

По результатам расчетов простой срок окупаемости проекта составил 37 лет, дисконтированный - 47 лет. Данные результаты указывают на низкую эффективность проекта перевода потребителей с открытой

на закрытую схему ГВС и не позволяют рекомендовать его к реализации.

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

МЕРОПРИЯТИЯ В СФЕРЕ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ В ДНР

На территории ДНР за исключением г. Донецк централизованное теплоснабжение потребителей на нужды ГВС было прекращено более 20 лет назад вследствие износа тепловых сетей ГВС и последующего вывода их из эксплуатации. Для обеспечения потребности в ГВС население использует индивидуальные водонагреватели. В г. Донецк существует техническая возможность централизованного теплоснабжения потребителей на нужды ГВС, но она не реализуется с 2022 года по причине ограничения водоснабжения. Существующие сети ГВС и также внутридомовые системы для приема ГВС в ДНР за исключением г. Донецк полностью или частично демонтированы.

В настоящий момент в силу сложившейся ситуации, в т.ч. поскольку водоснабжение ДНР осуществляется в ограниченном объеме, мероприятия не могут быть включены в первоочередные.

Мероприятия по восстановлению централизованной системы ГВС включают: строительство / реконструкцию линейных объектов для подачи ГВС, восстановление точек приема ГВС у абонентов, установку / реконструкцию теплообменного и насосного оборудования на ЦТП и котельных. Реализацию данных мероприятий предлагается рассмотреть при актуализации единой схемы теплоснабжения.

Эффект от восстановления ГВС заключается в увеличении качества теплоснабжения для конечного потребителя, а также в увеличении загрузки существующих источников теплоснабжения, имеющих избыточный резерв по тепловой мощности.

Таблица 1. Стоимость мероприятий по восстановлению централизованного ГВС

Наименование мероприятия	Затраты, млрд. руб.
Строительство/реконструкция линейных объектов для подачи ГВС	52,551
Восстановление точек приема ГВС у абонентов	6,580
Установка / реконструкция теплообменного и насосного оборудования на ЦТП и котельных	0,591
Всего	59,721

А.А. Прохорова, М.В. Шоронова, студ.;
рук. А.Е. Барочкин, к.т.н, доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

РАЗВИТИЕ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ В Г. СЫКТЫВКАР

Сыктывкарская центральная котельная (ЦВК) является основным источником централизованного теплоснабжения в г. Сыктывкар. Установленная тепловая мощность котельной 513 Гкал/час, тепловая нагрузка - 411 Гкал/ч, длина тепловых сетей 338 км в однотрубном исполнении.

Основной проблемой развития централизованного теплоснабжения от котельной «ЦВК» является недостаточный располагаемый напор в тепловой сети котельной, что делает невозможным подключение новых потребителей к сетям котельной. Моделирование гидравлических режимов работы тепловой сети котельной «ЦВК» в программном комплексе Zulu Termo показало, что после подключения новых потребителей на перспективных площадках застройки располагаемый напор в тепловой сети снижается до 5 м.в.ст., что является недопустимым по условию обеспечения надежного и качественного теплоснабжения потребителей.

Для обеспечения надежных гидравлических режимов работы тепловых сетей у потребителей, подключенных к котельной ЦВК, а также для обеспечения перспективных приростов тепловых нагрузок строящейся жилой застройки предлагается строительство новой газовой водогрейной котельной «Давпон» с тепловой мощностью 90 Гкал/ч. Предлагается переключение части существующей тепловой сети котельной «ЦВК» в районе «Новый Давпон» г. Сыктывкар на новую котельную, что позволит повысить резерв тепловой мощности котельной «ЦВК» и улучшить гидравлический режим работы тепловых сетей. Общая переключаемая тепловая нагрузка составит около 70 Гкал/ч.

Для подключения новой котельной к тепловым сетям котельной «ЦВК» потребуются строительство теплотрассы от котельной «Давпон» с врезкой в существующую тепловую сеть котельной «ЦВК». Диаметр тепловой сети 500 мм, длина 50,0 м в 2-х трубном исчислении.

Реализация предложенного проекта позволит до 2040 года подключить к тепловым сетям котельной «ЦВК» около 72 Гкал/ч тепловой нагрузки новых потребителей. Без строительства новой котельной теплоснабжение новых потребителей в системе теплоснабжения котельной «ЦВК» придется организовывать от индивидуальных источников теплоснабжения.

Строительство котельной предполагается выполнить до 2027 года. Общая стоимость новой котельной и тепловой сети оценивается в 950 млн. руб. с НДС в прогнозируемых ценах.

*К.С. Рудяков, Н.Т. Манин, студенты;
рук. А.Е. Барочкин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, Иваново)*

ПЕРЕКЛЮЧЕНИЕ ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКИ НА ЛИПЕЦКОЙ ТЭЦ-2

Одной из основных проблем развития существующих ТЭЦ является снижение тепловой нагрузки потребителей вследствие отключения промышленных потребителей, уменьшения теплопотребления в сфере ЖКХ благодаря проведению энергоэффективных мероприятий, применения индивидуальных источников теплоснабжения на новых объектах застройки. Данное обстоятельство негативно сказывается на эффективности работы теплофикационного оборудования, поскольку приводит к увеличению конденсационной выработки электрической энергии.

В этой ситуации основным направлением увеличения тепловой нагрузки ТЭЦ является переключение на них потребителей водогрейных котельных, что позволяет снизить себестоимость производства тепловой энергии и увеличить эффективность работы оборудования ТЭЦ.

Данный подход рассмотрен на примере Липецкой ТЭЦ-2. ТЭЦ-2 расположена в г. Липецк, имеет установленную тепловую мощность 1002 Гкал/ч, установленную электрическую мощность 515 МВт, присоединенная договорная тепловая нагрузка в горячей воде 517 Гкал/ч.

Для увеличения тепловой нагрузки ТЭЦ-2 рассмотрены два сценария переключения нагрузки котельной «Привокзальная». Общая договорная тепловая нагрузка котельной «Привокзальная» составляет 142 Гкал/я. В сценарии 1 переключается 24,73 Гкал/ч, в сценарии 2 переключается 11,53 Гкал/ч. Сравнительно небольшой объем переключаемой нагрузки потребителей объясняется ограничением пропускной способности основной тепломагистрали от ТЭЦ-2, что делает невозможным подключение большой тепловой нагрузки в горячей воде без проведения дорогостоящих мероприятий по увеличению диаметра тепломагистрали.

Моделирование гидравлических режимов работы тепловой сети ТЭЦ-2 после переключения тепловой нагрузки котельной «Привокзальная» было выполнено в программном комплексе Zulu Thermo. В результате моделирования были определены необходимые мероприятия на

тепловых сетях для реализации предложенных сценариев: реконструкция 3,8 км тепловых сетей в двухтрубном исполнении и строительство 2 насосных станций в сценарии 1; реконструкцию 1,4 км тепловых сетей в двухтрубном исполнении и строительство 1 насосной станции в сценарии 2. В случае реализации сценария 1 ожидается увеличение отпуска тепла с горячей водой с коллекторов ТЭЦ-2 на 135 тыс. Гкал в год, в сценарии 2 – на 116 тыс. Гкал в год.

*К. М. Трухина, студ.; рук. С. Д. Горшенин, к.т.н. доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВЫБРОСОВ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРУ

Рассеивание вредных выбросов в атмосферу является одним из самых актуальных и сложных задач в области экологической безопасности. Воздействие таких выбросов на окружающую среду может привести к серьезным последствиям для живых организмов, а также вызвать серьезные заболевания у людей. Поэтому необходима разработка эффективной методики расчета рассеивания вредных выбросов с целью минимизации их воздействия на окружающую среду.

Методика расчета параметров уходящих газов на ТЭС является важным инструментом в планировании и оптимизации работы энергетических установок. Эти параметры включают в себя температуру, давление, скорость и состав газов, которые выходят из энергоблока и направляются в атмосферу.

Методика расчета массовых выбросов, посчитанная по [1], является важным инструментом для оценки и контроля загрязнения окружающей среды. Она позволяет определить количество загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу, воду или почву в процессе промышленной или другой деятельности. Основными этапами методики являются идентификация и количественная оценка источников выбросов, разработка математической модели для расчета массовых выбросов и проведение расчетов на основе доступных данных.

Газоотводящий тракт – это совокупность трубопроводов, каналов и элементов, предназначенных для отвода продуктов сгорания или газовых смесей из системы. Качественное и эффективное функционирование газоотводящего тракта напрямую зависит от правильности его теплового и аэродинамического проектирования. Расчет газоотводящего

тракта был успешно произведен под руководством Рехтара Л.А. и в ИГЭУ под руководством Салова Ю.В.

Методика расчета рассеивания вредных выбросов в атмосфере по [2], зависящая от режимов работы ТЭС, позволяет проводить эффективный контроль и минимизацию негативного воздействия выбросов на окружающую среду. Это важный шаг в области экологической безопасности и сохранения природных ресурсов для будущих поколений.

Для точного и надежного расчета рассеивания вредных выбросов в атмосфере в зависимости от режимов работы ТЭС требуется иметь обширный опыт и специализированные знания в этой области. Следует учитывать применяемые техники и методы расчета, а также экологические и законодательные нормы и стандарты, которым должна соответствовать эксплуатация ТЭС.

Библиографический список

1. **Природоохранные** технологии на ТЭС: учебник / И.С. Никитина, В.Б. Прохоров, И.В. Путилова и др.; под общ. ред. Роголёва Н.Д и Прохорова В.Б. - М.: Издательство МЭИ, 2021. - 452 с..

2. **Приказ** Министерства природных ресурсов и экологии РФ № 273 от 06.06.2017 г. Об утверждении методов расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе. 2017.

О.Р. Устинова, П.А. Кутраков, студ.;
рук. И.А. Кокулин, ассистент
(ИГЭУ, Иваново)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ Г. КАЛИНИНГРАД В НЕОТОПИТЕЛЬНЫЙ ПЕРИОД

Калининградская ТЭЦ-2 имеет три тепломагистралей, по которым организовано теплоснабжение Южной части города, Юго-Восточной и ФГКОУ КаПИ ФСБ России. В связи с прогнозируемым уменьшением электрической нагрузки станции в перспективе возможен останов генерирующего оборудования ТЭЦ-2 в межотопительный период, что повлечет прекращения теплоснабжения потребителей на нужды ГВС.

Для исключения перебоев с горячим водоснабжением потребителей в летний период рассмотрены несколько сценариев теплоснабжения.

Сценарий 1 предполагает обеспечение всей нагрузки ГВС от новой котельной на территории ТЭЦ-2. Для этого потребуется выполнить

монтаж новой газовой котельной в блочно-модульном исполнении на территории ТЭЦ с мощностью 30 Гкал/ч. Стоимость реализации сценария - 340 млн. руб. с НДС. Данный сценарий позволит сохранить действующий гидравлический режим в системе теплоснабжения ТЭЦ-2. Преимуществом данного сценария является наличие всех подведенных коммуникаций на промышленной площадке ТЭЦ-2, необходимых для строительства котельной. Недостаток сценария – высокие капитальные затраты, в результате чего можно ожидать рост тарифа до 1 % у потребителей.

Сценарий 2 предусматривает переключение нагрузки потребителей Южной части города на котельную «РТС Южная» через существующую переемычку в тепловых сетях, потребителей Юго-Восточной части города – на новую БМК, потребителей ФГКОУ КаПИ ФСБ России - на существующую котельную «Емельянова, 300а». Для реализации сценария потребуются: строительство БМК с тепловой мощностью 6,7 Гкал/ч, строительство тепловой сети от котельной Емельянова, 300а до тепловой сети на территории ФГКОУ КаПИ ФСБ России. Стоимость реализации сценария – 92,5 млн. руб. с НДС.

Сценарий 3. Предусматривает переключение нагрузки потребителей Южной части города на котельную «РТС Южная», потребителей Юго-Восточной части города и ФГКОУ КаПИ ФСБ России – на новую БМК. Для реализации сценария потребуются строительство БМК с тепловой мощностью 7,7 Гкал/ч. Стоимость реализации сценария – 82,5 тыс. руб. с НДС.

Преимущество сценариев 2 и 3 – это более низкие капитальные затраты, в результате которых тариф у потребителей вырастет не более чем на 0,5 %.

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

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ОТ НОВО-ИРКУТСКОЙ ТЭЦ

Ново-Иркутская ТЭЦ является основным источником централизованного теплоснабжения в г. Иркутск. Имеет установленную электрическую мощность – 708 МВт, тепловую – 1612,5 Гкал/ч. Одной из проблем ТЭЦ является нехватка тепловой мощности для подключения новых потребителей. Данная ситуация обуславливается тем, что на Ново-Иркутской ТЭЦ невозможно увеличение теплогенерации в полном

объеме, так как это может привести к превышению предельно допустимой нормы концентрации выбросов на границе санитарно-защитной зоны Ново-Иркутской ТЭЦ. В статье рассмотрены реализации мероприятия по развитию централизованного теплоснабжения от Ново-Иркутской ТЭЦ, путем строительства пиковой водогрейной котельной:

1. Строительство пиковой водогрейной котельной на ул. Карпинская с тепловой мощностью 250 Гкал/ч. Величина тепловой мощности котельной определена с учетом планируемых подключений к системе теплоснабжения Ново-Иркутской ТЭЦ перспективных площадок застройки и переключения потребителей закрываемых котельных. Срок реализации – с 2025 по 2027 годы, стоимость – 1,761 млрд. руб.

2. Строительство теплотрассы от перспективной пиковой котельной вблизи ул. Карпинская до ПНС «Правобережной» диаметром 1200 мм, длиной 6,1 км в 2-х трубном исчислении. Источник теплоснабжения – Ново-Иркутская ТЭЦ. Срок реализации – с 2025 по 2027 годы, стоимость – 2,657 млрд. руб.

Таблица 1. Мероприятия по строительству новой пиковой водогрейной котельной в системе теплоснабжения Ново-Иркутской ТЭЦ.

Наименование мероприятия	Год реализации.	Затраты, тыс. руб.
Разработка проектно-сметной документации;	2024	133 929,2
Установка водогрейных котлов тепловой мощностью 100 Гкал/ч;	2025	640 717,5
Установка водогрейных котлов тепловой мощностью 100 Гкал/ч;	2026	653 531,9
Установка водогрейных котлов тепловой мощностью 50 Гкал/ч;	2027	333 301,3

*И.А. Головкин, студ.; рук. Е.В. Зиновьева, к.т.н.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ХАРАКТЕРИСТИКА ВЕТРОВОГО РЕЖИМА ИВАНОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Ветроэнергетика является одним из наиболее перспективных источников возобновляемой энергии, способным существенно уменьшить зависимость от ископаемых ресурсов и снизить негативное влияние на окружающую среду. Однако, эффективность использования ветроустановок существенно зависит от скорости ветра. Поэтому, проведение

исследования ветрового режима в данном регионе имеет важное значение для определения дальнейшего развития в нем ветроэнергетической отрасли.

В рамках исследования были использованы данные о скорости ветра, предоставленные метеорологическими станциями Ивановской области [1]. Полученные данные были обработаны с использованием статистических методов [2]. Полученные результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Усредненные скорости ветра на разных высотах

Высота над поверхностью земли, м	Месяц (усредненные данные за период 2013-2023г.г.)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
10	3.0	3.0	2.9	2.9	2.7	2.4	2.3	2.2	2.5	2.8	3.0	3.0
20	3.4	3.4	3.3	3.3	3.1	2.8	2.6	2.5	2.9	3.2	3.4	3.4
30	3.7	3.7	3.6	3.6	3.4	3.0	2.9	2.7	3.1	3.5	3.7	3.7
40	4.0	4.0	3.8	3.8	3.6	3.2	3.0	2.9	3.3	3.7	4.0	4.0
50	4.1	4.1	4.0	4.0	3.7	3.3	3.2	3.0	3.4	3.9	4.1	4.1
60	4.3	4.2	4.1	4.1	3.9	3.4	3.3	3.1	3.6	4.0	4.3	4.3
70	4.4	4.4	4.2	4.2	4.0	3.5	3.4	3.2	3.7	4.1	4.4	4.4
90	4.7	4.7	4.5	4.5	4.2	3.7	3.6	3.4	3.9	4.3	4.7	4.7
100	4.8	4.8	4.6	4.6	4.3	3.8	3.7	3.5	4.0	4.4	4.8	4.8

Проведенные исследования показали, что среднегодовая скорость ветра в Ивановской области на приземной высоте составляет порядка 2,7 м/с, а на высоте 100 м составляет 4,3 м/с.

Анализ полученных данных показывает, что в данном регионе наблюдается недостаточная средняя скорость ветра для стабильной работы мощных ветрогенераторов.

Библиографический список

1. Расписание погоды (метеоданные наземных станций, всех стран мира) - URL: <http://rp5.am/> (дата обращения 10.11.23)
2. ГОСТ Р 54418.1-2012 Возобновляемая энергетика. Ветроэнергетика. Установки ветроэнергетические – Введ.2012-09-20. –М.: Стандартинформ, 2016. – 88 с.

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

ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЛУБОКИХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ГОРИЗОНТОВ ДЛЯ ЗАХОРОНЕНИЯ ПРОМСТОКОВ И ЖИДКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ КАЛИНИНСКОЙ АЭС

Калининская атомная электростанция одна из крупнейших в России. Она предназначена для покрытия дефицита мощности в объединенной энергосистеме Центра России. Единственная из АЭС, входящих в энергосистему центральной части России, через открытое распределительное устройство (ОРУ) которой осуществляется не только выдача собственной электроэнергии, но и высоковольтный транзит.

С учётом того, что Калининская АЭС расположена в центральной части России, встает вопрос о захоронении и утилизации жидких радиоактивных отходов и промстоков.

Радиоактивные отходы (РАО) – любые вещества или материалы находящиеся в газообразном, жидком и твердом (отвержденном) агрегатном состоянии, не пригодные к дальнейшему использованию и содержащие радионуклиды в количествах, превышающих установленные действующими нормами и правилами.

Основная идея захоронения жидких РАО – использование для размещения отходов пористых горизонтов, подобных вмещающим нефть и газ, но не содержащих последних, содержащих непригодные для использования соленые воды, сверху и снизу изолированные слабопроницаемыми (водоупорными) горизонтами. Свойства таких горизонтов, называемых обычно пластами-коллекторами, закономерности их строения и протекающих в них процессов хорошо изучены при поисках, разведке и разработке месторождений нефти и газа, месторождений подземных вод.

Захоронение отходов (промстоков) состоит в их нагнетании через буровые скважины в глубокозалегающие пласты пористых пород (пласты-коллекторы), как правило, залегающие на глубинах более 1 км.

Реализация захоронения жидких РАО на Калининской АЭС позволит внедрить эту технологию и на других существующих и строящихся АЭС, районы размещения которых характеризуются благоприятными геологическими условиями для этих целей.

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.**

*М.А. Зайцев, студ.; рук. Е.В. Зайцева, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

К ВОПРОСУ О НЕОБХОДИМОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ОТМЫВОК МЕМБРАННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

В настоящее время, при строительстве новых блоков ПГУ предпочтение отдается применению именно мембранных методов. При реконструкции существующих ионитных установок с целью исключения сбросов высокоминерализованных сточных вод и снижения потребления концентрированных реагентов внедряют мембранные методы. В последнее время наметилась тенденция создания комбинированных схем на базе мембранного и ионитного обессоливания.

В процессе эксплуатации установок обратного осмоса неизбежно происходит процесс загрязнения мембран. Основными загрязнителями являются: неорганические труднорастворимые соли (обычно соли жесткости), органические соединения, коллоидные растворы, механические взвеси, колонии микроорганизмов и продукты их жизнедеятельности. Эти процессы могут развиваться вплоть до полного «оштукатуривания» внутренней поверхности мембраны, отложения могут даже перекрыть проход воды в просветы между слоями рулонного мембранного элемента.

В результате загрязнения обратноосмотических мембран, их селективность и производительность начинают уменьшаться тем сильнее, чем дольше эксплуатируется мембрана и чем грязнее входная вода. Загрязнение мембран в определённых условиях может стать необратимым, когда никакими стандартными процедурами невозможно восстановить рабочие параметры.

Для того чтобы восстановить исходные характеристики мембран и продлить срок их службы, необходимо периодически проводить химическую очистку мембранных элементов для растворения, разрыхления и удаления, накопившихся за время эксплуатации загрязнений.

Производить химическую отмывку мембранного элемента необходимо при наличии хотя бы одного из следующих признаков:

- повышение перепада давления на мембранных элементах ($>0,5$ МПа), т.е. разница давлений до и после мембранного блока;
- уменьшение производительности мембранного блока по очищенной воде (фильтрату) более чем на 15 % от исходного приведённого значения (при одинаковом солесодержании и температуре исходной воды).

Для каждого из загрязнений разработаны и продолжают совершенствоваться технологии очистки от загрязнений. Они основываются на

применении очищающих растворов, которые могут быть разделены на три основных класса:

- кислые (рабочий диапазон $\text{pH} \approx 1-5$);
- щелочные (рабочий диапазон $\text{pH} \approx 10-13$);
- обеззараживающие.

Например, для щелочной очистки мембран часто используется раствор с $\text{pH} = 12 - 13$ из щелочного концентрата MF-A-T10, для кислотной – раствор с $\text{pH} = 1,5 - 2$ из кислотного концентрата MF-CRO-218.

Следует отметить, что режим «химической очистки» мембранного блока требует изменения гидравлической схемы, которое предполагает с помощью переключения запорной арматуры создать замкнутый контур для циркуляции моющего раствора по пути «бак химической очистки - насос химической очистки - мембранный блок - емкость химической очистки».

Библиографический список

1. Производственная инструкция по эксплуатации водоподготовительной установки № ТТЭС-Х-03-ИЭ.

*А. Клименко, студ.; рук. Н.Е. Шлегель, к.т.н., доц.
(НИ ТПУ, г. Томск)*

ХАРАКТЕРИСТИКИ ВТОРИЧНОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ВОДОМАЗУТНЫХ КАПЕЛЬ ПРИ СОУДАРЕНИИ ВОДОМАЗУТНЫХ КАПЕЛЬ МЕЖДУ СОБОЙ

Система «вода-масло» оказывает существенное влияние на характеристики работы котельной установки. Это обусловлено дроблением капель эмульсии в горячей среде. Вторичное измельчение водомазутных капель способствуют интенсификации смешения воздуха и топлива и повышению полноты сгорания топливной смеси [1]. Улучшение в некоторых случаях топливной экономичности обусловлено антидетонационным эффектом водной фазы либо переходом от мощностного к экономичному составу топливовоздушной смеси благодаря ее фактическому обеднению при использовании водотопливной эмульсии [2]. На рис. 1 представлена зависимость отношения площадей свободных поверхностей от числа We . Установлено, что при добавлении специализированных присадок в водомазутное топливо увеличивается отношения площадей свободных поверхностей на 5–10 %.

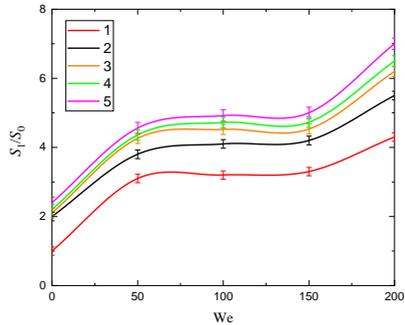


Рисунок 1. Карты режимов соударений капель жидкости с твердыми частицами при варьировании отношения размеров частиц к размерам капель

Известно, что концентрированные эмульсии являются неустойчивыми системами. Термодинамическая стабильность эмульсий может быть достигнута только при снижении поверхностного натяжения на границе раздела фаз и выполнении ряда других требований. Один из способов устойчивости и стабильности топлива является введение присадок. В качестве эмульгаторов-стабилизаторов применяют различные синтетические ПАВ, которые добавляют в количестве около 0,5 %, что практически не отражается на эксплуатации оборудования [3].

Библиографический список

1. **Alharbi G. G., Abdulhamid M. A.** Optimization of water/oil emulsion preparation: Impact of time, speed, and homogenizer type on droplet size and dehydration efficiency //Chemosphere. 2023. vol. 335., pp. 139136.
2. **Srivastava S. P., Hancok J.** Fuels and fuel-additives // John Wiley & Sons. 2014.
3. **Shen S.** Dynamic details inside water-in-oil (W/O) emulsion droplet and its impact on droplet evaporation and micro-explosion / S. Shen, H. Liu, Y. Liu, X. Liu, H. Hu, Z. Hu, T Wang. //Fuel – 2023. vol. 338. pp 127254.

*С.А. Шуляев, студ.; рук. А.Г. Исламова, к.ф.-м.н., доц.
(НИ ТПУ, г. Томск)*

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КАПЕЛЬ ЖИДКОСТЕЙ И ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ В СПРЕЯХ

Несмотря на активные попытки замены искусственного топлива природным, или возобновляемым [1], потребление угля в качестве источника электрической и тепловой энергий продолжает расти с каждым

годом [2]. Для минимизации негативного воздействия антропогенных выбросов на атмосферу рассматривается перспективная технология сжигания твердых топлив в составе водо-угольных суспензий [3]. Таким образом, цель данной работы заключается в определении зависимостей и характеристик взаимодействия капель воды с частицами компонентов суспензионных топлив.

Рассматривались столкновения капель воды с твердыми частицами бурого угля в аэрозольных потоках. При обработке видеок кадров экспериментов установлены два режима взаимодействия – agglomeration и stretching separation.

Карта режимов соударений капель воды и твердых частиц угля в аэрозольных потоках приведена на рис. 1. Для построения карты режимов использовался безразмерный линейный параметр взаимодействия (B), учитывающий радиусы капель и частиц и центричность соударения. Число Вебера (We) позволяет учитывать силы инерции и поверхностного натяжения, скорости и размеры капель.

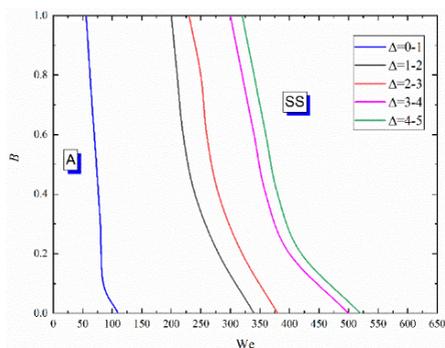


Рисунок 1. Карты режимов соударений капель жидкости с твердыми частицами при варьировании отношения размеров частиц к размерам капель

В результате проделанной работы установлено, что для смешивания капель и частиц в топочных камерах оптимальным является соотношение размеров капель и частиц более 2.

Библиографический список

1. Jha S. K., Puppala H. Prospects of renewable energy sources in India: Prioritization of alternative sources in terms of Energy Index // Energy. 2017. vol. 127, pp. 116–127.
2. Lei Y., Li L., Pan D. Study on the relationships between coal consumption and economic growth of the six biggest coal consumption countries: With coal price as a third variable / Energy Procedia. 2014. vol. 61. pp. 624–634.

3. **Kashkina L. V.** Efficiency of high energy impact in synthesis of coal-water suspensions / L. V. Kashkina, O. P. Stebeleva, E. A. Petrakovskaya, A. V. Cherepakhin // Materials Today: Proceedings – 2018. vol. 5, no. 12, pp. 26033–26037.

*Т.С. Князева, студ.; рук. Е.Н. Бушуев, д.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБРАСТАНИЙ В СИСТЕМАХ ВОДОСНАБЖЕНИЯ НА ТЭС И АЭС

Системы технического и циркуляционного водоснабжения на ТЭС и АЭС используют воду природных или технических водных объектов для обеспечения снабжения водой систем и оборудование, а также для отвода тепла от основных и вспомогательных агрегатов в окружающую среду.

Трубопроводы на водозаборах подвержены внутреннему обрастанию гидробионтами, среди которых наиболее часто присутствуют моллюски дрейссены. Процесс колонизации незагрязненных поверхностей начинают мелкие микроорганизмы (грибки и бактерии), которые очень быстро покрывают все доступные поверхности трубопроводов, образуя тонкую биопленку.

Появление в трубах и на стенках теплообменных аппаратов биологических обрастаний снижает напор воды, в результате чего насосы часто не обеспечивают необходимый для охлаждения расход воды. Загрязнение теплообменных поверхностей приводит к ухудшению теплопередачи. Так, вследствие образования на трубках конденсаторов слоя биопленки толщиной всего 0,1 мм теплоотдача снижается с 3700 до 900 ккал/(м²·ч·°С), т.е. более чем в 4 раза.

Проведенный анализ технической литературы [1] позволил выявить наиболее эффективные технические меры по предупреждению развития биообрастаний на трубопроводах циркуляционного и технического водоснабжения, такие как механическая и гидромеханическая очистка оборудования, шарикоочистка, хлорирование воды, использование ингибиторов коррозии, спецокраска внутренних поверхностей оборудования и трубопроводов, гуммирование внутреннего просвета оборудования. Оценивалась также экономическая эффективность применения выделенных мер. Кроме борьбы с микроорганизмами на действующих

водозаборах важно обеспечить предотвращение их попадания, а также необходим регулярный биолого-химический мониторинг систем водоснабжения.

Библиографический список

1. Предупреждение развития биологического обрастания на оборудовании систем технического водоснабжения и в водоеме-охладителе Ростовской АЭС с учетом расширения Ростовской АЭС до мощности 4000МВт. Долгосрочная программа. ГТП-09/13/241/9/199731-Д-СП. – 141 с.

*А.С. Павлинова, студ.; рук. Е.А. Карнычев, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ СХЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ ЗНАЧЕНИЙ pH_{25} В РЕЖИМЕ ИЗВЕСТКОВАНИЯ

Основным параметром регулирования процесса умягчения воды реагентным методом служит величина pH , при отклонении которой от заданного значения изменяется подача реагента. В контуре регулирования подачи извести величина pH измеряется в конце зоны смешения осветлителя в пробоотборной точке. В этой точке реакция взаимодействия реагентов с солями карбонатной жесткости проходит примерно на 80 %, поэтому контрольное значение pH задается меньшим с расчетом на то, что в верхних зонах осветлителя величина pH увеличится.

Механизм системы автоматизированного регулирования (САР) дозирования реагентов подробно описан в источнике [1]. Однако в нем не учтены особенности самого процесса известкования.

Использование pH -метров в САР осложняется условиями работы самого датчика, при которых непрерывно осуществляется его обрастание карбонатными отложениями, влияющих в свою очередь на достоверность измеряемых результатов.

В работе рассмотрены различные, используемые на предприятиях энергетики, схемы включения датчиков pH -метров в точки контроля потока обрабатываемой воды с целью определения наиболее удачных.

Наиболее перспективным выглядит вариант с использованием промежуточного гидравлического циклона, реализованный на Калининской АЭС (см. рис.1).

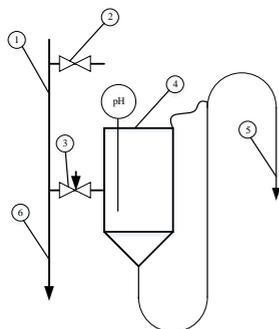


Рисунок 1. Схема включения рН-метра для измерения значений pH_{25} известкованной воды и его фотография: 1 – пробоотборная линия (вход); 2 – подача промывочной воды; 3 – регулятор расхода пробы на гидроциклон; 4 – гидроциклон; 5 – выход использованной пробы; 6 – отвод пробы из пробоотборника

Ю.В. Пасечников, студ.; А.В. Беляева, студ.; рук. А.А. Матвеева, к.т.н., доц. (ТПУ, г. Томск)

МИНИМИЗАЦИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ ПУТЕМ КОМПЛЕКСНОЙ УТИЛИЗАЦИИ ТЕХНОГЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ РАЗЛИЧНОГО ГЕНЕЗИСА

В г. Томске и в непосредственной близости от него находится много объектов с высоким экологическим риском, в том числе городские очистные сооружения и две тепловые электрические станции – ТЭЦ г. Северска и ГРЭС-2 в г. Томске.

Золоотвалы ТЭС воздействуют на окружающую среду несколькими путями. Аэрогенный вынос золы с золоотвалов загрязняет приземной слой атмосферы, а также открытые водные источники и почву. Не связанные частицы золы становятся источником силикатной пыли, воздействие которой может вызвать у человека целый ряд заболеваний. И этим перечень рисков не исчерпывается.

В свою очередь, активный ил очистных сооружений – это сложнейшая органоминеральная структура из живых организмов и неорганической основы. Он порождается в процессе очистки сточных вод в количестве нескольких миллионов тонн в год и относится к отходам IV класса опасности. Согласно данным, приведённым в [1], из общего количества отводимых илов в России используется не более 3 %, а основная масса ила хранится в илонакопителях или захоранивается.

Авторы данной работы предлагают решить проблему утилизации ила путём применения его в качестве топлива в технологии получения аглопорита на основе золошлаковых смесей тепловых электрических станций. Серия проведённых экспериментов показала возможность получения востребованного строительного материала – аглопоритового песка путём самоподдерживающегося термического синтеза из вышеупомянутых техногенных материалов.

Производство аглопорита по данной технологии экономически выгодно и экологично, так как позволяет в одной технологии утилизировать два техногенных материала различного состава и генезиса, которые к тому же могут быть загрязнены тяжелыми металлами и токсинами, производя при этом востребованную товарную продукцию.

Библиографический список

1. **Ладыгин К.В.**, Стомпель С.И. Проблема очистных сооружений – избыточные иловые осадки. // Журнал экологических решений «Экоинж», 2019. №19. С. 41 – 43.

*Е.Г. Ухалова, асп.; рук. А.Б. Ларин, д.т.н, доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ВЕДЕНИЕ ВОДНО-ХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА С ДОЗИРОВАНИЕМ ЭТАНОЛАМИНА И ХИМКОНТРОЛЬ ВТОРОГО КОНТУРА АЭС С ВВЭР-1000

Применение этаноламина (ЭТА) для коррекции водно-химического режима второго контура АЭС с ВВЭР понижает коррозию металла водопарового тракта, прежде всего парогенератора. В настоящее время на большинстве энергоблоков АЭС с ВВЭР-1000 России реализуется аммиачно-этаноламинный водный режим второго контура [1]. В условиях замены материала трубок конденсаторов паровых турбин на легированные стали или титановые сплавы основное назначение аммиака (NH_3) и этаноламина (ЭТА) состоит в поддержании рН питательной воды в диапазоне 9,5 – 9,7 и «котловой воды» солевого отсека – 9,2 – 9,6 единиц рН. Концентрация аммиака в питательной воде должна быть на уровне 1500 мкг/дм³ и более, ЭТА – 400 – 600 мкг/дм³. Преимуществом такого водно-химического режима (ВХР) считается минимальная скорость коррозии стали конденсатно-питательного тракта.

Высокая затратность лабораторных химических анализов с периодическим отбором проб теплоносителя в лабораторию делает правомерным поиск автоматических анализаторов, способных заменить если не полностью, то частично большой объем химического контроля качества

воды и пара на АЭС. Отечественным аналогом перспективных приборов автоматического химического контроля (АХК) является анализатор «Лидер-АПК», разработанный ИГЭУ совместно с предприятием «НПП «Техноприбор» (г. Москва) [2].

Таким образом, подтверждена возможность поддержания рН «котловой воды» солевого отсека парогенератора на уровне 9,2 – 9,6 дозировкой ЭТА в питательную воду. Возможен оперативный контроль показателя рН, суммарной концентрации аммиака и ЭТА в питательной воде и паре ПГ и концентрации ЭТА в «котловой воде» парогенератора по измерениям удельной электропроводности охлажденных проб.

Библиографический список

1. **Тяпков В.Ф.**, Ерпылева С.Ф. Водно-химический режим II контура АЭС с водородным энергетическим реактором // Теплоэнергетика. 2017. № 5. С. 48-55.
2. **А.Б. Ларин.** Расчетные методы на основе измерений удельной электрической проводимости и рН в системах химического контроля водного теплоносителя // Теплоэнергетика. 2023. № 6. С. 82-88.

*К.В. Зотова, асп.; рук. А.Б. Ларин, д.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДОРОДНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ pH_t В ВОДАХ ТИПА КОНДЕНСАТА ПРИ ФАКТИЧЕСКОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ СРЕДЫ

Одной из основных причин останова и ремонта основного оборудования является коррозия пароводяного тракта. Важным показателем коррозионной активности среды является рН, значения которого при разных температурах существенно отличаются [1].

Разработан алгоритм расчета аналитических моделей, описывающих зависимость pH_t от измеряемых параметров водной среды, в частности, удельной электропроводности χ_{25} , по которым производится непрерывный контроль и не требуется разработка новых приборов.

Рассмотрена возможность использования данных, полученных от применения анализатора «Лидер АПК», разработанного на кафедре Химии и химических технологий в энергетике ИГЭУ совместно с «НПП Техноприбор». Так, по измеренным значениям удельной электропроводности (χ и χ_H) в охлажденных пробах водного теплоносителя рассчитываются концентрации ионных примесей, а затем производится расчет значений pH_t при рабочей температуре водной среды с

использованием математической модели ионных равновесий в «чистой» воде и предельно разбавленных растворах.

В работе представлены матмодели ионных растворов при гидразин-аммиачном водном режиме (ГАВР) и рассчитаны показатели pH_i при до- и окологкритических параметрах рабочей среды, на основе данных по электропроводности и константам диссоциации ($K_{i,i}$) «чистой» воды [2] и растворов аммиака [3, 4] и угольной кислоты [5, 6], полученных разными авторами.

Библиографический список

1. **Тяпков В.Ф.** Комплексный подход к выбору водно-химического режима II контура в проектах АЭС с ВВЭР-1200 // Теплоэнергетика, 2011. № 5. С. 16-20.
2. **Marshall W.L.** Electrical conductance of liquid and supercritical water evaluated from 0 C and 01 MPa to high temperatures and pressures // J.Chem. Eng., Data 1987, vol. 32, 221-226.
3. **Wright J.M.** The behavior of electrolytic solutions at elevated temperatures as derived from conductance measurements // WAPD - TM - 204, June, 1961.
4. **Noyes, A. A.** The hydrolysis of ammonium acetate and the ionization of water at high temperatures // Phys. Chem., 1910, vol. 73, no. 1.
5. **Щербяков В.Н.** Электролитические свойства растворов угольной кислоты и инновационные методы // Вестник ДГТУ, 2015, № 4 (83). С. 24-30.
6. **Рыженко Б. Н.** О величинах констант диссоциации угольной кислоты при повышенных температурах // Докл. АН СССР, 1963. Том 149, № 3. С. 639-641.

*А.Ю. Федорова, ст. преп.; рук. Е.Н. Бушуев, д.т.н., доцент
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНСТАНТ СКОРОСТЕЙ ХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ОТ ОТЛОЖЕНИЙ ЭКРАННЫХ ТРУБ ПАРОВЫХ КОТЛОВ

При выборе способа и разработке технологии химической очистки (ХО) паровых котлов возникает необходимость 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/м². Важным показателем эффективности ХО является её продолжительность до этой загрязнённости, определяемая значениями констант скоростей очистки.

Проведено лабораторное исследование совместного влияния температуры и концентрации раствора соляной кислоты на

продолжительность очистки от отложений при отсутствии и наличии движения моющего раствора.

В качестве факторов, влияющих на кинетику удаления отложений, учитывались концентрация раствора соляной кислоты и его температура. Начальные условия очистки определены: площадью поверхности, подлежащей ХО от отложений; удельным количеством отложений и их составом; состоянием поверхности стали. Для оценки влияния факторов на длительность ХО использовались образцы экранных труб парового котла высокого давления.

На основании проведённых исследований получены кинетические зависимости для ХО с учётом указанных выше технологических параметров [1].

Определены экспериментальные значения условных констант скоростей удаления отложений с внутренней поверхности экранных труб на основании полученных экспериментальных данных. Наибольшие значения констант наблюдаются при очистках от равномерных отложений.

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.

*Д.А. Петров, студ.; рук. к.х.н., доц. Л.Н. Хрипкина
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФТОРИД ИОНОВ В ВОДЕ

Для снижения коррозии оборудования атомных и тепловых станций необходимо минимизировать в теплоносителе содержание ионов, оказывающих наибольшее коррозионное воздействие, прежде всего хлорид- и фторид-ионов. В требованиях, предъявляемых к водному теплоносителю тепловых и атомных электростанций, строго регламентируется содержание хлорид- и фторид-ионов.

Знание методик по определению фторид ионов в воде является необходимыми навыками для специалиста в компетенции лабораторного химического анализа и является важным условием профессионализма инженера лаборанта атомных и тепловых станций.

Определение фторид ионов может быть реализовано несколькими методиками, потенциометрическим титрованием, гравиметрическим

осаждением фторид-ионов в виде осадка в результате соответствующей реакции с известным веществом.

Однако в настоящее время известные методы контроля качества вод позволяют определить только микроконцентрацию хлорид-ионов. Известные же на сегодняшний момент методы определения содержания фторид-ионов характеризуются недостаточной чувствительностью, большими погрешностями измерений или отсутствием возможности непрерывного измерения концентрации примесей в потоке.

В настоящей работе предлагается потенциометрический метод определения фторид ионов в качестве лабораторной работы в курсе «Специальные главы химанализа» и «Химический контроль окружающей среды» для студентов 2 курса специальности «Технология воды и топлива на атомных и тепловых станциях».

Рассмотрена методика определения фторид ионов в пробах при содержании $[F^-]$ 1-5,5 г/дм³.

Библиографический список

1. Дорохова Е.И. Аналитическая химия: физико-химические методы анализа. М.: Высшая школа, 1991 г., с. 237-238.

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

РАСЧЕТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕРОПРИЯТИЙ ПОДГОТОВКИ ИСХОДНОЙ ВОДЫ ПЕРЕД УОО

Показатели работы водоподготовительной установки (ВПУ) на базе установки обратного осмоса (УОО) значительно зависят от схемы подготовки исходной воды, её гидравлического КПД и схемы дообессоливания пермеата. Одним из важных вопросов решаемых при проектировании УОО является выбор рациональной технологии обработки исходной воды для предотвращения образования на поверхности мембраны минеральных осадков, таких как $CaCO_3$, $CaSO_4$, $Mg(OH)_2$ и SiO_2 .

Анализ литературных источников позволил выделить следующие основные технологии обработки исходной воды перед УОО:

- подкисление;
- ввод раствора антискалянта;

- умягчение на ионитных фильтрах всего или части потока исходной воды;
- известкование в осветлителе или вихревом реакторе;
- предварительное умягчение на установке нанофильтрации.

Технологический расчёт технологий подготовки исходной воды перед УОО проводился с использованием ПП «ПРОЕКТ ВПУ» [1], в ходе которого определены технологические, экологические и технико-экономические показатели работы ВПУ. Многовариантного исследования проводилось при различных показателях качества обрабатываемой воды и гидравлических КПД УОО, что позволяет определять преимущества и недостатки технологий подготовки исходной воды, рекомендовать их область оптимального применения.

Анализ результатов численного исследования показывает, что наибольшей потребностью в реагентах, а значит и количеством сбрасываемых солей характеризуется прямоточное Na-катионирование. Схемы с частичной обработкой исходной воды на противоточных Na-катионитных и H-карбоксылных фильтрах перед УОО имеют преимущества над схемами, где весь водный поток подвергается обработке. Поэтому, можно рекомендовать, при наличии такой возможности, обрабатывать на ионитном фильтре только часть исходной воды перед УОО.

Библиографический список

1. Бушуев, Е.Н. Разработка и компьютерная реализация методик расчёта систем водообработки на ТЭС и АЭС: учеб. пособие / Е. Н. Бушуев, Н. В. Бушуева; Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина. –Иваново:, 2021. –148 с.

Е.В. Воронина, студ.; рук. Н.А. Еремина, к.т.н., доц.

(ИГЭУ, г. Иваново)

ВОЗМОЖНОСТЬ ПОВТОРНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕГЕНЕРАЦИОННЫХ ВОД ИОНИТНЫХ ФИЛЬТРОВ НА АО «РНПК»

Проблема неэффективного ресурсосбережения в первую очередь касается нерационального (избыточного) водозабора, который приводит не только к увеличению платы за использование воды, но и, несомненно, наносит экологический ущерб водосточнику и его флоре. В последнее время создание благоприятной экологической обстановки набирает всё большую актуальность среди производственных объектов Российской Федерации, и не только. Ведется разработка и тестирование различных мероприятий, которые могли бы помочь в решении ряда

экологических проблем, главной из которых является снижение негативного воздействия на окружающую среду.

В статье [1] было предложено решение данных проблем путём повторного использования части сточных (отмывочных и домывочных) вод от регенераций ионитных фильтров на Костромской ГРЭС. Данную процедуру планируется осуществлять под контролем электропроводности, за счет разделения регенерационных стоков на маломинерализованные ($\chi < 250-350$ мкСм/см) и высокоминерализованные ($\chi > 350$ мкСм/см).

В данной работе автором была проверена возможность внедрения данного мероприятия на АО «РНПК». Для этого были проведены лабораторные исследования проб воды (отмывочных и домывочных) после кислотных и щелочных регенераций ионитных фильтров.

После проведения серии опытов было выявлено, что электропроводность отмывочных вод щелочной регенерации варьируется от 1635 до 408 мкСм/см, а кислотной – от 85,15 мСм/см до 580 мкСм/см.

На момент окончания отмывки H_1 -катионитного фильтра по рабочей схеме, значение электропроводности составляло 507 мкСм/см, что не входит в допустимый диапазон 250 – 350 мкСм/см, необходимый для отделения данных вод как маломинерализованных. Следовательно отмывочные воды после кислотной регенерации не могут быть повторно использованы, а данную процедуру возможно применять только относительно отмывочных вод после щелочной регенерации.

Библиографический список

1. Ларин Б.М. Измерения электропроводности и рН в системах мониторинга водного режима ТЭС / ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». –Иваново, 2014.

*К.В. Зотова, асп.; рук. А.Б. Ларин, д.т.н., доц.,
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ВЫБОР МЕТОДА РАСЧЕТА ИОННОГО ПРОИЗВЕДЕНИЯ ВОДЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ И ДАВЛЕНИЯ

Ионное произведение воды (K_w) представляет собой произведение концентраций водородных и гидроксильных ионов и при данной температуре является константой для расчета водородного показателя теплоносителя — рН, характеризующего коррозионную агрессивность водного теплоносителя. При этом важно учитывать рН при рабочих

параметрах теплоносителя, то есть высокотемпературный рН, а не при комнатной температуре (рН₂₅) [1].

В основе расчета значений ионного произведения воды лежит решение аналитического интерполяционного уравнения Маршалла – Франка, основанного на анализе экспериментальных данных в диапазоне температур от 0 до 1000 °С и давлений от 1 до 100 МПа [2]. В дальнейшем, эмпирические коэффициенты уточнялись, уравнение видоизменялось, но основная закономерность зависимости значений ионного произведения воды от её параметров, оставалась неизменной. Последние рекомендации по решению данной задачи были опубликованы в 2020 году и позволили уточнить значения эмпирических параметров в уравнении Маршалла — Франка.

В работе проанализированы разные подходы к определению значений K_w и рассчитаны значения ионного произведения для «чистой» воды в зависимости от температуры и давления в докритической области с помощью уравнений Маршалла — Франка, Бандуры — Львова и Тримейна — Арциса, а также построены соответствующие зависимости. Установлено, что в области докритических параметров разница полученных значений K_w не превышает 0,1 единицы рК. Это говорит о том, что при построении математических моделей водных растворов докритических параметров для определения значения ионного произведения воды при известной температуре, давлении и(или) плотности, можно использовать любое из рассмотренных уравнений.

Библиографический список

1. **Тяпков В.Ф.** Комплексный подход к выбору водно-химического режима II контура в проектах АЭС с ВВЭР-1200 // Теплоэнергетика, 2011. №5. С. 16-20.
2. **Marshall W.L.** Ion product of water substance, 0—1000 °C, 1—10,000 bars. New international formulation and its background / Marshall W.L., Franck E.U. // J. Phys. Chem. Ref. Data, 1981, vol. 10, p. 295.

*А.А. Зидиханова, соиск.; А.Б. Ларин, д.т.н., доц.,
(ИГЭУ, г. Иваново)*

КОМПЛЕКСНЫЙ МЕТОД ОЦЕНКИ ПРОТИВОКОРРОЗИОННЫХ ЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ПОА

Комплексный метод оценки противокоррозионных защитных свойств пленкообразующих аминов (ПОА) отличается подбором эффективных индивидуальных термостойких компонентов в состав комплексного АСР, использованием усовершенствованной аттестованной методики химического контроля веществ аминной природы,

расширением области применения комплексных аминокислотсодержащих реагентов (АСР) на лабораторные исследования и на промышленные испытания.

Комплексный метод предназначен для использования в широком диапазоне параметров теплоэнергетических установок. Поэтому первой задачей метода является подбор наиболее эффективных индивидуальных компонентов, термически стойких в условиях рабочей среды, включая влияние концентрации кислорода и CO_2 .

Проверка эффективности противокоррозионных свойств исходных отечественных компонентов в условиях имитации агрессивной среды проводилась в лабораторном автоклаве с подбором наиболее эффективных исходных материалов по их пассивирующим свойствам.

В разработанной и аттестованной «Методике измерения массовой концентрации барьерных веществ аминной природы при применении реагентов торговой марки ВТИАМИН» в качестве стандарта используется ГСО КПАВ, что значительно повышает достоверность по сравнению с ранее разработанными методиками [1] и позволяет применять ее в аккредитованных лабораториях. При ее применении отсутствует необходимость предварительного насыщения стеклянной посуды полиаминами, исключается влияние изменяющихся характеристик стандартного образца полиамина, и отсутствует необходимость перестроения градуировочной кривой при поставке новой партии реагента. Применение уксусной кислоты (являющейся прекурсором), исключено, и заменено на использование буферного раствора на основе цитрата натрия.

Основное отличие отечественных АСР от импортных состоит в том, что они предназначены для ведения ВХР как на новых блоках ПГУ, так и на оборудовании постсоветского периода с длительным периодом (>10 000 ч) и изменяющимися условиями эксплуатации.

Библиографический список

1. **СТО 00129840.34.37.010 – 2017.** Проведение очистки, консервации и ведение водно-химического режима на основе аминокислотсодержащего реагента марки «Втиамин КР-33».

СЕКЦИЯ 3

ХИМИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Председатель
к.т.н., доцент **Ионов А.В.**

Секретарь
к.х.н., доцент **Хрипкова Л.Н.**

Д.Р Сыров, студ;

рук. к.х.н., доц. Л.Н. Хрипкова (ИГЭУ, г. Иваново)

ГУМИНОВЫЕ КИСЛОТЫ: ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ ВОД В ЭНЕРГЕТИКЕ

Гуминовые вещества (ГВ), образующиеся в водной среде в результате деструкции / декомпозиции органических веществ, способствуют очищению воды водоёма от радионуклидного загрязнения и снижают их биологическую доступность для гидробионтов.

Формирование указанных протекторных свойств ГВ связано с наличием в молекулах ГВ широкого спектра кислородсодержащих функциональных групп, таких как карбоксильные, гидроксильные, карбонильные и др. в сочетании с присутствием ароматических фрагментов, что обуславливает их способность вступать в ионные и донорно-акцепторные взаимодействия, образовывать водородные связи, активно участвовать в сорбционных процессах. В силу указанных свойств, ГВ играют исключительно важную роль в процессах аккумуляции и миграции радионуклидов, контролируя их геохимические потоки в окружающей среде и их накопление водной биотой. Таким образом, создание моделей биогеохимических циклов радионуклидов в окружающей среде невозможно без учета их взаимодействия с ГВ. Данное обстоятельство определяет важность и актуальность изучения, прежде всего, поведения ГВ в водных растворах и установления количественных взаимосвязей между структурой и свойствами ГВ в зависимости от концентрации ГВ в водном растворе.

Анализ роли органического вещества (ГВ) в донных отложениях показал, что гуминовое вещество играет значимую роль в формировании сорбционного барьера задержки поступления радионуклидов из хранилищ в окружающую среду.

Библиографический список:

1. **Исследование влияния** гуминовых веществ на радиоэкологическое состояние водоемов Южного Урала с использованием ГИС-технологий /Отчет о научно-исследовательской работе // Министерство образования и науки Российской Федерации Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина»
2. **Попов А. И.** Гуминовые вещества: свойства, строение, образование/Под ред. Е. И. Ермакова. — СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2004. — 248 с.

*Д.Д. Масленникова, студ; рук. к.х.н., доц. Хрипкова Л.Н.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПРИМЕНЕНИЕ МЕМБРАННЫХ МЕТОДОВ В ЭНЕРГЕТИКЕ

В настоящее время на предприятиях энергетического сектора применяются различные технологии очистки промышленной воды, направленные на удаление из жидкости механических примесей, изменении состава воды путем добавления тех или иных реагентов. В связи с этим широко применяются мембранные системы и технологии.

Мембранные технологии предпочтительнее классических методов водоочистки и водоподготовки в силу их экологической безопасности и экономичности. При внедрении мембранных технологий предприятия получают стабильно высокое качество водоподготовки и повышение уровня автоматизации, экономия денежных средств, которые ранее требовались для реагентов.

Принцип работы традиционных систем очистки воды основан на прохождении воды через фильтрующую среду, в которой, в конечном итоге, накапливаются загрязнения. Это приводит к необходимости регенерации и дезинфекции среды особыми растворами или вообще к ее замене.

Мембранная технология существенно отличается от обычной фильтрации.

Благодаря высокой скорости разделения минимальны риски загрязнения мембраны, поскольку все остатки мгновенно смываются последующим потоком. Важно учитывать, что в случае водоподготовки или водоочистки основным продуктом является фильтрат.

С точки зрения экологической безопасности мембранные технологии для очистки сточных вод предпочтительнее, чем классические методы.

Мембранная система очистки воды является на сегодняшний день самой передовой технологией. В основе таких систем лежат полупроницаемые пористые мембраны, через которые проходит водный поток и очищает его от примесей.

Библиографический список

Е.Н. Бушуев, Н.В. Бушуева Технология обессоливания воды на ТЭС на основе мембранных методов :Учебное пособие /ФГБОУВО <Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина> - Иваново 2017.

*Гурьянова С.О., студ.; рук. Н.Н. Ярунина, к.т.н.,
(ИГЭУ, г.Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА КАТОДНОЙ ЗАЩИТЫ ТРУБОПРОВОДОВ ОТ КОРРОЗИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Коррозия трубопроводов в энергетике – это серьезная проблема, сталкивающаяся с отраслью на каждом этапе производства, транспортировки и распределения энергии. Коррозия – это разрушительный процесс, который может привести к утечкам, авариям, значительным финансовым потерям и даже угрозе безопасности общества. Поэтому необходимы эффективные методы защиты, такие как катодная защита, чтобы предотвратить негативные последствия коррозии в энергетике.

Для катодной защиты объекта от коррозии необходимо подключить защищаемую конструкцию к внешнему источнику тока в качестве катода, а в качестве анода используются вспомогательные электроды, объединенные в контур.

Ток для катодной защиты вырабатывает станция катодной защиты (СКЗ). Станция подключается к питающей сети (как правило ~ 220 В) и вырабатывает электрический ток с заданными параметрами. СКЗ могут быть трансформаторными или инверторными. Могут быть источниками тока, напряжения, иметь различные режимы стабилизации, различные функциональные возможности. Современные СКЗ — это инверторные преобразователи с микропроцессорным управлением и GSM телемеханикой.

Периодически проводится текущий ремонт и контроль эффективности оборудования электрохимической защиты. Если скорость коррозии составляет 0,01 мм/год, то это обеспечит нормальный эксплуатационный срок для оборудования. Негативными показателями считается уровень коррозии, что достиг 30 % относительно стенок труб.

Катодная защита от коррозии получила широкое распространение. Применение катодной защиты обязательно для газопроводов низкого и среднего давления, магистральных газопроводов, нефтепроводов, а также применима для трубопроводов теплосетей и водоснабжения.

Библиографический список

1. **Василевская С. П.** Коррозия трубопроводов после длительной эксплуатации / С. П. Василевская, К. М. Каширин. — 2023. — № 16 (463). — С. 19-21.
2. <http://mypractic.ru/katodnaya-zashhita-ot-korrozii.html>

*С.С. Березина, студ.; рук. А.В. Ионов, к.х.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ И УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Проблема обезвреживания и утилизации отходов очень актуальна в современном мире. Промышленные предприятия занимаются производством продукции на основе минералов, углеводородов и других природных ресурсов при помощи разных технологий. Товары применяются в большинстве отраслей хозяйства. Без них невозможна жизнь современного общества. Однако в результате работы предприятий образуется большое количество отходов, представляющих опасность для людей и окружающей среды. Неправильное хранение и нарушение норм их утилизации вызывают загрязнение вод и грунтов, изменение биосферы и прочие негативные последствия.

Список отходов очень разнообразен и постоянно пополняется. Он содержит асбест, отходы при создании удобрений и пестицидов, краски, клей, растворители, а также отработанные масла. При этом остатки, которые образуются при производстве изделий, могут содержать токсичные, канцерогенные, взрывоопасные, радиационные и легковоспламеняющиеся компоненты, которые могут создавать угрозу здоровью живых организмов. В связи с этим отходы различают по классу опасности, составу и агрегатному состоянию. В зависимости от их вида применяются разные способы обезвреживания и утилизации: нейтрализация, хлорирование с окислением, алкоголиз, термический способ, пиролиз, способ дистилляции, биологический способ.

В связи с тем, что разнообразие отходов огромное, одного универсального способа для их обезвреживания и утилизации не существует. Однако главная задача каждого метода – переработать отходы таким образом, чтобы не нанести вреда атмосфере, окружающей среде, животному и растительному миру.

Библиографический список

1. Никулин, В. Б. Инженерная экология : учебное пособие / В. Б. Никулин. — Язынь : РГРТУ, 2022. — 128 с.
2. Управление отходами : учебное пособие / А. Ф. Шиманский, Е. В. Зелинская, О. В. Мишинкина [и др.]. — Красноярск : СФУ, 2020. — 192 с.

*Н.С. Березина, студ.; рук. А.В. Ионов, к.х.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОСНОВНЫЕ СПОСОБЫ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ВОДЫ

Проблема качества воды в современном мире стоит остро. Быстрый рост населения планеты в сочетании с возрастающими объемами водопотребления для бытовых и промышленных нужд и интенсивным сельским хозяйством приводит к глобальному водному кризису, который проявляется в нехватке пресной воды и в ее усиливающемся загрязнении. Улучшение качества воды необходимо для защиты потребителей от опасных для организма человека включений, а также для продления срока эксплуатации бытового сантехнического оборудования, бытовой отопительной техники. Вода может быть чистой с виду и не иметь выраженного цвета, вкуса, запаха, однако это не означает, что она будет безопасной для человека или животных. Для сохранения водных ресурсов необходимо рационально использовать их, не допускать загрязнения, а также улучшать их качество.

Существует множество методов, которые делятся на основные и специальные. К основным относятся осветление, обесцвечивание и обеззараживание. Они включают в себя отстаивание, фильтрацию, коагуляцию; хлорирование, озонирование, действие серебра; ультрафиолетовое облучение, ультразвук, вакуумную фильтрацию, γ -излучение, кипячение.

Вода – основа всей жизни. Без неё невозможно ни существование человека, ни развития человечества в целом, поэтому нужно заботиться о её качестве. Для этого есть много способов, каждый из которых имеет свои особенности, но все они направлены на очистку, которая помогает не только улучшить вкус, запах и внешний вид воды, но и удалить вредные примеси, твердые нерастворимые частицы, водоросли, патогенные микроорганизмы, соли магния, кальция, железа.

Библиографический список

1. Методы и средства улучшения качества питьевой воды : учебное пособие / Л. А. Аликбаева, В. Я. Соболев, А. Л. Рыжков [и др.]. — Санкт-Петербург : СЗГМУ им. И.И. Мечникова, 2021. — 44 с.
2. Игнатьева, Л. П. Гигиена питьевого водоснабжения : учебное пособие / Л. П. Игнатьева, М. О. Потапова. — Иркутск : ИГМУ, 2015. — 99 с.

*М. А. Безрукова, студ.; рук. Н.Н. Ярунина, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г.Иваново)*

ЛИТИЕВЫЕ АККУМУЛЯТОРЫ – НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ

Литиевые аккумуляторы нашли применение в разных сферах – от питания портативной электроники и электромоторов разнообразной техники до накопления и хранения энергии в автономных энергосистемах. Обладая самой высокой плотностью энергии, низким уровнем саморазряда и длительным жизненным циклом, литий-ионные аккумуляторы являются самой быстроразвивающейся технологией среди других аккумуляторов.

Сегодня лучшими накопителями электроэнергии для систем гарантированного и бесперебойного электроснабжения, в т. ч. для автономных и гибридных электростанций с альтернативными источниками энергии, остаются батареи подвидов LiFePO_4 (литий-железо-фосфатные АКБ) и ЛТО (литий-титанатные батареи). ЛТО батареи очень надежны, долговечны, имеют малый саморазряд (0,02% в сутки) и большой КПД сохранения энергии (96%).

Госкорпорация Росатом начала работы по строительству в Калининградской области завода, где будет выполняться полный цикл производства литий-ионных аккумуляторов - операции от процесса смешения компонентов катодных и анодных масс до выходного контроля готовой продукции. Первые батареи сойдут с конвейера российской «гигафабрики» в 2025 году.

В последнее время мы часто слышим о том, что какая-то компания разработала аккумулятор нового типа. Проектов просто огромное количество - от жидких батарей до аккумуляторов с экзотическими соединениями в составе электролита. И явного лидера среди всех этих компаний нет. В связи с этим инвесторы неохотно дают деньги на новые проекты, а денег требуется много. Ведь перевести научную работу в сферу коммерции не так-то просто, разработчики будут тестировать новые батареи не один год, прежде чем новая технология попадет на рынок и найдет своего покупателя. Но исследователи не останавливаются на достигнутом. Они совершенствуют используемые технологии и экспериментируют с новыми составами, улучшают технические характеристики Li-ion батарей и открывают многообещающие перспективы для их дальнейшего развития.

*Н.М.Чуман, студ.; рук. Н.Н.Ярунина, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г.Иваново)*

НАКОПИТЕЛИ ЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

В наше время накопители энергии (НЭ) имеют несколько потенциальных областей применения: предоставление резерва мощности, аварийное питание для предотвращения развития чрезвычайных ситуаций и выравнивание суточных графиков нагрузки. В случае возникновения критических ситуаций НЭ способны обеспечить стабильность в работе установок и поддержание мощности.

Использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ) ускоренно развивается, благодаря этому за последнее десятилетие заметен рост доли нетрадиционных энергоресурсов в общем объеме генерирующих мощностей.

В ходе исследования были проанализированы методы использования водорода и биотоплива в качестве источников энергии и способы хранения производимой энергии.

Водород производится путем электролиза воды, что позволяет получать его с использованием возобновляемых источников энергии. Выделяют два основных метода хранения водорода: физический и химический. В основе физического лежат процессы компрессирования и сжижения. В основе химического метода лежит взаимодействие молекулярного или атомарного водорода с материалом среды хранения [1]. Однако водород очень взрывоопасен и требует особых мер предосторожности при хранении.

Биотопливо производится из органических материалов (древесные отходы, растительные остатки). Методы производства биотоплива включают в себя процессы переработки биомассы в биоэтанол, а также производство биогаза путем анаэробного биологического разложения органических материалов [2]. Биотопливо обладает значительным потенциалом как перспективный источник энергии.

Хотя эти направления производства и хранения энергии очень перспективны, для их успешной интеграции необходимо продолжать исследования, учитывая баланс между ресурсами, окружающей средой и экономической целесообразностью.

Библиографический список

1. **Хохонов А.А.**, Шайхадинов Ф.А. Технологии хранения водорода. Водородные накопители энергии // Успехи в химии и химической технологии. 2020. – С.47-48.
2. **Дудукова Т.Р.** Альтернативные виды топлива. 2019. – С.6.

*А.С. Чупина, студ.; рук. Н.Г. Иванова, к.х.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ВЛИЯНИЕ РАДИАЦИОННО-ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ НА ТЕПЛОНОСИТЕЛИ И ЗАМЕДЛИТЕЛИ ЯДЕРНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

В настоящее время вопрос о продолжительности эксплуатации оборудования на атомных электрических станциях (АЭС) имеет приоритет. На этот фактор в немалой степени влияют водно-химические режимы (ВХР) АЭС, направленные на обеспечение и поддержание норм качества водного теплоносителя.

Данная проблема является актуальной, т.к. доля АЭС в выработке электроэнергии планомерно растет. При своем экологическом преимуществе АЭС по сравнению с тепловыми электрическими станциями (ТЭС) они представляют серьезную угрозу радиации в случае сбоев в эксплуатации. Поэтому необходима регулярная проверка состояния теплоносителей и замедлителей на АЭС.

Цель данной работы – изучение влияния радиационно-химических реакций на теплоносители и замедлители ядерных энергетических установок (ЯЭУ) для последующего анализа соответствующих им водно-химических режимов.

Поводом для проведения исследований послужила подготовка к выбранной профессии.

Исследования проводились на базе различных интернет-источников и научной литературы.

По результатам работы сделаны выводы, что современные ВХР удовлетворяют нормам безопасности, но некоторые проблемы еще ждут своего решения.

Библиографический список

- 1. Кабакчи С.А., Булгакова Г.П.** Радиационная химия в ядерном топливном цикле. М.: РХТУ, 1997 – 96 с.
- 2. Петрова Т.И., Воронов В.Н., Ларин Б.М.** Технология организации водно-химического режима атомных электростанций. М.: Издательский дом МЭИ, 2012 – 272с.
- 3. Андронов О.Б., Стрихарь О.Л., Масько А.Н.** Проблемы обращения с жидкими радиоактивными отходами АЭС Украины и возможные подходы к их решению. Чернобыль: 2005 – 36 с.

*Е.М. Разуваев, студ.;
рук. Н.Г. Иванова, к.х.н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)*
**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЯЖЕЛОЙ ВОДЫ
В ЭНЕРГЕТИКЕ**

В настоящее время в ядерной энергетике существует большое множество замедлителей нейтронов. К числу лучших замедлителей, практически повсеместно использующихся в энергетике, относятся: вода, тяжёлая вода, бериллий, графит. Но есть и альтернативы, такие как органические замедлители, например, полихлорированный дифенил (ПХД).

Целью данной работы было изучение использования тяжёлой воды и сравнение ее с другими замедлителями нейтронов, используемых на АЭС.

Поводом для проведения исследований послужила подготовка к выбранной будущей профессии.

Данная проблема является актуальной, т.к. использование определённых замедлителей нейтронов повышает или понижает КПД АЭС и влияет на безопасность ее эксплуатации.

Исследования проводились на базе различных интернет-источников и научной литературы.

По результатам работы сделаны выводы, что значительное разнообразие используемых замедлителей нейтронов имеет свои достоинства и недостатки, но тяжёлая вода имеет ряд преимуществ по сравнению с другими веществами.

Библиографический список:

- [1.https://strana-rosatom.ru/2019/04/17/voprosy-diletanta-pro-vodu-tyazheluju-i-l/?ysclid=lv5ewv773o962664375](https://strana-rosatom.ru/2019/04/17/voprosy-diletanta-pro-vodu-tyazheluju-i-l/?ysclid=lv5ewv773o962664375)
- [2.https://new-science.ru/tyazhelaya-voda/](https://new-science.ru/tyazhelaya-voda/)
- [3.https://vione.ru/blog/vse-o-vodorodnoy-vode/chto-takoe-tyazhelaya-voda/](https://vione.ru/blog/vse-o-vodorodnoy-vode/chto-takoe-tyazhelaya-voda/)

СЕКЦИЯ 4

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
ТЕПЛОТЕХНИКИ**

Председатель

д.т.н., доцент **Бушуев Е.Н.**

Секретарь

к.т.н., доцент **Корочкина Е.Е.**

*П.С. Басова, В.А. Бодина, студ.; рук. Ю.В. Люлин, к.ф.-м.н., доц.
(«МЭИ», Москва)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ СОПРЯЖЕННОГО ТЕПЛООБМЕНА В СИСТЕМЕ ОХЛАЖДЕНИЯ ЛОПАТКИ ГТУ С ИНТЕНСИФИКАТОРАМИ РАЗЛИЧНОЙ КОНФИГУРАЦИИ

Высокие параметры рабочего тела перед газовой турбиной способствуют повышению коэффициента полезного действия газотурбинной установки. Частое обтекание лопаток горячими газами разрушительно сказывается на ее долговечности и целостности конструкции турбины, поэтому важно применять дополнительные методы интенсификации теплоотвода. Одним из наиболее применяемых эффективных способов охлаждения является установка препятствий сложной формы для повышения коэффициента теплоотдачи за счет увеличения площади поверхности и уровня турбулентности потока охлаждающего воздуха [1].

В данной работе было проведено моделирование сопряженного теплообмена в системе охлаждения лопатки с интенсификаторами различной формы и ориентации. На основе анализа научных статей для исследования были выбраны три конфигурации устанавливаемых дефлекторов. В программе для численного моделирования физических процессов была получена гидродинамическая картина потока охлаждающего воздуха через каналы интенсификаторов, поле распределения температуры, скорости и давления в каналах, векторное поле скоростей и поле распределения плотности теплового потока с внутренней поверхности. В процессе моделирования были подобраны оптимальные размеры расчетных сеток, учтены пристеночные области нулевых скоростей, заданы граничные условия приближенные к реальным. По результатам были рассчитаны потери давления, коэффициент потерь, осредненный коэффициент теплоотдачи на исследуемом участке и число Нуссельта для каждой конфигурации.

В результате моделирования были получены необходимые данные, позволяющие оценить влияние геометрии препятствующих дефлекторов на эффективность охлаждения.

Библиографический список

1. Marwan Effendy¹, Yufeng Yao, Jun Yao, Denis R Marchant. Pin-fin shape and orientation effects on wallheat transfer predictions of gas turbine blade. June 2019AIP Conference Proceedings 2114(1):020008.

*К.А. Лётин, студ.; рук-ли Е.Е. Корочкина, к.т.н., доц.;
О.В. Блинов, к.т.н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)*

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИНТЕГРАЦИИ ПАКЕТОВ С ОТКРЫТЫМ КОДОМ ДОСТУПА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ

Предлагаемый программный комплекс разработан для моделирования теплового режима радиоэлектронной аппаратуры [1]. Данный программный продукт был разработан с использованием языков программирования Python и C. Он представляет собой модуль для открытой интегральной программной платформы «Salome». Salome – это платформа, предоставляющая функции предварительной и окончательной обработки задачи (*pre-processing* и *post-processing*). Для решения задач теплопроводности и теплового излучения используется решатель Syrthes. Для решения задач конвективного обмена применяется решатель Code_Saturne. Разработанный программный продукт является двунаправленным транслятором данных в формате IDF между системами проектирования печатных плат (ECAD) и Salome. Он позволяет, импортировать и экспортировать информацию посредством файлов IDF формата [2]. При импорте данных программный продукт создает в Salome трёхмерную сборку. Для представления элементов используются «Двух резисторная» и «Delphi» тепловые модели элементов [3, 4]. Для решения задач теплообмена программный продукт использует Syrthes и Code_Saturne решатели. Syrthes – программное обеспечение, разработанное группой EDF, для моделирования процессов теплопроводности и теплового излучения в сложных объёмных телах. Code_Saturne – программное обеспечение, разработанное группой EDF, используемое для решения уравнения Навье-Стокса для 2D и 3D потоков. Результаты моделирования отображаются, используя Salome ParaVis модуль. Таким образом, разработанный программный продукт может быть использован для выполнения моделирование теплового режима различного электронного оборудования на этапе проектирования.

Библиографический список

1. Дульнев Г. Н. Тепло- и массообмен в радиоэлектронной аппаратуре. -М.: Высшая школа, 1984.
2. Спецификации обмена механические данными для проектирования и анализа печатных сборок подключения, Версия 3.0, Ревизия 1, Октябрь 31, 1996.
3. Руководство по двух резисторной компактной тепловой модели, JESD 15-3, Июль 2008.
4. Руководство по компактной тепловой модели 'Delphi', JESD 15-4, Октябрь 2008.

*И.В. Колбашов, К.А. Лётин, студ.; рук. Е.Е. Корочкина,
к.т.н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)*

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ПРОГРАММНЫЕ ПАКЕТЫ С ОТКРЫТЫМ КОДОМ ДОСТУПА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ТЕПЛООБМЕНА

Лицензионные продукты для решения различных задач теплообмена такие как Comsol, SolidWorks, Ansys имеют высокую стоимость. Поэтому не всегда возможно их использовать. Альтернативой этим программным продуктам могут служить пакеты с открытым кодом доступа. Они являются условно бесплатными и имеют широкие возможности. К этим пакетам относятся такие пакеты на Salome, Code_Aster, Code Saturne.

Salome [1] – это платформа, предоставляющая функции предварительной и окончательной обработки задачи (*pre-processing* и *post-processing*), т.е. есть определения геометрии, построения сеток, определение «траектории» вычислений, визуализацию результатов и т.д. В ней отсутствуют самые важные компоненты – решатели, но платформа Salome может расширяться за счет сторонних свободных или коммерческих модулей. Основное предназначение платформы Salome – это создать некую унифицированную среду, после изучения которой пользователь сможет выполнять обработку исходных и полученных данных в привычной оболочке, вне зависимости от используемого решателя.

Code_Aster [2] – свободное программное обеспечение для математического моделирования методом конечных элементов (МКЭ), предназначенное для решения, предназначенный для решения широкого класса задач механики деформируемого твердого тела, теплообмена, акустики и т.п. **Code_Aster** – разработан в 1989 году. Ядро системы написано на Фортране, а многие дополнительные модули созданы на Python.

Code Saturne – это универсальный вычислительный гидродинамический бесплатный программный комплекс, разрабатываемый с 1997 года. Code Saturne это программное обеспечение с открытым кодом

доступа. Основан на методе конечных объемов. Code Saturne можно использовать совместно анализа Code Aster и Salome. Code Saturne поддерживает множество форматов полигональных сеток. Code Saturne можно установить в Linux путем компиляции исходников.

Библиографический список

1. <https://docs.salome-platform.org/latest/gui/YACS/components.html>
2. <https://code-aster.org/spip.php?rubrique2>

**Ю.В. Федотов, студ.; рук. В.В. Бухмиров, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)**

**ПРОФЕССОР Л.К. РАМЗИН –
УЧЕНЫЙ, УЧИТЕЛЬ И ОРГАНИЗАТОР**

Жизнь Леонида Константиновича Рамзина (1887-1948 гг.), русского ученого и инженера представляет собой уникальную историю научных достижений и политических испытаний. Родившись в учительской семье в конце XIX века, Л.К. Рамзин с отличием окончил Московское высшее техническое училище (МВТУ) в 1914 году и был приглашен продолжить работу в МВТУ в качестве преподавателя на кафедре «Тепловые станции». В 1920 году он получил звание профессора в МВТУ.

В 1920 году профессор Л.К. Рамзин был членом комиссии по разработке плана ГОЭРЛО и принимал активное участие в создании и реализации этого плана. В 1921 году В.И. Ленин поддержал предложение Рамзина о создании Теплотехнического научно-исследовательского института имени В.И. Гриневецкого и К.В. Кирша (в настоящее время Всероссийский Теплотехнический научно-исследовательский Институт).

Основные работы профессора Л.К. Рамзина посвящены вопросам котлостроения, тепловому, аэродинамическому и гидродинамическому расчетам котельных установок, теории излучения в топках, изучению характеристик и свойств топлива и его приготовления. Он автор первого в России оригинального прямоточного котла. Занимаясь сушкой торфа Л.К. Рамзин, предложил H-d диаграмму влажного воздуха.

Научная и производственная карьера профессора Рамзина приостановлена политическими репрессиями в начале 1930-х годов, когда его обвинили в антисоветской деятельности по сфабрикованному делу «Промпартии» и приговорили к расстрелу, который впоследствии был заменен 10-ю годами заключения. В 1991 году Л.К. Рамзин был полностью реабилитирован.

В 1943 году профессор Л.К. Рамзин возглавил кафедру котлостроения на вновь созданном факультете Энергомаш в МЭИ.

В 1947 году за большие научные и организаторские заслуги Л.К. Рамзин был награжден высшей государственной наградой СССР – орденом Ленина.

Библиографический список

1. Рамзин, Леонид Константинович – Википедия (wikipedia.org)
2. Электрик из Казани Леонид Рамзин: его хотели расстрелять, а вручили Сталинскую премию (business-gazeta.ru)
3. О Л. К. Рамзине <https://vti.ru/about/history/istoriya-instituta/>

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

ВТОРОЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ И ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

Основоположником второго закона термодинамики можно считать С. Карно (1824 г.), который обосновал необходимые теоретические положения для создания теплового двигателя. В дальнейшем В. Томсон – лорд Кельвин, Р. Клаузиус, Л. Больцман и многие другие ученые сформулировали основные положения второго закона термодинамики применительно к процессам и тепловой экономичности тепловых двигателей [1, 2].

Наиболее важные положения второго закона термодинамики применительно к тепловым двигателям это невозможность полного преобразования теплоты горячего источника теплоты в полезную механическую работу и необратимость реальных процессов рабочего тела, используемого в тепловом двигателе. Данные положения позволили в дальнейшем сформулировать условия, при которых можно получить максимальную полезную механическую работу от конкретного источника теплоты и оценить потери этой работы за счет необратимости реальных процессов в тепловом двигателе.

В данной работе приводятся методы расчета максимальной полезной механической работы вещества в различных термодинамических системах и для различных источников теплоты.

На конкретных примерах теплоэнергетических установок, работающих на органическом (ТЭС) и ядерном (АЭС) топливе, выполнены расчеты показателей их тепловой экономичности и выполнен анализ термодинамической необратимости основных процессов в этих установках.

Выводы, сделанные по анализу тепловой экономичности ТЭС и АЭС показали, что использование второго закона термодинамики на современном

уровне позволяют объективно оценить тепловую экономичность этих установок и указать направления ее увеличения.

Библиографический список

1. Чухин И.М. Техническая термодинамика. Часть 1, учебн. пособие. – ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», 2006, 224 с.
2. Чухин И.М. Техническая термодинамика. Часть 2, учебн. пособие. – ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», 2008, 228 с.

*И.И. Светушков, асп.; рук. В.В. Бухмиров, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОКЛИМАТА КОТЕЛЬНОГО ОТДЕЛЕНИЯ ИВАНОВСКОЙ ТЭЦ-2

В котельном отделении Ивановской ТЭЦ-2 установлено 8 котлоагрегатов марки ТП-170 и БКЗ-220. Параметры микроклимата были измерены в 23 точках на отметках 0.00, 8.00 и 23.50м в период с января 2020 года по март 2024 года с периодичностью один раз в две недели. Основными параметрами микроклимата являются – температура T , °С и относительная влажность W , %. К вспомогательным параметрам микроклимата относят содержание углекислого газа в воздухе CO_2 , $см^3/м^3$ (ppm), массовую концентрацию микрочастиц в воздухе $PM_{2.5}$, $мг/м^3$ и концентрацию летучих органических соединений в атмосфере станции $tVOC$, $мг/м^3$.

Максимальная температура воздуха 37,5 °С была зафиксирована 29.07.2023 на отм. 23,50м у котлоагрегата №8, что превышает установленную норму на 16,5°С [1]. Минимальная температура –4,3 °С была измерена 09.12.2023 на отм. 0.00м у котлоагрегата №1, что ниже установленной нормы на 23,3 °С [1]. Максимальная влажность была зафиксирована 13.01.2024 и составила 93,2% в районе котлоагрегата №1 на отм. 0.00м, что превышает установленную норму на 33,2 %. Минимальная влажность была зафиксирована 25.11.2023 и составила 28,4 % на отм. 23,50м у котлоагрегата №3, что ниже нормы на 11,6 %. При этом вспомогательные параметры в атмосфере котельного отделения не превышали допустимые границы [1, 2]. Однако 13 января 2024 года на рабочем месте машиниста котла №3 была отмечена значительная концентрация летучих органических веществ ($tVOC$) в размере 0,921 $мг/м^3$ (на границе допустимой нормы 1,000 $мг/м^3$) [2].

Вывод. В результате экспериментального исследования микроклимата в котельном отделении Ивановской ТЭЦ-2 за период с января 2020

года по март 2024 года установлено среднее отклонение температуры от нормы на 33 %, среднее отклонение влажности – 41 %.

Библиографический список

1. СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. –М., 2021. –452 с.
2. ГОСТ 12.1.005-88 Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарные-требования к воздуху рабочей зоны. –М., 1988. –78 с.

*И.И. Светушков, асп.; рук. В.В. Бухмиров, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОКЛИМАТА ТУРБИННОГО ОТДЕЛЕНИЯ ИВАНОВСКОЙ ТЭЦ-2

В турбинном отделении Ивановской ТЭЦ-2 к источникам тепловых загрязнений относятся 5 турбоагрегатов, 13 деаэраторов, 12 подогревателей сетевой воды и вспомогательное оборудование. Измерения параметров микроклимата в турбинном отделении были выполнены в 16 точках на отметках 0.00, 08.00 и 16.00м в период с января 2020 года по март 2024 года с периодичностью один раз в две недели. К основным параметрам микроклимата относят – температуру T , °С и относительную влажность W , %. К вспомогательным параметрам микроклимата относят – содержание углекислого газа CO_2 , $см^3/м^3$ (ppm), массовую концентрацию микрочастиц $PM_{2.5}$, $мг/м^3$ и концентрацию летучих органических соединений $tVOC$, $мг/м^3$.

В турбинном отделении максимальная температура 51,2 °С была зафиксирована 12 августа 2023 года на отм. 16,00м в районе деаэратора №3, что является отклонением от установленной нормы на 30,2 °С [1]. Минимальная температура 7,1 °С составила 9 декабря 2023 на отм. 0.00м у турбоагрегата №5, что является отклонением от установленной нормы на 11,9°С [1]. Максимальная влажность была зафиксирована 6 января 2024 года в районе турбоагрегата №5 на отм. 8.00м и составила 97,8%, что отличается от установленной нормы на 37,8 %. Минимальная влажность составила 46,2% 15 июля 2023 года на отм. 8,00м у турбоагрегата №1, что соответствует норме. Максимальная отклонение концентрации летучих органических соединений $tVOC$ была измерена 30 марта 2024 года и составила 8,2 $мг/м^3$ на отм. 8.00м у турбоагрегата №3, что превышает норматив в восемь раз (допустимое значение равно 1,000 $мг/м^3$ [2]).

Вывод. При обследовании микроклимата турбинного отделения ИвТЭЦ-2 было установлено среднее отклонение температуры от нормы на 43% и влажности на 49%. Зафиксировано одновременное отклонение концентрации tVOC от нормы на 820% около турбины №3.

Библиографический список

1. СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. –М., 2021. –452 с.
2. ГОСТ 12.1.005-88 Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарные-требования к воздуху рабочей зоны. –М., 1988. –78 с.

М.О. Абышкин, Д.А. Михальцов, студ.;
рук. Е.Е. Корочкина, к.т.н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)
**АНАЛИЗ СВОЙСТВ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ
МАТЕРИАЛОВ РЕФРИЖЕРАТОРНЫХ
КОНТЕЙНЕРОВ**

Целью работы является анализ теплоизоляционных материалов рефрижераторных контейнеров: определение наиболее оптимального утеплителя с точки зрения минимизации теплопотерь [1]. Актуальность этой темы берёт своё начало из 261 Федерального закона «Закон об энергосбережении». Уменьшение энергозатрат на сохранение холодильного эффекта в рефрижераторах за счёт улучшения теплоизоляции ограждений. За счёт этого можно дольше сохранять холод в контейнере, на большом расстоянии и запускать холодильные элементы намного реже. В этом случае мы получим большую экономию топлива на транспортировку охлажденного груза, что в свою очередь снизит себестоимость охлажденной продукции. Так же это актуально и для стационарных рефрижераторных контейнеров и охладительных установок, у которых аналогичный механизм возникновения тепловых потерь.

Для исследования был принят самый часто используемый контейнер 40' RC (стандартный 40 футовый контейнер). Стена рефрижераторного контейнера – сэндвич из пенополиуретановых панелей с внешним покрытием из нержавеющей стали толщиной 2-3 мм (с 2000 года) или «клепочный» алюминий (до 2000 года). Внутреннее покрытие также состоит из нержавеющей стали (блестящие стены) или из алюминия (стены белого цвета), толщиной 1 мм. Внутренние бордюры предназначены, чтобы избежать «вздутия» стен корпуса. Толщина сэндвича составляет 10 см.

В результате проведенных расчетов для различных утеплителей наиболее низкие теплопотери оказались у пенополиуретана плотностью 40 кг/м³.

Библиографический список

1. Бухмиров В.В., Ракутина Д.В. Справочные материалы для решения задач по курсу «Тепломассообмен» / ФБГОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». –Иваново, 2017. –120 с.

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

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ
ВОЗДУХА НА ПАРАМЕТРЫ РАБОТЫ
ДУТЬЕВОГО ВЕНТИЛЯТОРА**

Аэродинамические характеристики вентиляторов, приведенные в каталогах производителей или справочной литературе, составлены для стандартных условий, т.е. для чистого воздуха при температуре 20°C, относительной влажности 50%, барометрическом давлении 760 мм рт. ст. и плотности 1,2 кг/м³. Как известно, на термодинамические свойства атмосферного воздуха (при постоянстве атмосферного давления) преимущественное влияние оказывает изменение его температуры. Из-за отклонения рабочей температуры воздуха от номинальной меняется плотность воздуха, а следовательно, и параметры работы дутьевого вентилятора.

В данной работе исследовано влияние изменения температуры атмосферного воздуха на работу тягодутьевых механизмов (ТДМ) на примере вентиляторов ВД-32Б (котлоагрегат ТГМП-114 и электродвигатель ДАЗО-1918-10) и ВД-28,6 (ТГМП-314 и ДАЗО-1918-10) Костромской ГРЭС.

Основными показателями работы ТДМ являются подача (Q , м³/с) и напор (H , мм вод.ст.). Зная КПД, напор и подачу машины, а также рабочую плотность вещества можно расчетным путем определить потребляемую мощность ТДМ (N , кВт).

В работе выполнены расчеты и построены зависимости потребляемых мощностей каждой ТДМ от температуры атмосферного воздуха для двух режимов работы с различными номинальными подачами, напорами и скоростями. На основании полученных зависимостей скорректирован экономический эффект, полученный в работе [1], за счет

отключения калориферов перед регенеративными воздухоподогревателями (РВП).

В результате установлено, что реальный экономический эффект от отключения калориферов перед РВП будет меньше в среднем на 3,4 %. Это связано с увеличением мощности, потребляемой ТДМ, на прокачку более холодного воздуха.

Библиографический список

1. Бухмиров, В.В. Выбор рационального режима работы калорифера перед регенеративным воздухоподогревателем энергоблока мощностью 300 МВт / В.В. Бухмиров, А.Ю. Гильмутдинов, Д.В. Ракутина // Теплоэнергетика. – Вып. 8. – 2010. – С. 46 – 48.

*Н.М. Худяков, студ.; рук. Д.В. Ракутина, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПАРА НА ТЕРМИЧЕСКИЙ КПД ЦИКЛОВ ПТУ

В данной работе проведено исследование влияния начальных и конечных параметров пара на термический КПД циклов ПТУ. Расчет выполнен с использованием ранее разработанной программы для расчета и анализа базовых циклов паротурбинных установок [1]. Теплофизические свойства воды и водяного пара определяются автоматически. Разработанная компьютерная программа внедрена в учебный процесс кафедры ТОТ ИГЭУ.

Проведено исследование влияния начального давления и температуры, а также конечного давления на КПД простого цикла ПТУ и цикла ПТУ с вторичным перегревом пара. На рис. 1 показана зависимость термического КПД простого цикла ПТУ от начального давления P_0 и температуры пара t_0 . Точками показаны максимальные значения термического КПД. Из их расположения на температурных линиях можно сделать вывод о том, что чем выше начальная температура пара, тем выше давление, при котором достигается максимум КПД. Пунктирной линией показаны линии постоянной степени сухости пара на выходе из турбины. Линия $x=0,88$ позволяет понять, какие начальные параметры лучше использовать, чтобы не допускать возрастания влажности выше 12% на выходе из турбины.

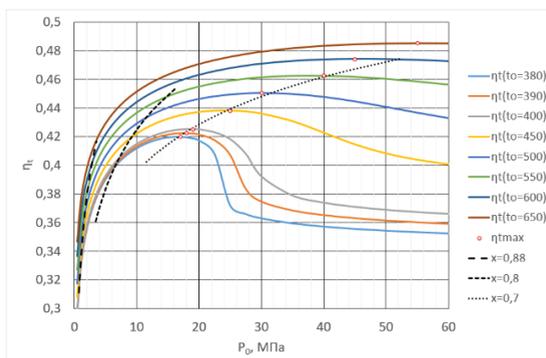


Рис. 1. Зависимость термического КПД простого цикла ПТУ от P_0 и t_0

Библиографический список

1. **Свидетельство** о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023684487. Программа для расчета и анализа циклов паротурбинных установок / Н.М. Худяков, Д.В. Ракутина, И.М. Чухин, Н.Н. Смирнов; заявитель и правообладатель ФГБОУВО ИГЭУ.

*Т.Д. Курзина, студ. Д.М. Крайнов, студ.;
рук. Д.В. Ракутина, к.т.н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОТДАЧИ ОТ ТЕПЛОГО ПОДОКОННИКА

В холодный период года на окнах большого размера из-за недостаточного обогрева образуется конденсат или наледь. Разработанная конструкция Теплового подоконника решает эту проблему. Подоконник состоит из двух металлических частей и нагревательного элемента. Принцип работы основан на естественной конвекции.

Целью данной работы является экспериментальное и теоретическое исследование влияния Теплового подоконника на температуру поверхности окна.

Эксперимент проводили в лаборатории кафедры ТОТ. Температура воздуха в помещении при проведении эксперимента составляла $21,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ при относительной влажности 40%. Температура наружного воздуха – $16\text{ }^{\circ}\text{C}$. Температура точки росы при данных условиях $6,9\text{ }^{\circ}\text{C}$. Температуру и влажность воздуха определяли метеометром МЭС-200А. Температуры поверхности окна и плотность теплового потока измеряли прибором ИТП-МГ4.03 «Поток».

Окно, на котором производили измерения, состоит из двух стекол высотой 930 мм и шириной 540 мм. Расстояние между стеклами – 100 мм. Для имитации теплоотдачи от теплого подоконника использован электронагреватель, закрытый металлической пластиной. Во время эксперимента было выполнено измерение теплового потока от нагретой поверхности, температуры поверхности стекла и температуры воздуха вблизи окна.

В результате экспериментального исследования установлено, что при увеличении теплового потока на 50% температура воздуха около окна в среднем возрастает на 2,4 °С. Опытные данные обобщены в виде эмпирической зависимости температуры поверхности стекла от высоты окна. Погрешность аппроксимации составляет 0,4%. Полученная зависимость будет использована при настройке математической модели Теплого подоконника в программном комплексе «COMSOL». Полученные в ходе исследования данные свидетельствуют об эффективности предложенного устройства.

Библиографический список

1. **Теплый** подоконник [Электронный ресурс]. <https://pt.2035.university/project/teplyj-podokonnik> (дата обращения: 03.04.2024).

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

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ EXCEL ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ЕСТЕСТВЕННОЙ И ВЫНУЖДЕННОЙ КОНВЕКЦИИ

Целью научной работы является создание математического комплекса, позволяющего определять коэффициент теплоотдачи в условиях свободной и вынужденной конвекции и показывающего его последовательный расчёт.

В качестве текучих сред были использованы: воздух, вода, трансформаторное масло, масла марок МК и МС-20, жидкий аммиак и дымовые газы. В условиях свободной конвекции расчёт может проводиться по методикам Михеева М.А.[1], Исаченко В.П.[1], Михеевой И.М. [1], Кириллова П.Л. [2], Леонтьева А.И. [3] и Цветкова Ф.Ф.[4] для соответствующих типов объектов. Для вынужденного теплообмена возможен расчёт коэффициента теплоотдачи при течении флюида внутри трубы, обтекании им пластины, цилиндра или трубного пучка.

После введения необходимых для решения задачи данных пользователю будет представлено решение, найдены все поправки и определены физические свойства веществ методом интерполяции, рассчитаны числа подобия и вычислены значения коэффициента теплоотдачи, теплового потока или количества переданной теплоты.

Достоинствами данной программы являются возможность изменения пользователем любой части программы, например, добавление необходимых ему методик, текучих сред, возможность быстро и корректно рассчитать значения интересующих его параметров и использовать их в своих научных исследованиях и т.д.

Библиографический список

1. Бухмиров В.В. Тепломассообмен: учеб. пособие / ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2014. – 360 с.
2. Кириллов П.Л., Богословская Г.П. Тепломассообмен в ядерных энергетических установках: Учеб. пособие для вузов; 2-е изд., перераб. – М.: ИздАт, 2008. – 256 с.
3. Исаев С.И. Теория тепломассообмена: учебник для вузов/С.И. Исаев, И.А. Кожин, В.И. Кофанов и др.; Под ред. А.И. Леонтьева. – М.: Высш. Школа, 1979. – 495 с.
4. Цветков Ф.Ф. Задачник по тепломассообмену: учеб. пособие / Ф.Ф. Цветков, Р.В. Керимов, В.И. Величко. – 2-е изд., исправ. и доп. –М.: Издательский дом МЭИ, 2008. –196 с.

Д.А. Михальцов, И.А. Головкин, студ.;
рук-ли Д.В. Ракутина, к.т.н., доц.; А.В. Голубев, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ УФ-МОДУЛЕМ

Обеззараживание воздуха с помощью ультрафиолетового (УФ) излучения в настоящее время широко применяется в медицинских учреждениях, на предприятиях сельского хозяйства, пищевой и фармацевтической промышленности, в школах, детских садах, учреждениях дополнительного образования, промышленных предприятиях. При этом внедрение систем автоматизированного управления и контроля работой УФ-оборудования является актуальной задачей.

Предложенная в [1] конструкция УФ-модуля «Сверчок» может легко встраиваться в воздухопроводы системы приточно-вытяжной вентиляции и обеспечивает эффективную очистку воздуха от вредных микроорганизмов. УФ-модуль «Сверчок» представляет из себя каркас из нержавеющей стали, на котором смонтированы бактерицидные лампы. С лицевой стороны панели смонтирован блок питания, управления и

контроля. В данной работе разработано мобильное приложение для управления работой УФ-модуля «Сверчок».

Мобильное приложение обеспечивает автоматическое включение/выключение ультрафиолетовых ламп по выбранному пользователем алгоритму, информирование о состоянии бактерицидных ламп, а также визуализацию информации о работе модуля.

УФ-модуль оснащается датчиками, которые подключаются к микроконтроллеру. Подключение к УФ-установке производится с помощью встроенного Wi-Fi-модуля.

Приложение представляет собой сочетание двух частей: веб-сайта, написанного на языках разметки HTML и CSS, запускаемого на УФ-модуле, и удобной программы-клиента WebView, работающей на телефоне пользователя. Эта программа позволяет легко подключиться к УФ-модулю через локальную сеть Wi-Fi. Надежность и удобство работы обеспечиваются языком программирования Java, на котором написана данная программа.

Библиографический список

1. **Технология** обеззараживания воздуха в системах вентиляции «Сверчок» https://pt.2035.university/project/obezzarazivanie-vozdruha-v-sisteme-ventilacia?_ga=2.90032664.204081254.1710089428-16188562.1697460446 [Электронный ресурс]. (дата обращения: 07.04.2024).

Д.А. Смирнов, студ.; рук-ли Д.В. Ракутина, к.т.н., доц.;
Н.Н. Смирнов, к.т.н. (ИГЭУ, г. Иваново)

СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ПРИТОЧНО-ВЫТЯЖНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ С РЕКУПЕРАЦИЕЙ И РЕЦИРКУЛЯЦИЕЙ

Создание и поддержание комфортных микроклиматических условий на рабочем месте является сложной инженерной задачей. Отчасти эта задача решается за счет выбора рационального режима работы системы приточно-вытяжной вентиляции [1]. Применение рециркуляции и рекуперации способствует повышению эффективности системы вентиляции за счет снижения затрат энергии на нагрев свежего воздуха в зимний период года.

В данной работе проведено сравнение затрат на нагрев приточного воздуха в холодный период года для системы приточно-вытяжной вентиляции с калорифером, с рекуперативным теплообменником и с рециркуляцией воздуха. В качестве объекта исследования выбрано помещение полномасштабного тренажера БЩУ АЭС ИГЭУ. Предварительно

был выполнен расчет теплового баланса помещения БЦУ и определен требуемый расход приточного воздуха.

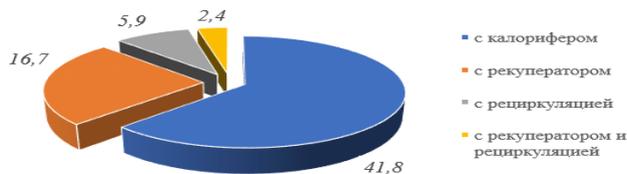


Рис. 1. Результаты расчета требуемой мощности (кВт) на нагрев приточного воздуха в системе вентиляции БЦУ АЭС

На рис. 1 представлены результаты расчета необходимой мощности нагревателя для подогрева приточного воздуха при разных способах организации тепло и воздухообмена. Как видно, наибольшие затраты в системе вентиляции с калорифером, а наименьшие – в системе вентиляции с рекуператором и рециркуляцией. При этом, если оборудовать систему рециркуляции обеззараживающим ультрафиолетовым модулем, получим не только энергоэффективную, но и безопасную систему вентиляции, предотвращающую распространение микроорганизмов, передаваемых воздушно-капельным путем.

Библиографический список

1. Пыжов В.К., Смирнов Н.Н. Системы отопления, вентиляции и кондиционирования: учебник; ИГЭУ. –Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2019. –528 с.

*Н.А. Бутаков, студ.; рук. Д.В. Ракутина, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАСЧЕТ ЭКОНОМИИ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ ПРИ ВНЕДРЕНИИ СИСТЕМЫ УМНЫЙ ДОМ

Система «Умного дома» представляет собой комплексное решение, которое позволяет автоматизировать управление бытовыми устройствами и установками в доме с целью оптимизации потребления энергии. Она включает в себя управление освещением, отоплением, кондиционированием воздуха, а также управление умными приборами и устройствами. Внедрение системы «Умный дом» не только повышает уровень комфорта людей, но и позволяет экономить энергоресурсы.

Цель данной работы – оценить экономию энергоресурсов за счет внедрения системы «Умный дом». В качестве объекта исследования выбран жилой дом площадью 150 м². Энергоснабжение дома осуществляется от городских сетей. Тарифы на энергоносители приняты для г.

Иваново в 2024 году. По данным интернет-ресурсов стоимость установки системы «Умный дом» составляет порядка 1 млн. рублей.

Допустим, что всё освещение в доме контролируется датчиками движения, термостаты поддерживают температуру в доме 22 °С. В результате расчета суммарная экономия на освещении и отоплении составит примерно 21 тыс. рублей в год. При этом срок окупаемости системы «Умный дом» составит около 48 лет.

Наибольший потенциал экономии представляет внедрение системы, которая будет отключать подачу горячей воды, когда жильцов нет дома. Но при этом «Умный дом» включит обогрев дома заранее, чтобы воздух успел прогреться к приходу людей. Такая система может управлять не только отоплением, но и электропитанием, отключая электроприборы, когда никого нет дома.

В случае чрезвычайной ситуации установленные датчики помогут сэкономить намного больше своей стоимости. Своевременное оповещение о начавшемся пожаре или затоплении может помочь успеть спасти имущество: вовремя вызвать спасателей, дистанционно отключить электричество, воду и т.д.

Возможно, в недалёком будущем «Умные дома» будут на самом деле помогать нам экономить больше, но на данный момент это больше технологии для комфорта, чем для экономии.

*В.Р. Некрасова, Е.А. Писанова, студ.;
рук-ли Д.В. Ракутина, к.т.н., доц., А.В. Пекунова, асс.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ЭНЕРГИЯ ХОЛОДА

Арктика – особенный регион с экстремальным климатом, имеющий дефицит энергии. Проблема электроснабжения арктических регионов могла бы решиться за счет использования запаса тепловой энергии мирового океана [1]. Перепад температур между водой (около 0°С) и воздухом (-30... -40 °С) обладает достаточным потенциалом для выработки электроэнергии в энергетических установках. Первым создать такую установку предложил французский инженер Баржо в 1928 г. В качестве нагревателя он предлагал использовать морскую воду, а холодильником должен был служить морозный воздух. В качестве рабочего тела было предложено взять такое вещество, которое кипело бы при температуре ниже 0 °С и конденсировалось бы при температуре -20 °С. Баржо рекомендовал использовать углеводородные соединения типа

пропана, бутана или изобутана. Но предложение Баржо так и не было практически реализовано.

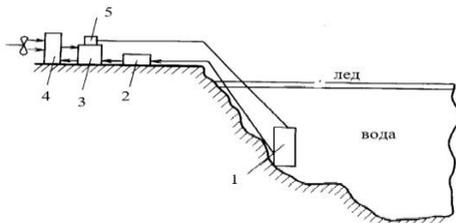


Рис. 1. Схема подлёдной энергетической установки

На рис. 1 показана схема энергетической установки для подлёдной установки, состоящая из испарителя (1), турбины (2), конденсатора (3), градирни (4) и насоса (5), предложенная в [2]. В данной работе рассмотрен расчет КПД цикла такой низкотемпературной энергетической установки для разных рабочих веществ: этана, пропана, этилена, двуокиси углерода и аммиака. В результате установлено, что КПД установки составляет от 7 до 14,6 %. Самое большое значение КПД получилось для этилена. При этом коэффициент полезного действия зависит от перепада температур между испарителем и конденсатором.

Библиографический список

1. Вершинский Н.В. Энергия океана. – М.: Наука, 1986 – 144 с.
2. Электростанции, использующие тепловую энергию природных водоемов и атмосферы / Б.М. Овчинников, Г.Н. Вялов, Э.А. Коптелов, В. В. Парусов // Теплоэнергетика. – 2004. – № 2. – С. 72-78. – EDN PHOVAR.

*И.К. Буланцев, А.М. Подогова, студ.; рук. Т.Е. Созинова, к.т.н, доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

КОМПЬЮТЕРНАЯ ПРОГРАММА ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО И ОЧНОГО ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕПЛОТЕХНИКИ»

Целью работы является создание прикладного программного обеспечения (ПО) по дисциплинам «Теоретические основы теплотехники» и «Техническая термодинамика» по теме «Характерные процессы изменения состояния идеальных газов» для проведения семинаров, как в дистанционном режиме, так и в аудитории.

Задача рационального использования времени на практических занятиях становится всё более актуальной. Поиск инновационных подходов к процессу обучения студентов привёл к созданию данного

приложения. Быстрое развитие технологий позволяет находить новые инструменты для эффективного преподавания на современном уровне. При этом замена ручного процесса обучения (при решении задач на доске) на работу в приложении облегчит и ускорит проведение преподавателем занятий. Студенты смогут лучше понять механизмы решения различных заданий. В качестве теоретической основы использовали «Сборник задач по технической термодинамике» И.М. Чухина [1]. В приложении приведена теоретическая справка, в которую вошли: описание процессов изменения состояния идеальных газов, формулы для характерных процессов, диаграммы.

Таким образом, результатом представленной работы является прикладное ПО для проведения дистанционных и очных занятий по теме «Характерные процессы изменения состояния идеальных газов», входящей в дисциплины «Теоретические основы теплотехники» и «Техническая термодинамика». Разработанная программа является настольным приложением для персонального компьютера, созданным в кроссплатформенной среде UNITY, с простым и понятным интерфейсом. Использование разработанного приложения повысит качество и эффективность образовательного процесса.

Библиографический список

1. Чухин, И.М. Сборник задач по технической термодинамике / ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина» – Иваново, 2018. – 248 с.

В.И. Морозова, Д.А. Гусев, студ.;
рук. Е.Н. Бушуев, д.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ПЕРЕХОД НА СУПЕРСВЕРХКРИТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПАРА, КАК МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПАРОТУРБИННОГО ЦИКЛА ТЭС

РФ занимает второе место по запасам угля. Сжигание этого вида органического топлива в паровых котлах на ТЭС приводит к образованию значительного количества отходов (золы, шлака) и являются главным источников выбросов парниковых газов (прежде всего CO_2) и других вредных веществ в атмосферу. Существенно уменьшить эти выбросы при производстве электроэнергии возможно при отказе от угольной

генерации и переходе на низкоуглеродную энергетику. Для подавляющего большинства ТЭС в РФ проектным топливом является природный газ.

К основным направлениям развития паровых котлов относят [1]: увеличение единичной мощности, повышение параметров (давления и температуры) генерируемого пара, применение промежуточного (вторичного) перегрева пара и автоматизация управления. Паротурбинные энергоблоки СКД приблизились к своему термодинамическому пределу (КПД около 42 %).

Основным путём снижения на угольных ТЭС выбросов вредных веществ, прежде всего парниковых газов, является повышение КПД цикла ТЭС. Перспективным направлением является выработка электроэнергии на энергоблоках с использованием супер- и сверхкритических параметров острого пара [2]. Повышение параметров генерируемого энергетическим котлом пара (давление и температуры) стало возможным с появлением жаропрочных сталей.

Выполненные расчёты показали, что проектируемый ОАО ВТИ паровой котел на получение острого пара с давлением 29,4 МПа и температурой 600 °С [2] позволит обеспечивать расчётный КПД термодинамического цикла на уровне 45,6 % без вторичного перегрева, и 47,8 % с вторичным перегревом пара. Однако, переход на повышенные параметры пара влечет за собой существенное увеличение стоимости сооружения высокотемпературных энергоблоков.

Библиографический список

1. **Барочкин, Е.В.** Котельные агрегаты, котлы-утилизаторы и парогенераторы АЭС: учеб. пособие / Е.В. Барочкин, Е.Н. Бушуев, А.С. Ривкин; ФГБОУВО "Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина". –Иваново., 2017. –296 с.
2. **Сомова, Е.В.** Обзор зарубежных конструкций энергетических котлов на суперсверхкритические параметры пара и перспективы создания энергоблоков ССКП / Е.В. Сомова, А.Н. Тугов, А.Г. Тумановский // Теплоэнергетика, 2021. №6, с. 6–24.

А.В. Истратов, Е.С. Баженова, студ.;
рук. А.Ю. Жолобова, асс.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ПРИНЦИП РАБОТЫ ЦИКЛА ОТТО

Цикл Отто – термодинамический цикл в двигателях внутреннего сгорания (ДВС), названный в честь Н.А. Отто, который разработал его в 1876 году. Идеальный цикл Отто состоит из четырех процессов: адиабатное сжатие, изохорный подвод тепла, адиабатное расширение и изохорный отвод тепла.

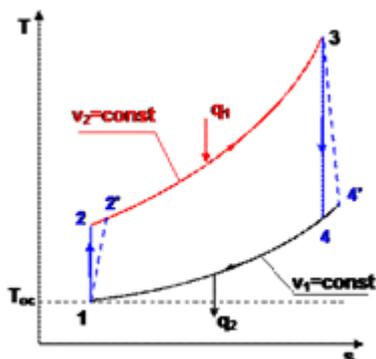


Рисунок 1. TS- диаграмма цикла Отто

Характеризующими этот цикл величинами являются:

- степень сжатия $\varepsilon = \frac{V_1}{V_2}$

- степень повышения давления $\lambda = \frac{p_3}{p_2}$. Этот параметр отражает

тепловую нагрузку цикла.

Термический КПД цикла с подводом теплоты при постоянном объеме зависит от степени сжатия ε и показателя адиабаты k , увеличиваясь с их ростом. Степень сжатия важна для работы двигателя: чем она выше, тем экономичнее ДВС. Однако в карбюраторных двигателях есть ограничение в виде детонации – самовоспламенения топливовоздушной смеси.

Библиографический список

1. **Нащокин В.В.** Техническая термодинамика и теплопередача. Учебн.пособие для неэнергетических специальностей вузов. М.:, «Высшая школа», 1975, с. 496.

СЕКЦИЯ 5

ПРОМЫШЛЕННАЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

Председатель

к.т.н., доцент **Банников А.В.**

Секретарь

к.т.н., доцент **Козлова М.В.**

*М.А. Хайдов, В.М. Кугданов, студ., рук. В.В. Сенников, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМА РАБОТЫ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Разработаны программно-расчетный комплекс (ПРК) системы отопления здания и методика проведения на его базе вычислительного эксперимента. Компьютерное моделирование широко используется в теплотехнике для получения новых знаний о моделируемом объекте и оценки поведения системы теплоснабжения достаточно сложной для аналитического решения [1].

Основные этапы проведенного компьютерного моделирования позволяют:

1) расширить информативность показаний данных узлов учета тепловой энергии и теплоносителя для создания качественного, надежного и экономичного режима работы системы теплоснабжения:

– определить действительную максимальную (базовую) нагрузку системы отопления (СО) здания, сравнить её значение с договорной (проектной) нагрузкой СО и при необходимости внести соответствующие изменения в договор на теплоснабжение;

– разработать базу данных СО зданий, имеющих постоянное значение в отопительный период, таких как тепловой и расходный параметры здания;

– предложить методику определения качества теплоснабжения зданий различного назначения.

2) выполнить наладку теплогидравлического режима системы теплоснабжения поселения наиболее экономичным способом по сравнению с существующими методиками:

3) в комплексе с ГИС «Zulu» реализовать постоянный контроль (мониторинг) и управление режимом работы системы теплоснабжения поселения наиболее экономичным способом

Библиографический список

1. **Соколов, Е.Я.** Теплофикация и тепловые сети: учебник для вузов/ Е.Я. Соколов; 7-е изд. – М.: изд. МЭИ, 2001. – 472 с.

*М.А. Хайдов, В.М. Кугданов, студ.,рук. В.В. Сенников, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ПО УСТРАНЕНИЮ «ПЕРЕТОПА» В ТЕПЛОВЫХ СЕТЯХ

В двухтрубных тепловых сетях при наличии подключенных к ним потребителей с нагрузками отопления и горячего водоснабжения в период высоких температур наружного воздуха наступает явление «перетопа», т.е. подача на нужды отопления завышенного количества тепловой энергии, которое приводит к возрастанию температуры внутреннего воздуха внутри помещений выше допустимых пределов. Кроме ухудшения санитарно-гигиенических условий в отапливаемых помещениях явление «перетопа» приводит к значительному перерасходу топливно-энергетических ресурсов.

Устранить «перетоп» возможно за счет организации в тепловом пункте здания подмеса обратной сетевой воды в подающий трубопровод и подающей сетевой воды в обратный трубопровод. Для этого предлагается устройство с рециркуляционным насосом с ЧРП и регулируемым клапаном. Основным техническим требованием является обеспечение равенства коэффициентов смешения в узловых точках устройства, что позволяет сохранить расчетные расходы сетевой воды на участках тепловой сети и через отопительные системы подключенных зданий.

Следует особо отметить, что предлагаемая схема устройства по устранению «перетопа» может применяться при любых температурных графиках: 150/70 °С, 130/70 °С, 95/70 °С. Если температурный график более 95/70 °С, то в системе отопления здания возможно применить смешивающее устройство: элеватор или насос смешения. Таким образом, функционально оба устройства при температурных графиках более 95/70 °С, представляют собой единое целое.

Изготовлен экспериментальный образец устройства, разработана методика проведения эксперимента, проведены исследовательские испытания экспериментального образца устройства, доказана возможность устранения «перетопа» в отапливаемых помещениях здания.

А.С. Румянцев, студ.; рук. М.В. Козлова к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ТЕПЛООВОГО РАСЧЕТА КОНДЕНСАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ

Использование программных средств, реализующих различные методики расчета конденсационных установок, позволяет снизить трудоемкость расчета энергетических характеристик конденсатора, соответственно, создание программ ЭВМ, позволяющих определять основные параметры работы данного оборудования, является актуальным.

Авторами разработана программа для выполнения поверочного расчета конденсатора паровой турбины [1]. Данная программа ЭВМ позволяет рассчитывать основной интегральный показатель конденсатора турбины, характеризующий его работу, – абсолютное давление отработавшего пара в горловине конденсатора, зависящее от температуры и расхода охлаждающей воды, расхода пара. Кроме этого, в качестве показателей эффективности работы конденсатора рассматриваются температурный напор и коэффициент теплопередачи конденсатора.

Для автоматизации расчета авторами используются встраиваемые функции свойств воды и водяного пара WaterSteam. Расчет выполняется по трем методикам: методике Всероссийского теплотехнического института (ВТИ), Калужского турбинного завода (КТЗ) и Уральского государственного технического университета (УГТУ).

Разработанный программный продукт позволяет не только выполнять поверочный расчет, но и проводить в дальнейшем анализ влияния режимных параметров на эффективность работы системы. На рисунке 1 представлена одна из полученных зависимостей.

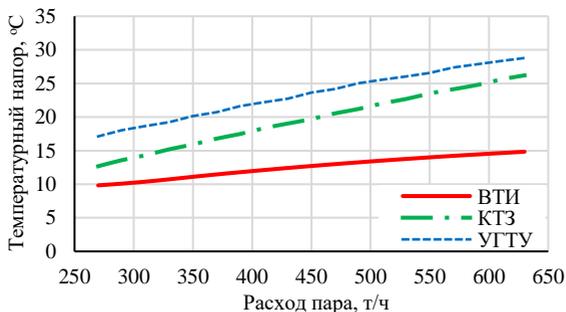


Рисунок 1 –
Зависимость среднего логарифмического температурного напора от расхода пара в конденсатор

Библиографический список

1. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024618326 Российской Федерации. Поверочный тепловой расчет конденсатора: № 2024617034: заявл. 01.04.2024; опубл. 10.04.2024/ М. В. Козлова, А. С. Румянцев; заявитель ФГБОУ ВО ИГЭУ.

Ю.В. Антонова, студ.; рук. М.В. Козлова к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СКОРОСТИ ВЕТРА НА ВЕЛИЧИНУ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ ЗДАНИЯ

При определении нагрузки на систему отопления методом теплового баланса рассчитываются тепловые потери и тепловыделения здания. При этом основная доля тепловых потерь приходится на ограждающие конструкции.

Суммарное термическое сопротивление стены зависит от ее конструкции, а также от условий теплоотдачи от внутреннего воздуха к стенке и от стенки к наружному воздуху.

В нормативных документах при расчете тепловых потерь рекомендуется принимать коэффициент теплоотдачи со стороны внутреннего воздуха равный $8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, наружного – $23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ [1]. Однако значения данных величин на практике могут отличаться.

Автором было выполнено расчетное исследование зависимости термического сопротивления теплопередаче и коэффициента теплоотдачи от наружной стенки к воздуху от скорости ветра для жилого дома, расположенного в г. Владимир (рисунок 1).

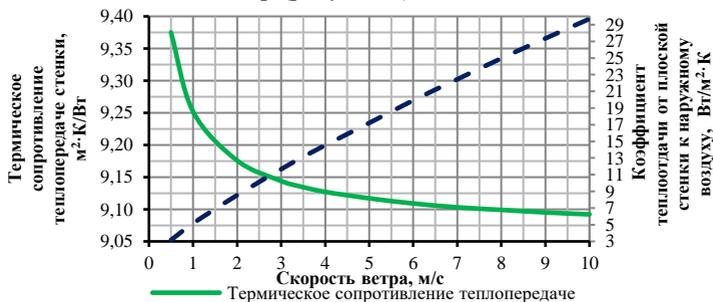


Рисунок 1 – Зависимость термического сопротивления теплопередаче и коэффициента теплоотдачи от скорости ветра

В результате исследования установлено, что рекомендуемое значение коэффициента теплоотдачи со стороны внутреннего воздуха существенно завышено (более чем в 2 раза), а рекомендуемое значение коэффициента теплоотдачи со стороны наружного воздуха достигается только при скорости ветра, превышающей 7 м/с. В целом увеличение скорости ветра приводит к возрастанию тепловых потерь здания, при этом данная зависимость носит нелинейный характер.

Библиографический список

1. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. – М.: ФАУ ФЦС, 2012. – 96 с.

*М.Д. Птицын, студ.; рук. С.А. Банникова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ СНИЖЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ В СЕТЯХ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Низкая энергоэффективность тепловых сетей в настоящее время, вызванная, в частности, их значительным физическим и моральным износом, приводит к необходимости создания тепловых сетей с применением современных энергоэффективных технологий. Снижение тепловых потерь позволяет повысить рентабельность тепловых сетей и их энергетическую эффективность, обеспечить требуемое качество тепловой энергии, а также дает возможность подключать новых потребителей без ввода в эксплуатацию дополнительных источников тепла.

Анализ существующих информационных источников позволил сделать вывод, что к наиболее часто встречающимся техническим решениям, позволяющим сократить тепловые потери, относятся как использование современных теплоизоляционных материалов, так и применение оригинальных технических решений, связанных с изменением конструкции элементов тепловой сети. К современным теплоизоляционным материалам можно отнести пенополиуретановую и пенополимерминеральную изоляцию, изоляцию из стекловолокна, термоизоляционную краску, теплоотражающую изоляцию и другое. Оригинальным техническим решением является, например, контактная конструкция теплопроводов двухтрубной тепловой сети, представляющая собой два канала с поперечным сечением в виде полуокружности, совмещенные в один трубопровод, при этом каналы соединены их плоскими сторонами через теплоизоляционный слой. Примером решения проблемы «тепловых мостов» в местах сопряжения трубопроводов сетей теплоснабжения со строительными конструкциями является использование изолированных скользящих опор трубопроводов. Оригинальным решением может также являться использование инновационной конструкции канальной тепловой сети, включающей блок из теплоизоляционных плит с каналами для труб.

В заключение необходимо отметить, что в текущий момент наиболее простыми, менее затратными и часто встречающимися на практике решениями являются использование современных теплоизоляционных материалов и предизолированных трубопроводов, позволяющих увеличить термическое сопротивление теплопередаче элементов сети и тем самым сократить удельные линейные тепловые потери.

А.С. Румянцев, студ.; рук. М.В. Козлова к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

АНАЛИЗ МЕТОДИК ПОВЕРОЧНОГО ТЕПЛООВОГО РАСЧЕТА КОНДЕНСАТОРА ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ

В современном мире одним из основных источников тепловой и электрической энергии являются тепловые электрические станции. Показатели эффективности их работы существенно зависят от параметров работы конденсационных установок.

В данной работе представлены результаты анализа показателей работы конденсатора паровой турбины, полученные при выполнении поверочного расчета с использованием наиболее распространенных методик: методики Всероссийского теплотехнического института (ВТИ), Калужского турбинного завода (КТЗ) и Уральского государственного технического университета (УГТУ).

В результате расчетов, выполненных с помощью разработанной авторами программы [1], были получены зависимости давления в конденсаторе от расхода пара, поступающего в конденсатор, расхода охлаждающей воды и ее температуры на входе теплообменного аппарата. На рисунке 1 представлены две из полученных зависимостей.

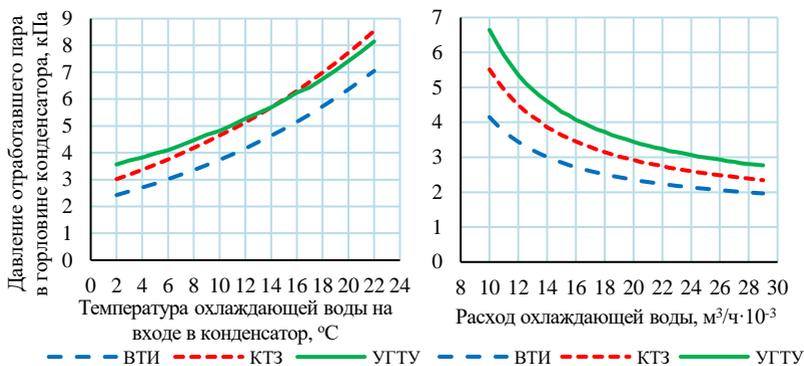


Рисунок 1 – Зависимость давления в конденсаторе от температуры охлаждающей воды на входе в конденсатор и расхода охлаждающей воды

На основании анализа построенных зависимостей можно сделать вывод о сходимости значений, полученных по методикам КТЗ и УГТУ.

Библиографический список

1. **Свидетельство** о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024618326 Российская Федерация. Поверочный тепловой расчет конденсатора: № 2024617034: заявл. 01.04.2024; опубл. 10.04.2024/ М. В. Козлова, А. С. Румянцев; заявитель ФГБОУ ВО ИГЭУ.

В.М. Лапшова, студ.; рук. М.В. Козлова к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ВЛИЯНИЕ СОЛЕННОСТИ МОРСКОЙ ВОДЫ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГАЗОКОНТАКТНЫХ ОПРЕСНИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Одним из факторов, оказывающих влияние на производительность опреснительных установок газоконтактного типа, является соленость исходной опресняемой воды.

В работе представлены результаты исследования влияния солёности на параметры работы опреснительной установки. На рисунках 1 и 2 приведены зависимости расхода дымовых газов для получения 1000 м³/ч пресной воды и концентрации водяных паров в парогазовой смеси от температуры диспергируемой воды и ее солёности [1].

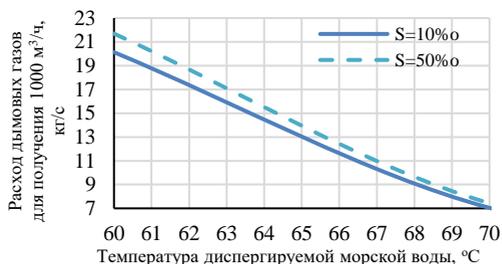


Рисунок 1 – Зависимость расхода дымовых газов для получения 1000 м³/ч пресной воды от температуры диспергированной воды и ее солёности

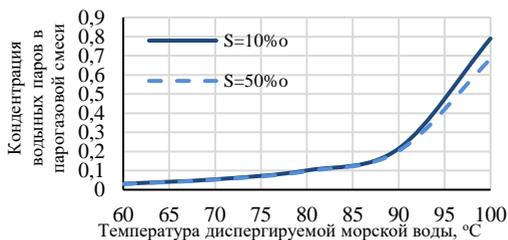


Рисунок 2 – Зависимость концентрации водяных паров в парогазовой смеси от температуры диспергированной воды и ее солёности

Из графиков видно, что при увеличении солёности и уменьшении температуры распыляемой морской воды увеличивается расход дымовых газов и уменьшается концентрация водяных паров в парогазовой смеси, что приводит к возрастанию затрат энергии на процесс опреснения.

Библиографический список

1. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023687087 Российская Федерация. Расчет термодинамических параметров уходящих газов : № 2023686321 : заявл. 28.11.2023 : опубл. 11.12.2023 / А. В. Банников, М. В. Козлова, В. М. Лапшова ; заявитель ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина».

Д.А. Золин, студ.; рук. А.В. Банников, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СУШИЛЬНОЙ КАМЕРЫ

В данной работе предложено решение для повышения эффективности сушильной камеры на деревообрабатывающем производстве.

В настоящий момент для подогрева наружного воздуха на изучаемом объекте используется электрический калорифер. Расчетные параметры наружного воздуха для города Иваново: $t_{нр} = -29$ °С, энтальпия $h_{нр} = -28,5$ кДж/кг. Температура воздуха, подаваемого в сушильную камеру, по технологическим условиям составляет 40-45 °С [1], для принятой $t_{вн} = 40$ °С энтальпия воздуха $h_{вн} = 139,2$ кДж/кг. В помещениях такого типа кратность воздухообмена n_p должна быть 5-6 ч⁻¹ [2]. Для внутреннего объема сушильной камеры $V_{вн} = 52,5$ м³ расчетный расход воздуха будет равен:

$$L_p = n_p \cdot V_{вн} = 5 \cdot 52,5 = 262,5 \text{ м}^3/\text{ч},$$

При этом нагрузка на калорифер составит

$$Q_p = L \cdot \rho \cdot (h_{вп} - h_{нр}) = \frac{262,5 \cdot 1,2 \cdot (139,2 - (-28,5))}{3600} = 14,5 \text{ кВт}.$$

Эксплуатационные затраты для такого калорифера крайне высоки, поэтому автором предлагается заменить его на водяной калорифер, который при температурном графике 90/70 °С имеет мощность 15 кВт, что достаточно для обеспечения требуемых параметров воздуха в сушильной камере. Температурный график качественного регулирования отопительной нагрузки представлен на рис. 1.

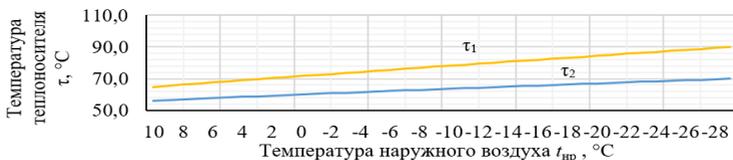


Рисунок 1 - Температурные графики качественного регулирования отопительной нагрузки; τ_1 – температура в подающем трубопроводе; τ_2 – температура в обратном трубопроводе

Библиографический список

1. Энергоэффективная технология сушки древесины. [ЭЛЕКТРОГИДРОМАШ, 2008]. URL: <https://nasos-egm.ru/articles/energoeffektivnaya-tekhnologiya-sushki-drevesiny.html> (дата обращения: 10.04.2024).
2. СП 60.13330.2020. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003*. – М., 2016. – 81 с.

*С.А. Красоткин, М.В. Малков, студ.; рук.
Л.И. Тимошин к.т.н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)*

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ОБЩЕСТВЕННОГО ЗДАНИЯ

Для разработки мероприятий по повышению энергетической эффективности системы теплоснабжения выбрано четырехэтажное общественное здание в г. Иваново. Выбранное здание правильной формы, площадь стен составляет 1500 м², площадь окон (светопрозрачных ограждений) - 1080 м², площадь потолочного перекрытия и пола равны и составляют - 1190 м². Толщина бетонных стен здания равна 700 мм, их термическое сопротивление до проведения энергосберегающих мероприятий составляет 1,2 (м²·К)/Вт^[1]. Здание было построено в 70-е годы прошлого столетия и отношение площади светопрозрачных ограждений к общей площади внешних ограждений составляет около 50%.

Были проведены тепловизионное обследование с помощью прибора – тепловизора. Тепловизионный метод контроля заключается в фотографировании (инфракрасные изображения) невидимых глазу утечек тепла, мест повреждения фасада, мест проникновения холода в помещение. Благодаря тепловизионному обследованию удалось выявить значительные тепловые потери на стыке оконных проемов, так называемые "мостики холода" из-за негерметичной установки окон. Своевременное выявление дефектов позволит устранить причины тепловых потерь, снизить затраты на отопление, за счет нанесения тепловой изоляции на стены и уменьшения площади и замены окон.

Нанесение внешней теплоизоляции на стены и в качестве тепловой изоляции предлагается два наиболее распространенных теплоизоляционных материала: экструдированный пенополистирол «Технониколь», или минеральную вату «Isover».

Экструдированный пенополистирол «Технониколь» имеет плотность 35 кг/м³ и теплопроводность при 25 °С $\lambda=0,029$ Вт/(м·К)^[1]. Пенополистирол «Технониколь» – универсальный утеплитель. Ему свойственны низкие показатели теплопроводности, он характеризуется химической стойкостью, высокой прочностью на сжатие, водо- и паронепроницаемостью, а также устойчивостью к образованию плесени и грибков.

Минеральная вата «Isover» имеет плотность 35кг/м³ и теплопроводность 0,038 Вт/(м·К)^[1]. Теплоизоляцию рекомендуется укладывать в несколько слоев с разбежкой швов. Это обеспечит надежную защиту от появления «мостиков холода».

*Н.А. Франтов (ООО «Профессионал», г. Иваново;
рук. М.В. Козлова к.т.н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)*

ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МОРСКОЙ ВОДЫ

При реализации различных методов опреснения морской воды необходимо уделять особое внимание ее физическим и химическим свойствам. Учет особенностей свойств морской воды позволяет повысить практическое использование ее энергетического потенциала и достичь более высоких экономических показателей. В этой связи вопросы, касающиеся определения теплофизических свойств морской воды, а также разработки программных средств, позволяющих их рассчитывать, являются актуальной.

В данной работе представлены результаты анализа сходимости значений теплофизических свойств, рассчитанных в разработанном автором программном средстве, и значений, полученных с использованием широко применяемых аппроксимирующих функций. Основными факторами, влияющими на теплофизические свойства морской воды, является ее соленость, температура и давление. В программном средстве расчет теплофизических свойств (теплоемкости, кинематической вязкости, плотности и т.д.) выполняется на основе табличных данных реальных свойств морской воды [1].

На основании полученных данных можно сделать вывод о том, что использование аппроксимирующих функций приводит к погрешности, не превышающей 2,79 %. Как видно из представленных зависимостей (рисунок 1) расхождение значений возрастает с увеличением солености морской воды.

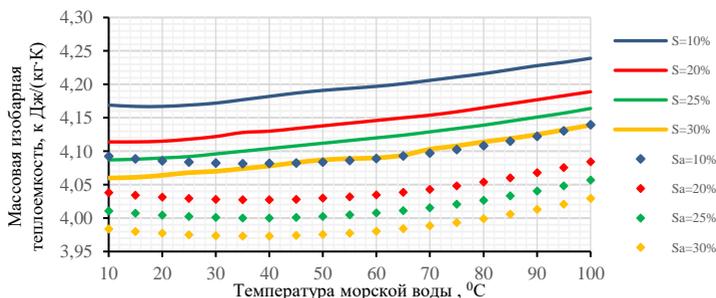


Рисунок 1 – Зависимость теплоемкости морской воды от температуры и солености

Библиографический список

1. Слесаренко В.Н. Современные методы опреснения морских и солоноватых вод/ В.Н. Слесаренко. – М.: Энергия, 1973. – 248 с.

Д.А. Золин, студ.; рук. А.В. Банников, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ МЕТОДОМ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ВОЛНЫ

В настоящей работе определены фактические тепловые потери в тепловых сетях города Дзержинск методом «температурной волны».

Особенность данного метода заключается в том, что на заключительном этапе испытаний, во время которых измеряются значения температуры в намеченных точках, уточняется продолжительность пробега условных частиц жидкости по испытываемому циркуляционному кольцу. На этом этапе температура в подающей линии в течение 20-40 минут повышается на 10-20 °С по сравнению с температурой в подающем трубопроводе и поддерживается в течение 1 часа, затем с такой же скоростью снижается до начального значения, при этом расход остается неизменным. По полученным значениям температуры строится график зависимости температуры теплоносителя от времени, который затем смещается на фактическую продолжительность пробега частиц между точками измерения [1]. График изменения температуры представлен на рис. 1.



Рисунок 1 - Изменение температуры в подающем и обратном трубопроводе во время испытаний: 1 – температура в подающем трубопроводе; 2 – температура в обратном трубопроводе

В результате расчетов тепловые потери составили 758636,6 ккал/ч в подающем трубопроводе и 647976,4 ккал/ч в обратном трубопроводе.

Библиографический список

1. РД 34.09.255-97. Методические указания по определению тепловых потерь в водяных тепловых сетях. – Москва: СПО ОРГРЭС, 1998. – 27 с.

М.В. Палёнова, маг.;

рук. С. В. Васильев, к.т.н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ РАСЧЕТА ТЕПЛОВЫХ СХЕМ ПГУ

В отечественной энергетике на тепловых электростанциях в основном применяются паротурбинные установки (ПТУ). Однако, в настоящее время политика государства направлена на модернизацию старого оборудования с применением комбинированных термодинамических циклов, обеспечивающих надежное электро- и теплоснабжение населения и промышленных предприятий. Одним из вариантов направления развития энергетики является применение парогазовых установок (ПГУ), которые имеют более высокие экологические, экономические и энергетические характеристики.

В ходе данной работы произведен анализ различных схем парогазовых установок с котлами-утилизаторами и изучены различные методики расчета тепловых схем ПГУ. Известно, что одной из основных задач проектирования парогазовой установки является разработка тепловой схемы ПГУ и определение оптимальных параметров работы основного оборудования.

Для решения данной задачи на основании рекомендаций по определению основных показателей работы парогазовых установок [1, 2] разрабатывается алгоритм и программа расчета тепловой схемы ПГУ с котлами-утилизаторами в MS Excel. Данная программа состоит из нескольких блоков: блок расчета параметров ГТУ, блок теплового расчета котла-утилизатора, блок расчета параметров ПТУ, и непосредственно схема теплового баланса парогазовой установки, на которой отражены основные результаты расчета.

Разрабатываемая программа по расчету тепловой схемы ПГУ позволит смоделировать и исследовать режимы работы парогазовой установки в зависимости от типа применяемой газовой турбины, климатических параметров площадки строительства и вида топлива, а также поможет облегчить получение данных для анализа эффективности работы ПГУ при разном составе основного оборудования блока.

Библиографический список

1. Зорин М. Ю. Методические основы расчета и анализа схем утилизационных ПГУ: Учеб.-метод. пособие / ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина». – Иваново, 2018. – 69 с.

2. Трухний А. Д., Петрунин С. В. Расчет тепловых схем парогазовых установок утилизационного типа: Методическое пособие по курсу «Энергетические установки». – М.: Издательство МЭИ, 2001. – 24 с.

*Д.А.Смирнов, студ.; рук. Н.Н.Смирнов, к.т.н.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В ОБЕЗЗАРАЖИВАТЕЛЕ ВОЗДУХА

Целью научной работы является создание имитационной модели аэродинамических и теплообменных процессов, происходящих в бактерицидном модуле.

В последнее время в связи с всплеском заболеваний, передающихся воздушно-капельным путём и носящих эпидемический характер, особой актуальностью обладают вопросы, связанные с бактерицидной обработкой воздуха. Одним из энергоэффективных мероприятий в системах вентиляции и кондиционирования является использование теплоты (холода) вытяжного воздуха в камерах смешения. Утилизация энергии вытяжного воздуха в рекуперативных теплообменниках при подогреве (охлаждении) наружного воздуха имеет ограниченные температурные режимы применения [1]. Полученный в камерах смешения воздух целесообразно обрабатывать в бактерицидных ячейках для его обеззараживания и дальнейшей подачи в места массового пребывания людей. В данном случае будут достигаться энергосберегающий эффект в системах вентиляции и кондиционирования воздуха, а также выполняться требования по охране здоровья обслуживающего персонала.

В данной работе выполнено моделирование прохождения потоков приточного воздуха через бактерицидный модуль. Данный модуль встроен в систему кондиционирования воздуха, обеспечивающую создание микроклимата в помещениях полномасштабного тренажера блочного щита управления АЭС (А-169) и лаборатории прецизионных систем формирования микроклимата (А-170).

В ходе моделирования были построены скоростные и температурные поля в обеззараживателе, а также линии потоков воздуха. Определено падение давления воздуха в модуле. Рассматривались различные варианты расположения бактерицидных ламп в пространстве воздуховода.

При моделировании был использован метод конечных элементов, а также фундаментальные законы теплообмена [2] и аэродинамики.

Библиографический список

1. **Пыжов В.К.** Смирнов Н.Н. Системы отопления, вентиляции и кондиционирования: учебник; ИГЭУ/В.К. Пыжов, Н.Н. Смирнов. – Москва ; Вологда: Инфра-Инженерия, 2019.–528 с.

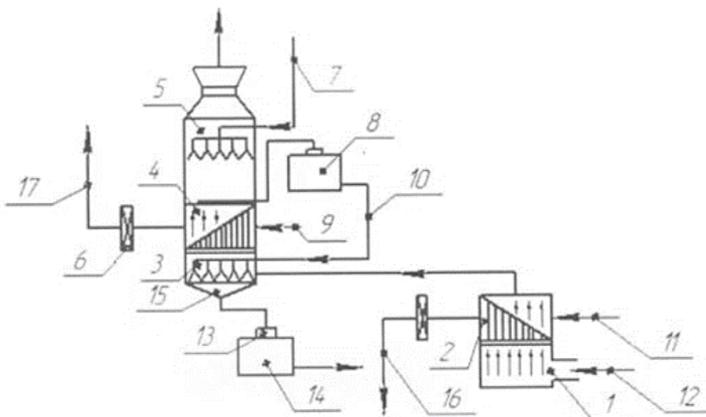
2. Бухмиров В.В. Теплообмен: учеб. пособие / ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2014. – 360 с.

*В.Д. Калинин, К.А. Павлова, студ.; рук. А.В. Коновалов к.т.н.,
доц. (ИГЭУ, г. Иваново)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОТЫ ПАРОГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ В ПРОМЫШЛЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

В современном мире одними из ключевых задач являются вопросы об использовании вторичных энергоресурсов и энергосбережении, путем использования теплоты парогазовых выбросов. На данный момент ВЭР составляют примерно 15 миллионов Гкал/год или 15 % от объема всей потребляемой энергии.

В данной работе представлены результаты анализа различных способов утилизации теплоты уходящих газов паровоздушной смеси сушильных машин с использованием теплорекуперационных установок (ТРА).



1-приёмная камера, 2-теплообменник первой ступени, 3-спрысковая камера, 4-теплообменник второй ступени, 5-третья ступень, 6-калорифер, 7-свежая вода, 8-промежуточный бак, 9-наружный воздух, 10-вода из форсунки, 11-воздух из зала, 12-паровоздушная смесь, 13-фильтр, 14-бак тёплой воды, 15-поддон, 16-сушильный воздух, 17-вентиляционный воздух

Рисунок 1 – Технологическая схема трехступенчатого ТРА

В работе рассматриваются варианты использования теплоты ПВС на различных промышленных предприятиях, выявлены наиболее энергоэффективные способы утилизации парогазовых выбросов в текстильном, деревообрабатывающем, химическом и пищевом производствах.

*Н.С. Владимиров, маг.; рук. С.В. Васильев к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

АНАЛИЗ СХЕМ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛА УХОДЯЩИХ ГАЗОВ НА ОСНОВЕ ОРГАНИЧЕСКОГО ЦИКЛА РЕНКИНА

Утилизация тепла уходящих газов, особенно ниже температуры точки росы, является одним из основных способов повышения эффективности работы котельных. Данную теплоту можно использовать для нагрева различных потоков воздуха и воды, а также выработки электроэнергии в когенерационных установках.

Среди известных вариантов утилизации [1,2] были выбраны схемы глубокой утилизации с регенератором и без него, а также рассмотрена схема с двойным байпасированием.

Общими элементами рассматриваемых схем являются конденсационный воздухоподогреватель, в котором утилизируется весь нереализованный тепловой потенциал после нагрева рабочего тела в ОЦР, и использование сырой воды для конденсации рабочего тела. Обеспечение необходимой температуры газов на выходе из системы поддерживается за счет байпасирования части газов.

Структура построения исследуемой расчетной модели базируется на общих уравнениях теплового баланса с учетом характеристик низкокипящих рабочих тел. Для моделирования свойств нагреваемой среды используется интегрируемый в Excel модуль «CoolProp» [3].

В качестве объекта исследования для реализации предложенных вариантов выбран водогрейный котел КВ-Г-4,65-150 при производительности 3,415 Гкал/ч, с температурой уходящих газов $t_{yx1} = 205$ °С. Расход топлива 360 м³/ч. В качестве исследуемых параметров были приняты рабочие тела R245fa, R142b, R600a, R152a, R124, R236fa, R227ea, перегрев пара и температура кипения. По итогам работы были получены наиболее эффективные режимы работы схем.

Библиографический список

1. **Карабарин Д.И., Михайленко С.А.** Повышение энергоэффективности производства энергии в районах децентрализованной энергетики / Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2017. Т. 328. № 10. 81–86;
2. **В.А. Маляренко,** Когенерация в котельных на основе органического цикла/ А.Л. Шубенко, С.Ю. Андреев, А.В. Сенецкий, Н.Ю. Бабак, И.А. Темнохун // Коммунальное хозяйство городов. – 2016. – № 130 – с.55 – 64;
3. **База данных** свойств рабочих жидкостей CoolProp 6.5.0 Электронный ресурс Режим доступа: <http://www.coolprop.org>.

*А.А. Контев студ.; рук. С.В. Васильев, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ РАЙОННОЙ БОЛЬНИЦЫ

Основными направлениями экономии топлива производственно-отопительными котельными являются: снижение тепловых потерь теплогенерирующими и теплоиспользующими установками, использование вторичных энергоресурсов, а также применение когенерации на источниках теплоснабжения.

Целью работы являлось повышение эффективности теплоснабжения центральной районной больницы (ЦРБ), на основе разработки технических решений по реконструкции существующей котельной с паровыми котлами.

В работе, на основании проведенного системного анализа, авторами установлено, что наиболее эффективными будут являться следующие технические решения: перевод паровых котлов Е- 1/9 и Е- 2,5/9 в водогрейный режим; переход на двухконтурную тепловую схему котельной; установка теплообменного оборудования; модернизация системы водоподготовки; утилизацию теплоты уходящих газов.

Благодаря реализации данных технических решений снижается потребность в топливе, электроэнергии и воде, сокращается негативное воздействие на окружающую среду, за счет сокращения вредных выбросов в атмосферу и сброса сточных вод и продлевается срок службы установленного основного оборудования.

Авторами будет произведено сравнение технико-экономических показателей до и после модернизации котельной расположенной в г. Заволжск Ивановской области. Реконструкция оборудования котельной существенно повышает эффективность и надежность теплоснабжения объекта.

Библиографический список

1. **Глуценко Л.Ф., Щевцов Д.С., Кунцевич Б.Ф.** Перевод промышленно-отопительных котлов в водогрейный режим. – Киев: Будевильник, 1982.-56с.
2. **Субботин В.И., Васильев С.В., Махов О.Н.** Энергосбережение в системах теплоснабжения: учеб. пособие/ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина. – Иваново, 2012. – 264 с.

*Н.М. Худяков студ.; рук. С.Н. Ярунин, к.т.н, доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНОЙ ПРОГРАММЫ ДЛЯ РАСЧЕТА И АНАЛИЗА ТЕПЛОФИКАЦИОННЫХ ПАРОВЫХ ТУРБИН

Актуальность теплоэнергетических систем возрастает с каждым годом. Чтобы проводить быстрый анализ таких систем, требуется разрабатывать программные комплексы с автоматическим расчетом.

Мной разработана программа для расчета и анализа десяти основных теплофикационных паровых турбин в программной среде Microsoft Excel по учебно-методическому пособию «Промышленные тепловые двигатели» [1]. Программа позволяет выполнить расчет всех необходимых характеристик паровых турбин, таких как: расход острого пара на турбину, расход пара промышленные и теплофикационные отборы, расход пара на нерегулируемые отборы турбины, давление и температуру пара нерегулируемых отборов, температуру основного конденсата и питательной воды после системы регенерации турбины, нагрузку и расход топлива на пиковый водогрейный котел и т.д. Так же, в данном программном комплексе рассчитывается график теплоснабжения с возможностью его регулировки и выводится в удобной графической форме. В качестве места расположения теплоэнергетического оборудования можно выбрать любой из 441 города свода правил по строительной климатологии [3].

Создание этого программного комплекса было бы невозможно без таблиц теплофизических свойств воды и водяного пара [2]. В данной работе были оцифрованы таблицы воды и водяного пара и созданы несколько модулей для автоматического поиска термодинамических параметров. Модули позволяют находить требуемые параметры воды и водяного пара (p , t , v , h , s) при давлениях от 1 кПа до 100 МПа и температурах от 0 до 800 °С. С помощью данных модулей легко интегрировать в расчеты поиск необходимых параметров. Благодаря этому расчет был полностью автоматизирован.

Библиографический список

1. **Ярунин, С.Н.** Промышленные тепловые двигатели: учебно-метод. пособие. / С.Н. Ярунин, Л.И. Тимошин, Н.Н. Ярунина ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина». – Иваново, 2023. – 128 с.
2. **Таблицы** теплофизических свойств воды и водяного пара: Справочник. Рек. Гос. службой стандартных справочных данных. ГСССД Р-776-98 - М.: Издательство МЭИ. 1999. - 168 с.; ил.
3. **СП 131.13330.2020.** Свод правил. Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99.

*П.А. Талатина, студ.; рук. А.В. Коновалов к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ ЖИЛОГО КОТТЕДЖА

Строительство коттеджей является очень популярной услугой. Жизнь в коттедже, по сравнению с другими видами организации постоянного места жительства, отличается комфортом, удобством и индивидуальностью. С точки зрения функциональности и практичности жилой коттедж должен быть обеспечен всеми необходимыми инженерными коммуникациями [1].

В данной работе мною выбираются и проектируются системы отопления, газоснабжения, водоснабжения, водоотведения и электроснабжения жилого коттеджа. Объектом исследования является жилой коттедж, расположенный в городе Ярославль. В ходе проделанной работы составляется тепловой баланс здания для определения отопительной нагрузки, выполняется расчет систем отопления и ГВС, производится подбор оборудования для эффективного функционирования расчетных систем, выбираются солнечные батареи [2,3].

В заключении мною оценивается экономическая целесообразность системы, использующей солнечную электростанцию [4]. Определяются такие параметры, как срок окупаемости, чистый дисконтированный доход, индекс доходности. Также оценивается вариант работы солнечной электростанции совместно с дизельным или газовым генератором.

Библиографический список

- 1. Пыжов, В.К.** Энергетические системы обеспечения жизни и деятельности человека: Учебник / ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2014. – 524 с.
- 2. СП 131.13330.2020.** СТРОИТЕЛЬНАЯ КЛИМАТОЛОГИЯ. Актуализированная версия СНиП 23-01-99*/ Минрегион России. – М.: ГП ЦПП, 2012. – 113 с.
- 3. СП 60.13330.2020.** ОТОПЛЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА. Актуализированная версия СНиП 40-01-2003/ Минрегион России. – М.: ГП ЦПП, 2012. – 67 с.
- 4. Виссарионов В.И., Дерюгина Г.В., Кузнецова В.А., Малинин Н.К.,** СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГЕТИКА: Учебное пособие для вузов / Под ред. В.И.Виссарионова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – 200 с.

СЕКЦИЯ 6
ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Председатель

к.т.н., доцент **Банников А.В.**

Секретарь

к.т.н., доцент **Козлова М.В.**

*Н.И. Горохова, студ; рук. С.Н. Ярунин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, Иваново)*

РАЗРАБОТКА ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА

С целью выработки тепловой и электрической энергии на станциях в различных регионах России широко применяется твёрдое топливо (каменный уголь, бурый уголь, торф)

Обычно уголь используют как топливо для паротурбинных установок (ПТУ). Сначала уголь сжигают в топке энергетического котла, а затем полученный перегретый пар направляют в теплофикационную паровую турбину.

Проблема заключается в том, что ПТУ имеют низкий КПД на выработке электроэнергии. Также сжигание углей в топках котлов сопровождается значительными выбросами в атмосферу золы. В связи с этим, предлагаем рассмотреть более эффективный способ применения твёрдого топлива, а именно парогазовую установку с внутрицикловой газификацией угля (ПГУ-ВЦГ). Вначале твёрдое топливо проходит термохимическую обработку (Газификацию). Полученный генераторный газ используется после очистки в газотурбинной установке.

В ходе исследований была разработана схема и математическая модель ПГУ-ВЦГ для промышленной ТЭЦ небольшой мощности.

С помощью математической модели были проведены расчеты, которые позволили выбрать оптимальные рабочие параметры (α - коэффициент избытка воздуха в камере сгорания, D_p – расход пара в промотбор, π_k - степень сжатия компрессора).

В качестве критериев оптимизации использовались следующие энергетические показатели ПГУ-ТЭЦ: КИТ – Коэффициент использования теплоты топлива, $\eta_e^{пгу}$ - КПД выработки электроэнергии, $N_{пгу}$ - электрическая мощность установки.

Библиографический список

1. Алешина А. С., Сергеев В. В. Газификация твердого топлива: учеб. пособие. - СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2010. — 202 с.
2. Ярунина, Н. Н. Биотехнологии в экологии и энергетике / Н. Н. Ярунина, Н. А. Еремина, С. Н. Ярунин. – Иваново : Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина, 2023. – 100 с.

*С.А. Кострюков, студ.; рук. Ю.В. Гусева, к.ф.-м.н., доц.
(филиал МЭИ, г. Волжский)*

РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕТРОГЕНЕРАТОРА

Создание и внедрение новых эффективных технологий производства электрической энергии в соответствии с энергетической стратегией развития России определяет уровень конкурентоспособности отечественной электроэнергетики. Несмотря на то, что объем выработки электрической энергии альтернативными источниками энергии в суммарном балансе составляет 2,06 млрд. кВтч (порядка 0,8%) (ветряные и солнечные электрические станции), разработка и совершенствование новых энергетических установок и их узлов позволит в значительной степени решить проблему энергоснабжения удаленных потребителей, особенно для локальных (изолированных) энергетических систем. В этой связи создание новых эффективных конструкций ветроэнергетических установок является приоритетной задачей развития альтернативных источников энергии.

Для решения поставленных задач исследования в работе выполнено построение профилей лопастей ротора ветрогенератора в программе Компас 3D, изготовление моделей с помощью 3D-принтера из полимерного материала и дальнейшая апробация разработанных моделей в лабораторных условиях. С помощью программного комплекса компьютерного моделирования AnsysFluent22R1 было проведено изучение локальных эффектов профилей ветрогенератора с вертикальным расположением ротора Савониуса, выполненного по «золотому сечению» в диапазоне скоростей потока воздуха от 5 до 20 м/с. Результаты компьютерного моделирования профиля ветроколеса показали, что геометрия ковша оказывает существенное влияние на изменение локальных характеристик. Анализ скоростных полей, полученных в результате исследования, показывает, что наиболее высокая скорость набегающего потока в створе рабочего колеса наблюдается на уровне 5 м/с при относительно небольшой парусности, что соответствует средним скоростям ветра для региональных климатических условий Волгоградской области.

Полученные результаты могут быть использованы на этапе проектирования профилей лопастного аппарата ветроэнергетических установок малой мощности.

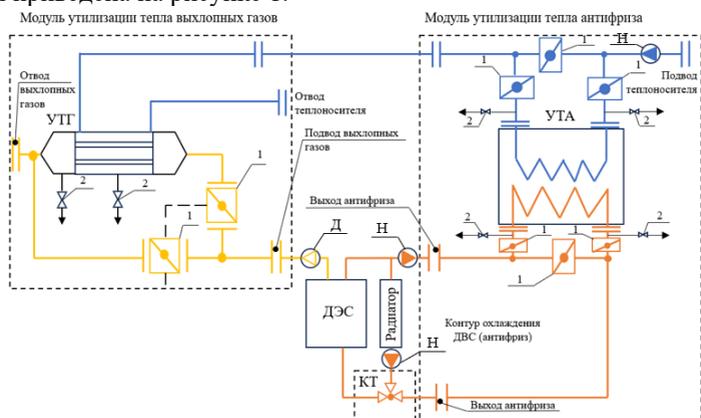
*А.В. Самолотов студ.; рук. М.В. Козлова к.т.н., доц.,
(ИГЭУ, Иваново)*

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ПОСЕЛКА НАКЫН

Основной целью Энергетической стратегии России на период до 2035 года является эффективное использование природных энергетических ресурсов. В связи с этим вопросы повышения эффективности систем энергоснабжения путем использования вторичных энергетических ресурсов (ВЭР) являются актуальной задачей.

Основными источниками энергии в системе энергоснабжения поселка Накын (Республика Саха (Якутия) являются солнечные коллекторы, водогрейная котельная и дизельная электростанция (ДЭС), функционирующая на базе установок Wartsila 9L34DF.

Для повышения энергетической эффективности существующей системы авторами предлагается использование теплоты дымовых газов, покидающих ДЭС, а также энергии, получаемой за счет снижения температуры рубашки охлаждения двигателя. Принципиальная схема такой системы приведена на рисунке 1.



1 – затвор поворотный; 2 – кран шаровой; ДЭС – дизельная электростанция; КТ – клапан трехходовой с электроприводом; Н – насос; УТА – утилизатор тепла антифриза; УТГ – утилизатор тепла выхлопных газов; Д – дымосос

Рисунок 1 – Принципиальная схема утилизации тепловых ВЭР ДЭС

В результате расчетного исследования установлено, что утилизация теплоты данных ВЭР позволяет снизить нагрузку на водогрейную котельную в расчетный период на 8,9 МВт.

*Е.Д. Новикова, маг.; рук. С.В. Васильев к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ АВТОНОМНЫХ ОБЪЕКТОВ

Сокращение расходов на комбинированную выработку электрической и тепловой энергии и уменьшение выбросов вредных веществ в атмосферу обеспечивает внедрение когенерационных энергоисточников на базе поршневых и газотурбинных двигателей для комбинированной выработки электрической и тепловой энергии.

Целью работы является разработка комплекса нового генерирующего оборудования газопоршневой электростанции.

Эффективность когенерационных установок обеспечивается прежде всего выбором первичного двигателя, который определяется на основе сравнительного анализа результатов расчета технико-экономических показателей возможных вариантов оборудования, для выполнения расчета использовалась программа разработанная авторами в MS Excel [1]. Основным элементом технологии когенерации, применяемой на мини-ТЭЦ, является также система утилизации тепловой энергии (СУТ). В работе выполнен анализ работы системы утилизации тепла газопоршневой электростанции на основе составления балансовых уравнений [2].

Энергетические установки, в том числе выполненные на базе поршневых машин, работают в условиях перерасхода топлива при работе в режиме холостого хода и на частичных нагрузках, близких к нему. Одним из способов снижения потребления энергии является использование аккумуляторов энергии (накопителей).

В работе выполнен анализ эффективности использования аккумуляторов различных типов, а также возможность снижения расходов тепловой и электрической энергии и выравнивания суточных графиков потребления за счет применения энергосберегающих мероприятий.

Библиографический список

1. **Разработка** расчетного модуля для технико-экономического обоснования выбора газопоршневого двигателя мини-ТЭЦ / С.В. Васильев, О.Н. Махов, А.В. Урвачев, Е.С. Ставровский // Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологии: (XXI Бенардосские чтения): материалы Международной научно-технической конференции, 2-4 июня 2021 г., г. Иваново. — Иваново: ФГБОУВО "Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина". — 2021. — Т.2. — С.374 – 376.

2. **А.В. Разуваев, Д.А. Костин** «Метод расчета системы утилизации теплоты стационарной энергетической установки» [Электронный ресурс] URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=374376>.

*А.Е. Короткова студ.; рук. М.В. Козлова к.т.н., доц.,
(ИГЭУ, Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ХОЛОДОСНАБЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВА ПО УТИЛИЗАЦИИ ОКИСЛИТЕЛЯ ТОПЛИВА

В работе приведены результаты исследования влияния вида рабочего агента на показатели работы системы холодоснабжения производства по утилизации окислителя топлива.

Процесс обезвреживания окислителя топлива требует поддержания постоянной температуры в реакторе. Для обеспечения изотермичности процессов, протекающих в реакторе, при переработке 1 тонны окислителя разработана система холодоснабжения производительностью 105 кВт.

В ходе исследования рассматривалась установка парокомпрессионной холодильной машины с регенеративным теплообменным аппаратом [1].

В процессе расчетного исследования автором были определены основные показатели холодильного цикла для различных рабочих агентов: R114, R123, R1270, R134a, R152a, R290, R507, R600, R600a, R718. Полученные данные представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Характерные показатели цикла работы холодильной установки

	Холодильный коэффициент	Расход рабочего агента, кг/с	Мощность, потребляемая компрессором кВт
R114	12,8	0,82	9,1
R123	6,9	0,63	16,8
R1270	10,4	0,39	11,3
R134a	14,4	0,61	8,13
R152a	14,0	0,37	7,8
R290	12,3	0,33	9,5
R507	14,1	0,64	8,3
R600	15,9	0,29	7,2
R600a	10,8	0,34	10,9
R718	9,9	0,04	11,8

По результатам анализа полученных показателей установлено, что более эффективным является использование фреона R600, характеризующегося наиболее высоким холодильным коэффициентом, меньшей мощностью, потребляемой компрессором.

Библиографический список

1. **Захаров, В.М.** Холодоснабжение / В. М. Захаров, Н. Н. Смирнов, С. А. Банникова, М. В. Козлова. – Иваново : Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина, 2023. – 276 с

*Н.А. Орлеанов, студ., рук. С.В. Васильев, к.т.н, доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОТЕЛЬНОЙ НА ОСНОВЕ ДВИГАТЕЛЯ СТИРЛИНГА

Приоритетной задачей Энергетической стратегии России на период до 2030 года является обеспечение эффективного использования природных энергетических ресурсов. В связи с этим вопросы повышения эффективности систем энергоснабжения путем использования вторичных энергетических ресурсов (ВЭР) являются актуальной задачей.

Автором работы был рассмотрен вариант повышения энергетической эффективности источника на примере водогрейной котельной г. Красногорск Московской области путем использования теплообменника в газоходе котла [1], а также присоединением когенерационной установки. Котельная оборудована водогрейными котлами КВГМ с единичной мощностью 4,65 кВт.

Одним из направлений повышения энергетической эффективности котельных является технология на основе цикла Стирлинга, использующая в качестве рабочего тела газообразное вещество [3]. Таким образом, следующим шагом, повышения эффективности работы котельной, является присоединение контура с двигателем Стирлинга.

Особенностью данного технического решения является то, что дымовые газы, удаляющиеся из котла, поступают в промежуточный теплообменник, где передают тепло рабочему телу промежуточного контура подогрева. После этого компрессор подает газообразное вещество в двигатель Стирлинга, который преобразует теплоту в механическую энергию, с помощью которой приводится в работу электрогенератор. Использование теплоты уходящих газов позволяет снизить затраты и повысить эффективность теплоэнергетической системы.

В заключительной части работы автором произведен расчет технико-экономических показателей предлагаемого решения, который показал его экономическую целесообразность.

Библиографический список

1. Пат. 2261335 (RU). Комбинированная система для одновременного производства тепловой и электрической энергии на основе водогрейной котельной установки / Н.Г. Кириллов, В.В. Ковалев, П.В. // Б. И. 2004. №27.
2. Технические решения по использованию утилизаторов в котельных малой мощности. Сектор научно-технической информации. – Москва, 1992. – 90 с.
3. Электронный ресурс: Ecology of technology economy: <http://www.ecoteco.ru>

*Д.Р. Цветков, студ.; рук. С.В. Васильев к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ФИЗКУЛЬТУРНО- ОЗДОРОВИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

В соответствии с ФЗ №261 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности» [1] следует осуществлять мероприятия, направленные на снижение потребляемых энергоресурсов. В связи с этим повышение энергетической эффективности общественных зданий является главной задачей.

В работе на основании анализа материалов энергетического обследования физкультурно-оздоровительного комплекса, а также выполненных балансовых расчетов был установлен ряд недостатков, связанных с завышенной величиной тепловых потерь ограждающих конструкций, наличием физического износа установленного теплообменного оборудования, неэффективной работой систем отопления и вентиляции.

Для их устранения автором разработан комплекс мероприятий и технических решений, включающих проведение оценки энергосберегающего эффекта от установки навесных вентилируемых фасадов на наружных стенах физкультурно-оздоровительного комплекса [2], от применения рекуперативного теплообменного аппарата в системе вентиляции помещения бассейна, где имеются внутренние выделения тепла и влаги, с целью подогрева поступающего в помещение наружного воздуха, а также замены имеющихся теплообменных аппаратов на современные. В работе выполнен анализ существующих способов интенсификации теплообмена и произведен расчет теплообменных аппаратов кожухотрубного и пластинчатого типа.

В заключительной части работы выполнен расчет технико-экономических показателей и сравнительный анализ существующего и предложенного вариантов энергоснабжения физкультурно-оздоровительного комплекса г. Наволоки.

Библиографический список

1. Федеральный закон от 23 ноября 2009 г. N 261-ФЗ "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности". [Электронный ресурс]-URL:<https://base.garant.ru/12171109/>.
2. Шигапова, К.Р., Абдуханова Н.Г. Инновационные системы энергосбережения, применяемы в строительстве и эксплуатации физкультурно-оздоровительных комплексов // Евразийский Союз Учёных, 2021, № 4 (2/83), 17-20.

*Е.Ю. Кваснюк, студ.; В.В. Бологова, к.т.н., доц.
(ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», г. Москва)*

ЦИФРОВИЗАЦИЯ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ: ЭНЕРГОРЕСУРСΟΣБЕРЕЖЕНИЕ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ

Развитие цифровых технологий и внедрение умных систем управления позволяют контролировать параметры теплоснабжения в режиме реального времени [1]. Это помогает более точно учесть объемы потребления, снизить потери тепла и оптимизировать работу системы, что приводит к повышению качества и надежности теплоснабжения, а также экономии энергоресурсов.

Одной из конечной цели энергоресурсосберегающей политики является снижение издержек производства и себестоимости услуг [2]. Эта цель может быть достигнута благодаря внедрению цифровых технологий, открывающие широкие возможности для улучшения управления и контроля за системой теплоснабжения. Целью работы является изучение влияния цифровизации на энергоресурсосбережение и оценка эффективности от внедряемых технологий.

Цифровизация может оказывать существенное влияние на себестоимость производства и ее структуру. Авторами была разработана многофакторная модель, которая позволяет провести оценку эффективности от внедренных технологий. В работе учтено, что вложенные инвестиции окупаются за счет значительного изменения ряда факторов таких, как экономических, социальных, технологических, энергосберегающих и экологических. В результате было получено сокращение числа повреждений в системе на 10% и тепловых потерь на 30%, что позволяет сэкономить от 3% до 15% сжигаемого топлива.

Таким образом, цифровизация в теплоснабжении имеет большой потенциал улучшения эффективности системы. Для принятия решения об использовании тех или иных технологий важно проводить комплексный подход к этому вопросу, учитывая все факторы влияния на состояние теплоснабжения. Представленная модель полезна, как и для самих теплоснабжающих организаций, так и для инвесторов.

Библиографический список

1. Артюшевская Е.Ю. Внедрение цифровых технологий в работу тепловых сетей // Вестник Амурского государственного университета. Серия: Естественные и экономические науки. - 2023. - №101. - С. 96-100.
2. ГОСТ Р 52106-2003. Ресурсосбережение. Общие положения. – М., 2004. – 17 с.

*В.М. Лапшова, студ.; рук. М.В. Козлова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ПУТЕМ УТИЛИЗАЦИИ ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ

Сегодня вопросы энергоресурсосбережения при эксплуатации энергетических комплексов морской техники являются актуальными [1]. Повышение эффективности судовых энергетических установок возможно за счет использования тепловых вторичных энергетических ресурсов (ВЭР) судна.

Одним из направлений использования ВЭР в данном случае является применение газоконтактных опреснительных установок [2], в которых в качестве греющей среды используются выхлопные газы судов для производства обессоленной воды. Совмещение процесса опреснения морской воды с использованием выхлопных газов способствует снижению теплового загрязнения за счет охлаждения выхлопных газов и сокращению углеродного следа в результате очистки выхлопных газов от оксидов углерода, серы и сажи.

Обессоленная вода, полученная в процессе опреснения, может использоваться на судне следующим образом:

- для технических целей на судне, таких как заполнение резервуаров системы охлаждения двигателей или оборудования, а также для заправки балластных баков;
- для санитарных целей на судне, таких как уборка помещений, кухонных принадлежностей и личной гигиены;
- в промышленных процессах на судне, таких как производство кормов для рыбоводства или для промывки и очистки оборудования.

Авторами выполнен расчет цикла работы газоконтактной опреснительной установки, в результате которого было установлено, что в случае утилизации уходящих газов судовых двигателей можно полезно использовать 517,4 кДж с каждого килограмма удаляемых выхлопных газов, при этом обеспечить их очистку от оксидов углерода и серы.

Библиографический список

1. **Энергосбережение** в процессах опреснения морской воды / А. В. Банников, С. А. Банникова, М. В. Козлова, М. И. Куколев. – Иваново : Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина, 2023. – 124 с.
2. **Лапшова В.М., Козлова М.В.** Исследование способа утилизации и очистки дымовых газов // XV Международный молодежный форум «Образование. Наука. Производство» [Электронный ресурс]: Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2023. – Ч. 20. – С. 74–78.

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

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛООБМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В качестве основного показателя эффективности теплообменного оборудования принято рассматривать коэффициент теплопередачи, однако использование только этого параметра не позволяет выполнить комплексную оценку эффективности применения теплообменника.

На сегодняшний день известно более 10 критериев эффективности теплообменного оборудования [1]: коэффициенты компактности, теплопередачи, использования массы и объема, удержания теплоты, эксергетический КПД, показатель энергетической эффективности, критерий Кирпичева, критерий Глазера (коэффициент мощности), приведенный коэффициент мощности, энергетический критерий, тепловая эффективность.

Данные критерии позволяют учесть не только интенсивность теплообменных процессов, но и массогабаритные параметры, гидравлические характеристики аппарата, а также теплообмен с окружающей средой.

Целью работы является создание программы, позволяющей выполнить оценку эффективности теплообменного оборудования, что, в свою очередь, будет способствовать определению оптимальных режимных параметров работы имеющейся системы и предварительной качественной оценке предполагаемых к установке новые аппаратов.

В числе используемых в программном средстве показателей эффективности также рассматривается критерий Кирпичева, позволяющий учесть затраты энергии на процесс перемещения теплоносителя внутри теплообменного аппарата:

$$E_k = \frac{Q}{A_n},$$

где Q – тепловой поток, переданный от греющего теплоносителя, Вт;

A_n – мощность, затрачиваемая на прокачку теплоносителей, Вт.

На основании полученных в результате работы программы данных можно будет сделать вывод о целесообразности применения данного теплообменного аппарата при текущих режимных параметрах системы и эффективности его конструкции.

Библиографический список

1. **Бажан, П.И.** Справочник по теплообменным аппаратам/ П.И. Бажан, Г.Е. Каневец, В.М. Селиверстов. – М.: Машиностроение, 1989. – 259 с.

*Н.Л. Виноградов, студ.; рук. С.А. Банникова, к.т.н., доцент
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ УВЛАЖНЕНИЯ ТЕПЛОЙ ИЗОЛЯЦИИ НА УДЕЛЬНЫЕ ТЕПЛОВЫЕ ПОТЕРИ В ТЕПЛОВЫХ СЕТЯХ

Одной из актуальных проблем при эксплуатации тепловых сетей является частичное или полное затопление тепловых сетей грунтовыми водами или теплоносителем из тепловых сетей, что неизбежно ведет к изменению теплофизических характеристик изоляции и, следовательно, к изменению удельных линейных тепловых потерь в сетях систем теплоснабжения. Так, в соответствии с [1] коэффициент теплопроводности изоляции из пенополиуретана увеличивается в 1,4 раза при переходе из сухого во влажный режим эксплуатации, а при затоплении канала в 3 раза. В работе был проведен анализ изменения удельных линейных тепловых потерь для трубопровода в пенополиуретановой изоляции [2] наружным диаметром 219 мм для различных условий эксплуатации (сухой, влажный и полное затопление) при расчетной температуре наружного воздуха и грунта за отопительный период для г. Иваново [3, 4]. Полученные результаты представлены на рисунке 1.

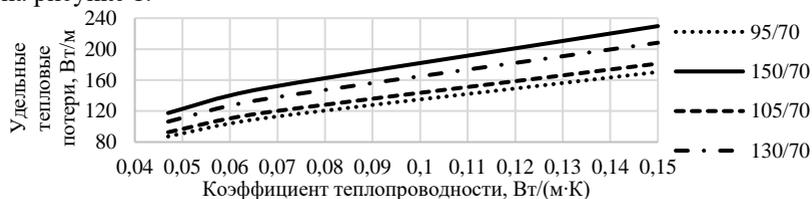


Рисунок 1 – Удельные тепловые потери в сетях систем теплоснабжения с различными температурными графиками работы

Таким образом, в соответствии с полученными результатами удельные тепловые потери через изоляцию во влажном режиме эксплуатации могут достигать 127%, при полном затоплении – 196%.

Библиографический список

1. Немова Т.Н., Лежнева Ю.А., Цветков Н.А., Алексеева Е.Г. Влияние изменения теплопроводности теплоизоляционных материалов на тепловые потери магистральных трубопроводов – Томск: ГОУВПО. ТГАСУ. 2016.
2. ГОСТ 30732-2020 Трубы и фасонные изделия стальные с тепловой изоляцией из пенополиуретана с защитной оболочкой.
3. СП 131.13330.2020 Строительная климатология. – М.: Энергия, 2020.
4. Волков М. М., Михеев А. Л., Конев К. А. Справочник работника газовой промышленности. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Недра, 1989. – 286 с.

*М.Д. Петровец, студ., рук. А.В. Банников, к.т.н, доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ НА АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ

Важной задачей эксплуатации атомных электростанций (АЭС) является организация оборотного водоснабжения для охлаждения воды в конденсаторе.

Одним из методов охлаждения воды на АЭС является испарительное охлаждение в градирне. Однако, для эффективной реализации этого метода необходимо поддерживать оптимальные параметры течения воды в трубопроводах системы охлаждения.

Одной из проблем, возникающих при организации оборотного водоснабжения на АЭС, является необходимость использования трубопроводов большого диаметра для обеспечения допустимых скоростей течения теплоносителя.

Для решения этой проблемы необходимо провести исследование гидравлического режима организации оборотного водоснабжения на атомных электростанциях с целью повышения эффективности процесса охлаждения воды в конденсаторе и разработки практических рекомендаций по эксплуатации системы охлаждения.

Таблица 1 – Результаты гидравлического расчёта

Диаметр трубопровода	Количество трубопроводов	Расход на один трубопровод, м ³ /ч	Значение скорости (задаваемая/уточнённая)	Критерий Рейнольдса	Потери напора, м
2440	10	4,166	1 (0,912)	3099005	0,224
2440	5	8,333	2 (1,825)	6198010	0,895
2440	4	10,417	2,5 (2,3)	7747512	1,398
1420	29	1,440	1 (0,934)	1841083	0,434
1420	14	2,976	2 (1,93)	3813673	1,859

Как следует из Табл.1 рациональным будет являться режим работы трубопроводов системы оборотного водоснабжения при скорости движения теплоносителя 2 м/с, что соответствует минимальным гидравлическим потерям при допустимых капитальных затратах на создание системы транспорта воды.

Библиографический список

1. Альтшуль, А.Д. Примеры расчётов по гидравлике / А.Д. Альтшуль. – Иваново : Москва стройиздат, 1977. – 128 с

*И.А. Карташов, студ., рук. В.В. Сенников, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДСКОГО ПОСЕЛЕНИЯ

Назначение системы теплоснабжения заключается в бесперебойном обеспечении жилищно-коммунального сектора необходимым количеством теплоносителя надлежащего качества на нужды отопления, горячего водоснабжения и вентиляции, а также в снабжении промышленных предприятий теплом на технологические нужды.

Целью данной работы являлась оценка нынешнего состояния системы теплоснабжения микрорайона «Красные сосенки» г. Тейково, выявление недостатков и поиска путей их устранения.

Изначально теплоснабжение осуществлялось по четырехтрубной системе, позже котельная перешла на двухтрубную тепловую сеть. Система отопления осуществляется по схеме с элеватором, с открытым водоразбором. Тепловые сети работают по температурному графику 130/70°C, с изломом 65°C. На данной котельной используется график качественного регулирования отопительной нагрузки от температуры наружного воздуха.

После обследования системы теплоснабжения были выявлены следующие недостатки:

1. коэффициент смешения занижен по сравнению с расчетными значениями, в среднем равняется 0,65, вследствие чего наблюдается завышенный расход сетевой воды;
2. практически полное отсутствие изоляции при наружной прокладке трубопроводов, температура воды в подающих трубопроводах на входе в ИТП зданий значительно занижена по сравнению с расчетной, что оказывает существенное влияние на качество теплоснабжения потребителей;
3. трубы имеют большое гидравлическое сопротивление за счёт загрязнения, из-за чего низкий гидравлический напор в тепловых пунктах зданий, находящихся в «хвосте» схемы теплоснабжения, приводит к необходимости установки в системе отопления зданий циркуляционных насосов, что значительно увеличивает затраты на отопление зданий.

Для устранения вышеперечисленных недостатков был проведен наладочный и поверочный расчёты в программно-расчетном комплексе Zulu-Thermo.

*Е.А. Исаева, студ.; рук. Л.В. Плотникова, к.т.н., доц.
(КГЭУ, г. Казань)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОНДЕНСАТА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ВТОРИЧНОГО ПАРА В ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

На сегодняшний день актуальным вопросом для химических предприятий является повышения энергетической эффективности технологических процессов. Такие предприятия располагают значительным потенциалом энергосбережения в виде теплоты конденсата. Конденсат используется либо для подогрева низкотемпературных технологических потоков, либо для нужд отопления, горячего водоснабжения. При отсутствии таких мероприятий он сливается в канализацию или водоем, так как на ТЭС не принимают конденсат в связи с его загрязненностью.

Предлагаются мероприятия для поднятия потенциала конденсата.

Во-первых, это получение пара вторичного вскипания для возврата в производство. Потребность в получении такого имеется у предприятий, имеющих значительное количество паропотребляющего оборудования. К таким предприятиям относится шинное производство, в котором конденсат образуется в форматорах-вулканизаторах. Так, для крупного шинного производства экономия тепловой энергии за счет производства пара вторичного вскипания составила около 80 тыс. Гкал/год [1]. Предлагается использовать паросепараторы-расширители, в которых образуется пар вторичного вскипания, но меньшего давления, чем давление пара – источника конденсата. Поэтому, во-вторых, предлагается использовать пароструйный компрессор для поднятия потенциала давления пара до параметров, недостижимых ранее с использованием паросепаратора, что для шинного производства обеспечило суммарную экономию в 165 тыс. Гкал/год [1]. Кроме того, часто выход вторичных энергетических ресурсов носит постоянный характер, как и некоторые процессы теплопотребления, например, прогрев оборудования. Поэтому, в-третьих, предлагается дополнить систему использования конденсата теплоаккумулирующей установкой [2].

Работа поддержана государственным заданием (№ 075-03-2024-226).

Библиографический список

1 **Ваньков Ю.В.**, Плотникова Л.В., Зиганшин Ш.Г., Загреддинов А.Р. Рекуперация и аккумулирование вторичных энергетических ресурсов на предприятиях нефтеперерабатывающего комплекса. СПб: Научное издание, 2024. – 142 с.

2 **Жмакин, Л.И.**, Шарпар, Н.М., Сорокин, А.Н., Власов, И.Н., Васильева, А.Д. Современные теплоаккумулирующие системы горячего водоснабжения // Промышленные процессы и технологии. 2023. Т. 3, № 3(10). С. 76 – 85.

СЕКЦИЯ 7

**АВТОМАТИЗАЦИЯ
ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ**

Председатель

д.т.н., профессор **Тютиков В.В.**

Секретарь

к.т.н., доцент **Ставров С.Г.**

К.А. Бушув, студ.; рук. В.М. Пушков, ст. преп.
(ИГЭУ, г. Иваново)

РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНОГО ТРЕНАЖЕРА ДЛЯ НАЛАДКИ ПРОГРАММНОГО ИМПУЛЬСНОГО РЕГУЛЯТРА

Импульсные регуляторы предназначены для преобразования сигнала рассогласования в выходные импульсные сигналы, характеристики которых зависят от параметров настройки регулятора, величины и знака входного сигнала.

Разработанный тренажер предназначен для практической проверки качества регулирования с теоритически рассчитанными параметрами настройки регулятора и, при необходимости, их корректировки с последующей проверкой.

Тренажер состоит из персонального компьютера с установленной системой UnimodPro и SCADA-системой TRACE MODE 6.

Система UnimodPro предназначена для разработки и отладки программ для контроллеров фирмы TREI. Загрузка и отладка программ может осуществляться как непосредственно в контроллере, так и в эмуляторе процессора «Мастер ПК».

В SCADA-системе TRACE MODE 6 формируется «Операторская станция, рис.1, «Модель исполнительного механизма типа МЭО» и «Модель объекта управления».

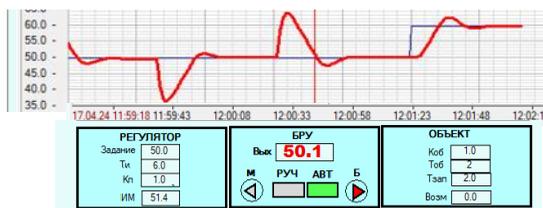


Рисунок 1 – Интерфейс операторской станции

Порядок работы следующий. В системе UnimodPro оператор загружает проект «RegImp24» в «Мастер ПК». В системе TRACE MODE загружает проект «Регулятор_импульсный 24» и переводит его в режим исполнения. В соответствующих окнах вводятся параметры настройки регулятора и объекта. В режиме «АВТ» оцениваются переходные процессы при изменении значения задания, параметров настройки объекта и подаче возмущающего воздействия «Возм». Изменяя, при необходимости, параметры настройки регулятора, добиваются необходимого качества регулирования.

*О.Ю. Григорьев, студ.; рук. С.О. Кожевников, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА КОНТРОЛЛЕРА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ КАЛОРИФЕРАМИ В ТЕПЛИЦЕ

В данном проекте разрабатывается система отопления в промышленной теплице под руководством НТЦ ARGO [1]. Теплица работает круглый год и отапливается теплыми полами. Поскольку теплые полы обладают большой инерционностью, для быстрого разогрева воздушной массы внутри теплицы разрабатывается система управления калориферами. Иерархическая структура системы управления отоплением в теплице представлена на рис. 1.



Рисунок 1 – Структура системы управления отоплением в теплице

Контроллер управления калориферами (КУК) работает следующим образом. Контроллер опрашивает датчики температуры посредством специального контроллера (КДТ) по протоколу ПКУ (разработан ARGO), шина RS-485. По этой же шине осуществляется управление приводами вентиляторов в калориферах (КСВ, контроллер скорости вращения) по протоколу Modbus. Также данный контроллер является slave-устройством по отношению к регистратору (КВУ) и передает значения температуры с датчиков по запросу.

При установке одного из КСВ в ручной режим КУК приостанавливает его управление пока при очередном опросе не установит, что КСВ снова переключен в автоматический режим.

А.А. Грызунов, студ.
рук. О. В. Блинов, к.т.н, доц.; В. Н. Федосеев, д.т.н.
(ИГЭУ, г. Иваново)

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА И ПРОГРАММНОГО КОДА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ТЕПЛОВЫМ НАСОСОМ

Одним из способов решения задачи повышения энергетической эффективности в системах отопления считается применение воздушного теплового насоса. Данное устройство использует воздух в качестве источника тепла. Работа воздушного теплового насоса сопровождается термодинамическими изменениями рабочего вещества-хладагента, его переходами из жидкого состояния в газообразное для поглощения теплоты и из газообразного в жидкое для переноса энергии тепла. Хладагент циркулирует по всему контуру воздушного теплового насоса, вредные выбросы крайне малы. Воздушный тепловой насос создает тепловую энергию, которая намного превышает потребляемую им электроэнергию для работы. Данная теплохолодильная установка считается энергоэффективной, экономичной и экологичной.

Автоматизированное управление воздушным тепловым насосом с помощью контроллера приводит к рациональному расходу ресурсов, которые потребляет воздушный тепловой насос. Управление температурой в помещении построено на основе двухпозиционного закона управления (рис.1), реализованного в виде программы в программируемом логическом контроллере.

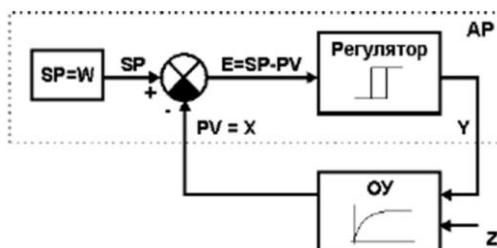


Рисунок 1 – Структурная схема двухпозиционной системы регулирования: AP – двухпозиционный регулятор; ОУ - объект управления; SP – заданное значение; E – рассогласование регулятора; PV=X – регулируемая величина; Y – управляющее воздействие; Z – возмущающее воздействие.

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

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОДЯНОГО ТРАКТА ПОВЕРХНОСТНОГО ПОДОГРЕВАТЕЛЯ

Водяной тракт подогревателя удобно разделить на два нагреваемых участка с четко фиксированными границами – водяной и паровой. На первом «водяном» участке осуществляется нагрев теплоносителя за счет теплоты конденсата греющего пара, на втором за счет тепла греющего пара. При этом с достаточной для практических целей точностью можно считать плотность воды на каждом участке неизменной. Дифференциальное уравнение материального баланса участка в этом случае вырождается в алгебраическое и отпадает необходимость в рассмотрении уравнения количества движения для потока жидкости.

Уравнение теплового баланса теплоносителя на участке примет вид:

$$V_{\text{тр}j} \rho_{\text{в}j} c_{\text{в}j} d(\Theta_{\text{в}j})_c / dt = G_{\text{пв}j} c_{\text{в}j} \Theta_{\text{в}xj} - G_{\text{пв}j} c_{\text{в}j} \Theta_{\text{вы}xj} + Q_j$$

В данном уравнении необходимо уточнить способ определения $(\Theta_{\text{в}j})_c$. Использование обычной методики осреднения по соотношению $(\Theta_{\text{в}j})_c = (\Theta_{\text{в}xj} + \Theta_{\text{вы}xj}) / 2$ некорректно для вычисления выходной величины параметра участка, так как противоречит методу сосредоточенных параметров.

В рамках принятых допущений с учетом замечаний о вырождении дифференциальных уравнений, описывающих материальный баланс теплоносителя по тракту и тепловой баланс на водяном участке, после преобразования к относительным отклонениям переменных получим обобщенное уравнение теплового баланса водяного тракта подогревателя:

$$T_{\text{тр}} d \varphi_{\text{вы}x} / dt = \varphi_{\text{в}x} - a_1 \varphi_{\text{вы}x} - a_2 g_{\text{пв}} + q' + q,$$

где $T_{\text{тр}} = (V_{\text{тр}} \rho_{\text{в}} c_{\text{в}} \Theta_{\text{вы}x}) / (G_{\text{пв}} c_{\text{в}} \Theta_{\text{в}x})$; $a_1 = \Delta \Theta_{\text{в}} / \Theta_{\text{в}x}$; $a_2 = \Theta_{\text{вы}x} / \Theta_{\text{в}x}$; $\varphi_{\text{в}x} = \Delta \Theta_{\text{в}x} / \Theta_{\text{в}x}$; $\varphi_{\text{вы}x} = \Delta \Theta_{\text{вы}x} / \Theta_{\text{вы}x}$; $q = \Delta Q / (G_{\text{пв}} c_{\text{в}} \Theta_{\text{в}x})$; $q' = \Delta Q' / (G_{\text{пв}} c_{\text{в}} \Theta_{\text{в}x})$.

Библиографический список

1. Плетников, С.Б. Моделирование теплоэнергетического оборудования в задачах автоматизации: учебное пособие / С.Б. Плетников, А. Е. Кочетков; ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2012.

*К.А. Лётин, студ.; рук. А.М. Дёмин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ АСУ ТП ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Автоматизированная система управления технологическими процессами электрооборудования – система, включающая в себя программно-технический комплекс (ПТК), решающий различные задачи обработки, анализа и передачи технологической информации и автоматизированного управления оборудованием трансформаторной подстанции. С учетом сложности разных функций управления создание системы управления подстанцией осуществляется поэтапно. Завершенная в полном объеме АСУ ТП подстанцией называется интегрированной системой управления подстанции. В составе АСУ электрических (блочных, трансформаторных) подстанций предусматриваются следующие функции: автоматическое управление, оперативное управление и релейная защита. Цифровая техника, а также наличие соответствующих датчиков и контроллеров на подстанции позволяет:

- повысить надежность всех функций управления благодаря автоматическому диагностированию системы;
- сократить избыточность цепей и информации, необходимой для обеспечения определенного уровня надежности;
- снизить суммарные затраты на комплекс технических средств управления оборудованием;
- предоставить возможность применения технических средств автоматизации (датчиков высокой точности, волоконно-оптических систем).

К устройствам автоматики предъявляются наиболее высокие требования по надежности: отказы микропроцессорных систем при выполнении своих функций должны быть практически исключены. В нормальном режиме работы функции автоматического управления включают в себя регулирование напряжения, включение и отключение конденсаторов, блокировка разъединителей, автоматизация считывания показаний счётчиков. В аварийном режиме – релейная защита элементов подстанции и ЛЭП, отключение и восстановление нагрузки, поочередное замыкание фаз выключателя при коротком замыкании.

Библиографический список

1. **Федоров Ю.Н.** Справочник инженера по АСУ ТП. Проектирование и разработка. – Инфра-Инженерия, 2022.

*Д.М.Морозов, В.А.Перевезенцева, студ.; рук. Е.К. Торопова,
ст. преп. (ИГЭУ, г. Иваново)*

НАХОЖДЕНИЕ КОРНЕЙ ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ МЕТОДОМ БЕРСТОУ

Передаточная функция системы автоматического регулирования является важнейшей ее характеристикой. Передаточную функцию $W(p)$ можно записать следующим образом:

$$W(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} = \frac{L[y(t)]}{L[x(t)]},$$

где $X(p)$ и $Y(p)$ – изображения по Лапласу соответственно входной и выходной величин

$$X(p) = \int_0^{\infty} x(t)e^{-pt}dt, \quad Y(p) = \int_0^{\infty} y(t)e^{-pt}dt.$$

Так как $W(p)$ является функцией комплексного переменного p , то можно перейти к её представлению в виде отношения двух полиномов:

$$W(p) = \frac{b_0p^m + b_1p^{m-1} + \dots + b_{m-1}p + b_m}{a_0p^n + a_1p^{n-1} + \dots + a_{n-1}p + a_n} = \frac{B_n(p)}{A_n(p)}.$$

Для аналитического получения переходного процесса в системе сначала нужно найти корни знаменателя (характеристического уравнения САР) $A_n(p)$. Одним из методов нахождения любых (действительных или комплексно-сопряженных) корней полинома произвольной степени является численный метод Берстоу.

Сущность метода заключается в следующем. Из исходного полинома $A_n(p)$ выделяется приведенный квадратный трехчлен. Если корни квадратного трехчлена p^2+gr+q являются корнями исходного полинома $A_n(p)$, то $A_n(p)$ должно делиться на p^2+gr+q без остатка. Для нахождения корней необходимо выбрать начальное приближение для коэффициентов трехчлена g и q . Затем значения коэффициентов g и q уточняются с помощью коррекции. После нахождения пары корней

$$p_{1,2} = \frac{-r \pm \sqrt{r^2 - 4q}}{2}$$

трехчлен исключается из $A_n(p)$, и процедура повто-

ряется для полинома степени $(n-2)$.

Если порядок полинома $A_{n-2}(p)$ меньше или равен двум, то вычисление корней заканчивается, а оставшиеся корень или два корня находят из решения линейного или квадратного уравнения. В результате получим все корни p_i полинома $A_n(p)$, $i=1, \dots, n$.

*В.В. Сизов., студ., К.А. Солозобов, студ.;
рук. А.Е. Кочетков, ст. преп.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ИМПУЛЬСНОГО ПИД-РЕГУЛЯТОРА В СРЕДЕ SMLOGICS

Импульсный ПИД-регулятор, используемый в системах автоматизации, предназначен для преобразования входного сигнала в последовательность импульсов, характеристики которого зависят от параметров настройки регулятора. С помощью данных импульсов появляется возможность управлять исполнительными механизмами в системах автоматического регулирования технологических процессов.

Модель импульсного ПИД-регулятора реализуется импульсным пропорционально-дифференциально-дважды-дифференцирующим регулятором (ПДД² – регулятор) с подключённым к его выходу широтно-импульсным модулятором и исполнительным устройством постоянной скорости, рис. 1.



Рисунок 1 – Структурная схема импульсного ПИД-регулятора

С учётом функции преобразования ШИМ и передаточной функции исполнительного устройства, передаточная функция импульсного регулятора будет иметь вид:

$$W(p) = K_n \cdot \left(1 + \frac{1}{T_i \cdot p} + \frac{K_d \cdot T_i}{1 + K_d \cdot T_i \cdot p} \right)$$

Программа, моделирующая импульсный ПИД-регулятор, разработана на языке FBD в среде SMLogics и предназначена для записи в контроллер Segnetics.

Данная программа позволяет изучить характеристики импульсного регулятора и определить зависимость выходного сигнала (управляющего воздействия) от параметров настройки импульсного ПИД-регулятора.

Библиографический список

1. **Таланов В.Д.** Аппаратные и программные технические средства автоматизации. Учебное пособие. – Иваново, 2014.
2. **Таланов, В.Д.** Система программирования контроллеров Segnetics. Лабораторный практикум / В.Д.Таланов, В.О. Веремьев, В.М.Пушков. – Иваново, 2015.

*В.В. Сизов., студ.; К.А. Солозобов, студ.
рук. А.Е. Кочетков, ст. преп.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ РАСЧЁТА ПАРАМЕТРОВ ИМПУЛЬСНОГО СИГНАЛА В СРЕДЕ SMLOGICS

Управление исполнительными механизмами в системах автоматического регулирования технологических процессов осуществляется при помощи импульсного регулятора, который преобразует сигнал рассогласования в управляющий сигнал в соответствии с заложенным в нём законом регулирования.

Для исследования работы регулятора необходимо иметь возможность определить параметры импульсного управляющего сигнала: время импульса, время паузы и скважность.

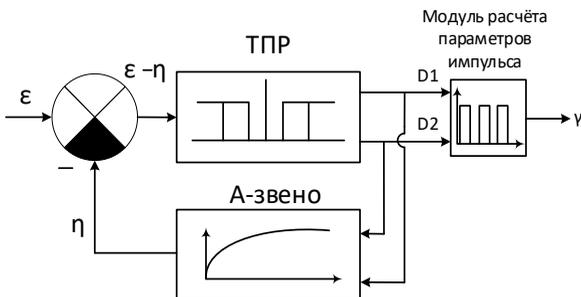


Рисунок 1 – Структурная схема модуля расчёта параметров импульса

Программа, реализующая модуль расчёта параметров импульса, была разработана на языке FBD в среде SMLogics (инструмент разработки прикладных программ для контроллеров Segnetics).

Разработанная программа предназначена для записи в контроллер Segnetics с целью изучения характеристик импульсного сигнала: времени импульса, время паузы и скважности.

Проверка работоспособности разработанного модуля осуществлялась на модели широко-импульсного модулятора (рис.1).

Библиографический список

1. **Таланов В.Д.** Аппаратные и программные технические средства автоматизации. Учебное пособие. – Иваново, 2014.
2. **Таланов, В.Д.** Система программирования контроллеров Segnetics. Лабораторный практикум / В.Д.Таланов, В.О. Веремьев, В.М.Пушков. – Иваново, 2015.

*Н.Ю. Соловьев, студ.; рук. С.В. Еришов, к.т.н., доц.
(ИВГПУ, ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА В SIMULINK

В настоящее время использование компьютерных технологий позволяет расширить перечень вопросов в области изучения электроприводов и проводить достоверные эксперименты с использованием виртуальных электрических машин.

Целью настоящей работы является разработка имитационной модели электропривода на основе электродвигателя постоянного тока для исследования переходных процессов и механических характеристик электромеханических систем на основе двигателей постоянного тока.

Для достижения поставленной цели был использован пакет имитационного моделирования SIMULINK программного комплекса Matlab. В качестве основы виртуальной модели электродвигателя постоянного тока был выбран элемент DCMachine, находящийся в библиотеке SimPowerSystems в разделе Machines.

Выходы F+ и F- виртуальной модели электродвигателя DCMachine служат для подключения напряжения возбуждения для создания магнитного потока в машине. Выходы A+ и A- используются для подключения обмотки якоря на силовой источник питания. Активная нагрузка на двигатель вводится через виртуальный вход TL. Выходными параметрами двигателя являются частота вращения ω , ток обмотки якоря I_a , ток возбуждения I_f и электромагнитный момент T_e , которые формируются на мультиплексорной шине m.

Разработанная модель электропривода на основе электродвигателя постоянного тока представлена на рис. 1. Исходные параметры двигателя вводятся через диалоговое окно (графический интерфейс).

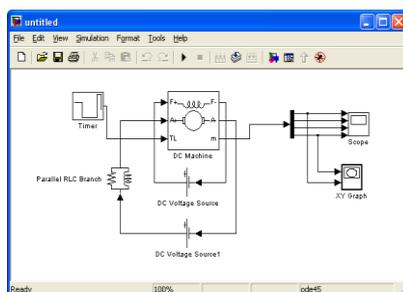


Рисунок 1 – Модель электродвигателя постоянного тока

*А.А. Стрелкин, студ.; рук. С.Г. Ставров, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАБОТА С HART-ПРОТОКОЛОМ: ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО ЭМУЛЯТОРА И ПОДКЛЮЧЕНИЕ ТЕРМОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ К SCADA TRACE MODE

HART-протокол является открытым стандартом на метод сетевого обмена, который включает в себя протокол взаимодействия устройств и требования к аппаратуре канала связи.

В стандартном режиме основная информация с ведомого полевого устройства (измеряемая величина) передается по HART-протоколу ведущему устройству в аналоговом виде по токовой петле 4–20 мА, а дополнительная информация передается при помощи цифровых кодов, которые накладываются на основной сигнал.

HartTools – приложение, предназначенное для анализа и тестирования протокола HART в реальном времени. HartTools выполняет на компьютере программную эмуляцию ведущего и ведомого устройств, взаимодействующих через виртуальные последовательные порты.

С помощью эмулятора HartTools в виде запросов ведущего и ответов ведомого устройства реализованы универсальные команды HART-протокола на чтение уникального идентификатора датчика, чтение первичной переменной и др.

С использованием HART-модема и программы «HARTconfig» осуществлено подключение по HART-протоколу термопреобразователя ТПУ 0304/М2-Н к персональному компьютеру (рис. 1); выполнена настройка SCADA TRACE MODE на обмен данными с ТПУ 0304/М2-Н.



Рисунок 1 – Подключение ТПУ 0304/М2-Н к персональному компьютеру

Результаты работы могут быть использованы в учебном процессе кафедры АТП при изучении промышленных сетей и систем связи.

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

РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНОГО ТРЕНАЖЕРА «АСР УРОВНЯ КОНДЕНСАТА В ПОДОГРЕВАТЕЛЕ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ»

Для оценки влияния свойств технических устройств на результаты настройки системы, как правило, используются отладочные стенды или полигоны. Однако более эффективным решением для настройки небольшого количества режимных регуляторов является разработка программных тренажеров.

Основными отличительными особенностями тренажера, определяющими его специфику, являются:

- реализация в среде графического программирования LabView 8.5;
- получение аппроксимационной модели по экспериментальным разгонным характеристикам;
- настройка моделей датчиков, РО и ИМ на конкретный прототип;
- протоколирование результатов настройки, с автоматической оценкой качества работы настроенной АСР.

Структура тренажера состоит из четырех основных модулей:

- «Настройка свойств объекта»;
- «Аппроксимация объекта»;
- «Настройка АСР»;
- «Протокол».

Модуль настройки свойств объекта позволяет задать модель подогревателя в виде передаточной функции.

Модуль «Аппроксимация объекта» позволяет выполнять ввод исходных данных в виде переходных (разгонных) характеристик объекта.

Основным программным ядром тренажера является модуль «Наладка АСР», который реализует модель одномерной АСР подогревателя высокого давления и позволяет регулировать уровень воды в подогревателе.

Библиографический список

1. Таланов В.Д., Плетников С.Б., Демин А.М. Модульное конструирование при разработке комплексов по наладке систем автоматического регулирования // Вестник ИГЭУ. – Иваново, 2007. – №4. – С. 72 –75.
2. **Технология** конструирования программно-аппаратных комплексов для наладки систем автоматического регулирования теплоэнергетического оборудования электростанций / Плетников С.Б. // Свидетельство об отраслевой регистрации разработки №8442. – Госкоорцентр, ОФАП, 5.06.2007.

*К.А. Шарыгин, студ.; рук. С.Г. Ставров, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ВИРТУАЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ АСУТП

Одним из препятствий на пути к изучению промышленной кибербезопасности является финансовый барьер, вызванный затратами на приобретение специализированного оборудования и программного обеспечения. Для преодоления этого барьера, особенно на начальных этапах обучения, предпочтительно и эффективно использовать технологию виртуализации, которая позволяет смоделировать систему автоматизации в качестве виртуальной лаборатории.

На базе Oracle VM VirtualBox была развернута виртуальная лаборатория для тестирования безопасности АСУ ТП. Она использует шесть виртуальных машин (ВМ), размещенных в двух сегментах виртуальной промышленной сети:

- ВМ1 симулирует химический технологический процесс;
- ВМ2 служит виртуальным ПЛК для управления процессом;
- ВМ3 используется для программирования ПЛК;
- ВМ4 выполняет роль сетевого маршрутизатора;
- ВМ5 используется в качестве SCADA;
- ВМ6 служит атакующей машиной для тестирования безопасности системы.

ВМ1, ВМ2 и ВМ3 находятся во внутреннем сегменте, а ВМ5 и ВМ6 – во внешнем сегменте виртуальной сети. ВМ4 осуществляет передачу данных в сети.

На виртуальной лаборатории был проведен пентест (тест на проникновение), имитирующий кибератаку на промышленную сеть с коммуникационным протоколом Modbus TCP.

Атака состояла из трех основных фаз:

- подготовительная фаза, включавшая поиск уязвимостей для получения несанкционированного доступа к ПЛК;
- фаза реализации атаки через внедрение вредоносного кода в ПЛК для манипуляции технологическим процессом;
- фаза нанесения ущерба путем нарушения реализации технологического процесса и порчи оборудования.

Пентест позволил провести оценку безопасности и сформировать рекомендации по устранению уязвимостей системы, включая настройку межсетевого экрана на маршрутизаторе и авторизацию доступа на рабочих станциях сети.

СЕКЦИЯ 8

ПАРОВЫЕ И ГАЗОВЫЕ ТУРБИНЫ

Председатель

к.т.н., доцент **Виноградов А.Л.**

Секретарь

к.т.н., доцент **Григорьев Е.Ю.**

*П.С. Басова, В.А. Бодина студенты;
рук. Ю.В. Люлин, к.ф.-м.н., доц. («МЭИ», Москва)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ СОПРЯЖЕННОГО ТЕПЛООБМЕНА В СИСТЕМЕ ОХЛАЖДЕНИЯ ЛОПАТКИ ГТУ С ИНТЕНСИФИКАТОРАМИ РАЗЛИЧНОЙ КОНФИГУРАЦИИ

Высокие параметры рабочего тела перед газовой турбиной способствуют повышению коэффициента полезного действия газотурбинной установки. Частое обтекание лопаток горячими газами разрушительно сказывается на ее долговечности и целостности конструкции турбины, поэтому важно применять дополнительные методы интенсификации теплоотвода. Одним из наиболее применяемых эффективных способов охлаждения является установка препятствий сложной формы для повышения коэффициента теплоотдачи за счет увеличения площади поверхности и уровня турбулентности потока охлаждающего воздуха [1].

В данной работе было проведено моделирование сопряженного теплообмена в системе охлаждения лопатки с интенсификаторами различной формы и ориентации. На основе анализа научных статей для исследования были выбраны три конфигурации устанавливаемых дефлекторов. В программе для численного моделирования физических процессов была получена гидродинамическая картина потока охлаждающего воздуха через каналы интенсификаторов, поле распределения температуры, скорости и давления в каналах, векторное поле скоростей и поле распределения плотности теплового потока с внутренней поверхности. В процессе моделирования были подобраны оптимальные размеры расчетных сеток, учтены пристеночные области нулевых скоростей, заданы граничные условия приближенные к реальным. По результатам были рассчитаны потери давления, коэффициент потерь, осредненный коэффициент теплоотдачи на исследуемом участке и число Нуссельта для каждой конфигурации.

В результате моделирования были получены необходимые данные, позволяющие оценить влияние геометрии препятствующих дефлекторов на эффективность охлаждения.

Библиографический список

1. **Marwan Effendy1, Yufeng Yao, Jun Yao, Denis R Marchant.** Pin-fin shape and orientation effects on wallheat transfer predictions of gas turbine blade. June 2019AIP Conference Proceedings 2114(1):020008.

*И.Р. Нямба, асп. (ИГЭУ, г. Иваново);
рук. Е.Ю. Григорьев, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново, МЭИ, г. Москва)*

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В ПГУ

Несмотря на высокую экономичность энергоблоков парогазовых установок (ПГУ) по сравнению с традиционными паротурбинными блоками (ПТУ) в их тепловых схемах остается все еще значительный потенциал для реализации энергосберегающих мероприятий как в основном, так и во вспомогательном оборудовании и технологических схем.

Так в результате анализа технологических схем [1] можно выделить следующие тракты и схемы оборудования ПГУ, которые значительно влияют на экономичность работы энергоблока:

1. Воздухозаборный тракт ГТУ – компрессор ГТУ. Здесь характерны значительные потери энергии, связанные с резким ростом затрат энергии на сжатие воздуха при высоких температурах окружающей среды. Использование предварительного охлаждения воздуха позволяет значительно снизить работу компрессора и повысить КПД ГТУ и ПГУ в целом. В материалах доклада рассмотрены схемы включения в воздухозаборный тракт абсорбционно-холодильных машин (АБХМ) различного принципа действия, проведена оценка эффективности с учетом дополнительных энергетических затрат и даны рекомендации по использованию конкретных АБХМ.

2. На многих энергоблоках ПГУ для повышения давления природного газа до требуемого давления в ГТУ используются газодожимные компрессора (ДКС), мощность которых может достигать 5-7% от мощности ГТУ [1], что естественно с учетом возрастания затрат на собственные нужды снижает КПД нетто энергоблока. Проведенная оценка организации ступенчатого сжатия природного газа в ДКС с промежуточным охлаждением показала эффективность использования охлаждением за счет технической воды по сравнению с использованием схемы с АБХМ, за счет того, что эффект снижения потребления мощности ДКС нивелируется дополнительными затратами энергии на привод АБХМ

Библиографический список

1. Нямба И.Р.-Ш. Пояснительная записка к ВКР на тему «Совершенствование тепловой схемы парогазовой установки для климатических условий Кот-д'Ивуара. Иваново, ИГЭУ, 2021 г – 175 с

*И.Р. Нямба, асп. (ИГЭУ, г. Иваново);
рук. Е.Ю. Григорьев, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново, МЭИ, г. Москва)*

МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПАРОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК

Для исследования энергоэффективности промышленной парогазовой установки (ПГУ) можно использовать математическую модель, которая позволит провести различные сценарные анализы, оптимизировать работу установки и предсказать ее энергопотребление.

Существует несколько методов и подходов к моделированию процессов парогазовых установок:

1) Математическое моделирование ^[1]: Этот метод основан на использовании математических уравнений, описывающих физические процессы, происходящие в парогазовой установке..

2) Компьютерное моделирование и симуляция^[2]: С использованием специализированных программных средств можно создавать компьютерные модели парогазовых установок.

3) Физическое моделирование ^[3]: Физическое моделирование предполагает создание масштабных или уменьшенных моделей парогазовых установок для проведения экспериментов в реальных условиях.

4) Использование специализированных программ и пакетов для моделирования: Существуют специализированные программные продукты, предназначенные для моделирования парогазовых установок, такие как Thermoflow^[4], ANSYS^[5], Sapfir^[6] и другие.

5) Методы оптимизации и анализа данных: Для моделирования процессов парогазовых установок также могут применяться методы оптимизации параметров и анализа данных, такие как методы машинного обучения, генетические алгоритмы и др.

Библиографический список

2. https://op.vlsu.ru/fileadmin/Programmy/Bacalavr_academ/20.03.01/Metod_doc/15-16/Metod_Lek_MatMod_20.03.01_04052016.pdf
3. <https://edu.itmo.ru/files/98>
4. <https://tstu.ru/book/elib2/pdf/2014/gatapova1.pdf>
5. https://techgidravlika.net/view_post.php?id=60
6. https://www.thermoflow.com/products_generalpurpose.html
7. Ерехинский Н. А. Использование ПО САПФИР для моделирования узла дозирования флокулянта и щелочи Ивановских ПГУ : ВКР магистра / Н. А. Ерехинский. - Иваново, 2023. - 113 с.

*А.В. Светушков, студ. (ИГЭУ, г. Иваново);
рук. Е.Ю. Григорьев, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново, МЭИ, г. Москва)*

КЛИМАТИЧЕСКИЙ ПРОЕКТ МОДЕРНИЗАЦИИ ПАРОТУРБИННОГО БЛОКА 300 МВт ЗА СЧЕТ УВЕЛИЧЕНИЯ МОЩНОСТИ НАДСТРОЙКОЙ ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ ПО СБРОСНОЙ СХЕМЕ

Климатический проект-комплекс мероприятий, обеспечивающих сокращение выбросов парниковых газов или увеличение поглощения парниковых газов. Важным показателем климатического проекта является углеродная единица-верифицированный результат реализации климатического проекта, выраженный в массе парниковых газов, эквивалентной 1 тонне углекислого газа.

Важным составляющим показателем энергоблока являются выбросы парниковых газов. Парниковые газы соединения, которые накапливаясь в атмосфере, приводят к глобальным изменениям климата. Всё это происходит в результате сжигания газа, мазута или угля в котле. Парниковыми газами являются: диоксид углерода (углекислый газ), метан и закись азота.

В материалах доклада представлены различные варианты по надстройке газотурбинных установок по сбросной схеме для блока 300 МВт с целью уменьшения выбросов парниковых газов, за счет меньшего сжигания основного топлива в котле. Для этого предложены решения, связанные с применением различных газовых турбин, таких как: ГТЭ-110, ГТЭ-160, ГТЭ-170, Alstom GT13E2, Mitsubishi-hitachi M701D и SGT5-2000E. На основании расчетов будет выбрана турбина, которая лучше подходит для уменьшения удельного расхода топлива на единицу производимой энергии. Так же предлагается модернизировать турбину К-300-240 за счет замены отдельных узлов и агрегатов.

Оценка технико-экономических показателей новой схемы, показывает, что применение любой из предложенных газовых турбин положительно влияет на уменьшение выбросов парниковых газов, повышения КПД всей установки.

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

ПЕРЕВОД БЛОКА 300 МВт НА БЕЗДЕАЭРАТОРНУЮ СХЕМУ И ВЛИЯНИЕ НА ЭКОНОМИЧНОСТЬ ВСЕГО ЦИКЛА

Отдельное место в паротурбинной установке занимает система регенеративного подогрева питательной воды. Традиционное в ней место занимает деаэратор, который выполняет функцию как ступени подогрева, так и аппарат для дегазации конденсата после присосов воздуха в тракте низкого давления. Однако применение деаэрационной установки требует применение дополнительных линий отбора пара с запорно-регулирующей арматурой, бустерных насосов для подпора питательных насосов, так же при аварийной ситуации связанной с забросом уровня в деаэраторе может привести к попаданию воды в уплотнения и проточную часть турбомашин.

В материалах доклада представлен вариант перевода системы регенеративного теплообмена на бездеаэрационную схему. Для этого предложены решения, связанные с перенаправлением сброса конденсата греющего пара с системы ПВД в смеситель после ПНД; отказом от бустерных насосов в пользу более высоконапорных конденсатных насосов второго подъёма; применением ПНД-2 смешанного типа увеличенного объёма для обеспечения утилизации стоков с технологических систем насосных групп, организации аварийного добавка хим. обессоленной воды, слива конденсата с ПВД (на пусковых режимах и режимах глубокой разгрузки блока) и пр. Для перехода на бездеаэрационную схему требует перехода на нейтральный кислородный водно-химический режим.

Оценка технико-экономических показателей новой схемы регенерации, паротурбинной установки и энергоблока в целом показывает, что исключение промежуточной ступени регенеративного подогрева воды в паротурбинной установке мощностью 300 МВт на природном газе ведет к повышению удельного расхода топлива с 303,3 г/кВт*ч до 305,0 г/кВт*ч за счет большей тепловой нагрузки на ПВД и как следствие недовыработки мощности.

Однако применение бездеаэрационной схемы упрощает технологическую схему и повышает её надежность как было отмечено выше.

*А.В. Шмигельский студ.
рук. А.И. Киселев, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ВИБРАЦИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ МАШИН

Известно, что порядка 80 % аварий в машинах, часто связанных с человеческими жертвами, происходит в результате недопустимых колебаний. От 30 % и выше времени и затрат в общем балансе ремонтно–восстановительных работ на энергетических предприятиях занимают трудоемкие процессы по восстановлению последствий от вибрационных неполадок и катастроф.

Выделяют три вида вибрации:

1. Если частота синусоиды с самой большой амплитудой совпадает с частотой вращения, такую вибрацию называют вибрацией оборотной частоты. Она возникает из-за несовпадения центров тяжести отдельных сечений валопровода с линией, вокруг которой происходит его вращение. Такое несовпадение обычно возникает по двум основным причинам: а) Из-за несовпадения линии центров тяжести отдельных сечений с линией геометрических центров этих же сечений; б) Из-за смещения отдельных, даже уравновешенных сечений целиком относительно оси вращения.

2. Если преобладает синусоида с частотой, равной примерно половине частоты вращения, такая вибрация называется низкочастотной. Возникновение низкочастотной вибрации зависит от конкретного сочетания упругих и демпфирующих свойств масла в конкретном подшипнике и при конкретном условии работы. Определяющим параметром в возможности возникновения такой вибрации является положение шейки вала в расточке вкладыша.

3. Если синусоида с частотой, вдвое превосходит частоту вращения, такая вибрация называется высокочастотной. Такие колебания не связаны с неуравновешенностью ротора и поэтому их невозможно устранить с помощью балансировки. Необходимым и достаточным условием для появления высокочастотной вибрации является поперечная несимметрия в сечениях вала. Основным источником вибрации двойной оборотной частоты в турбоагрегатах является синхронный электрический генератор с частотой вращения 50 Гц.

Библиографический список

1. Миндрин В.И., Пачурин Г.В., Ребрушкин М.Н. Причины и снижение низко- и высоко частотной вибрации энергетических машин // Современные наукоемкие технологии. – 2015. – № 4. – С. 89-94;

*А.Л. Моторин, студ.;
рук. В.А. Буданов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ФИЛЬТРА КВОУ ГТУ

Комплексное воздухоочистительное устройство (КВОУ) является основной составляющей воздухозаборного тракта газовой турбины.

Назначение КВОУ для газотурбинных установок (ГТУ) сводится к очистке всасываемого воздуха от пыли в газотурбинной установке; защите от попадания в тракт крупных предметов, включая птиц, насекомых, веток и т.д.; шумоглушение.

КВОУ для ГТУ обычно включает различные виды фильтров, предназначенных для очистки воздуха перед его поступлением в турбину или другие системы. Наиболее применяемые фильтры в КВОУ [1]:

1. Воздушные фильтры (пылесборники) предназначены для удаления пыли, грязи, пыльцы и других твердых частиц из воздуха.

2. Прецизионные фильтры обычно используются для удаления мельчайших частиц и аэрозолей из воздуха, таких как дым, туман, масляные капли и прочие загрязнители.

3. Угольные фильтры используются для удаления запахов, газов и летучих органических соединений из воздуха, что особенно важно в случае работы ГТУ на биогазе или других газах, содержащих летучие органические соединения.

4. Фильтры для удаления загрязняющих газов в некоторых случаях могут быть использованы для удаления определенных загрязнителей из воздуха, таких как диоксид серы (SO₂), оксиды азота (NO_x) или другие вредные вещества.

5. Фильтры высокого эффективного твердого вещества (HEPA) обладают высокой степенью эффективности в удалении мельчайших частиц из воздуха и часто используются в чувствительных процессах или при работе в условиях высокой чистоты.

В докладе рассмотрены основные характеристики, достоинства и недостатки применяемых фильтров.

Библиографический список

1. Жохов В.Л., Аккайя Б. Воздушные фильтры для энергетических ГТУ/ М: Изд-во ООО ИД «Газотурбинные технологии», 2023.- 336 с.

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

ВЛИЯНИЕ КОНЕЧНОГО ДАВЛЕНИЯ НА ЭКОНОМИЧНОСТЬ ПАРОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ

При изменении конечного давления p_k изменяются потери с выходной скоростью, внутренний относительный КПД последней ступени турбины, расход пара в конденсатор (при одном и том же расходе на турбину) и конечная влажность пара. Все это приводит к изменениям внутреннего абсолютного КПД η_i и общей мощности установки.

Сначала с понижением p_k мощность растет, но затем, достигнув максимума, снижается. Такое изменение мощности связано с тем, что при некотором давлении в минимальном сечении каналов лопаточной решетки скорость пара принимает критическое значение.

Дальнейшее снижение p_k приводит к расширению пара в косом срезе, а когда расширительная способность его оказывается исчерпанной, пар расширяется за пределами ступени и используемый теплоперепад энтальпии уже не изменяется. В то же время температура воды на выходе из конденсатора турбины понижается и, следовательно, в первый регенеративный подогреватель отводится большее количество пара. Это приводит к тому, что расход пара через последние ступени ЧНД падает, а вырабатываемая мощность уменьшается.

Таким образом, в реальных условиях уменьшать p_k целесообразно только до определенных значений. При этом следует иметь в виду, что технико-экономически оправданные значения p_k могут быть заметно выше тех, при которых вырабатывается максимальная мощность.

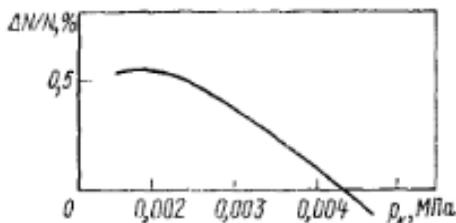


Рис. 1. Типичная зависимость изменения мощности турбины от конечного давления.

Библиографический список

1.Стерман Л.С., Тевлин С.А., Шарков А.Т. Тепловые и атомные электрические станции. М.: Энергоатомиздат, 1982. 456 с.

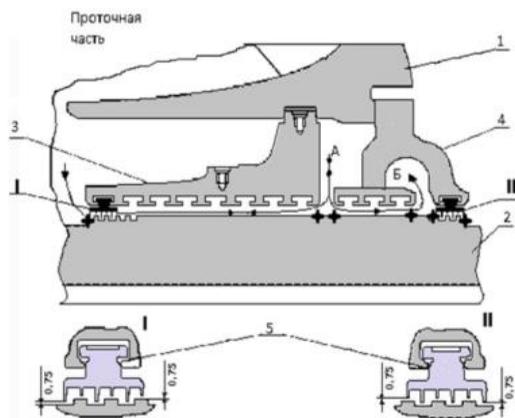
*Т.Д. Курзина, студ. (ИГЭУ, г. Иваново);
рук. Е.Ю. Григорьев, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново, МЭИ, г. Москва)*

МЕТОДИКА РАСЧЕТА КОНЦЕВЫХ УПЛОТНЕНИЙ ЦВД ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ АЭС К-1000-60/3000

Для обеспечения возможности вращения ротора в неподвижном корпусе между ними предусмотрен зазор, через который протекает определенное количество рабочего тела. Для уменьшения потерь пара через зазоры между ротором и корпусом применяют лабиринтные уплотнения, представляющие собой ряд сужений для потока протечки.

Система уплотнений паровой турбины предназначена для исключения поступления атмосферного воздуха через концевые уплотнения цилиндров, а также во избежание выхода пара в атмосферу из цилиндров с избыточным давлением. Расходы пара в уплотнениях могут составлять 2÷4% от общего расхода пара на турбину. Пар, проходящий через уплотнения, не совершает полезной работы в ступени турбины, поэтому энергия пара через протечки является потерянной.

В работе представлена методика расчета концевых уплотнений ЦВД паровой турбины К-1000-60/3000 Калининской АЭС (рис.1). Концевые уплотнения в данном турбоагрегате установлены в местах выхода ротора из корпуса [1].



1 – корпус наружный ЦВД; 2 – ротор; 3 – обойма уплотнения; 4 – камера каминная; 5 – сегмент уплотнения. А – подвод уплотняющего пара (отвод протечек пара); Б – отсос паровоздушной смеси.

Рис. 1. Узел концевых уплотнений ЦВД К-1000-60/3000

Библиографический список

1. Chernousenko, O. & Butovskyi, L.S. & Nikulenkova, T.V. & Bednarska, I.S.. (2018). BOUNDARY CONDITIONS OF HEAT EXCHANGE IN THE LACE SEALS OF CYLINDERS OF HIGH AND LOW PRESSURE OF TURBINE K-1000-60 / 3000. Electrical Engineering and Power Engineering. 16-26. 10.15588/1607-6761-2018-2-2.

*Я.О. Николаев студ.:
рук. А.И. Киселев, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

**МЕТОДЫ БОРЬБЫ С ЭЛЕКТРОЭРОЗИЕЙ
В ПАРОВЫХ ТУРБИНАХ**

Электроэрозионные повреждения - разрушение поверхности материала под воздействием импульсов электрического тока. Являются следствием паразитных напряжений, которые возникают по следующим причинам: а) электризация валопровода из-за трения роторов турбин о пар; б) намагниченность деталей и узлов турбоагрегата, которая создает напряжение на валу при его вращении, что приводит к образованию подшипниковых токов; в) магнитное поле генератора, которое создает разность потенциалов на валу с образованием роторных токов, замыкающихся по валу через подшипники, вследствие не симметрии нагрузки по фазам и магнитной цепи.

Основные методы борьбы с электроэрозией на турбинах любого типа и мощности:

1. Установка токосъемных щеток заземления вала турбины. Обеспечивает стекание на землю электростатических зарядов, вызванных трением роторов турбины о пар. Создает контур заземления для роторных токов в обход подшипников турбины и деталей узла регулирования.

2. Размагничивание турбоагрегатов. Необходимо проводить во время каждого второго капитального ремонта. Обеспечивает снижение остаточного уровня намагниченности узлов турбоагрегата до безопасных норм, что позволяет уменьшить паразитные напряжения на валопроводе турбины и электроэрозионные повреждения при ее работе.

3. Поддержание высоких изолирующих свойств масляных пленок в подшипниках за счет обеспечения качества масла, не допускающего его обводнения и присутствия механических примесей.

4. Контроль состояния подстоловой изоляции, масляных пленок, подшипников генератора и связанных с ними маслопроводов.

5. Установка схемы контроля цепи заземления вала и работоспособности заземляющих щеток.

Библиографический список

1. Курмакаев В.М. Электроэрозионные повреждения на энерговырабатывающем оборудовании и методы их предотвращения // Журнал «Главный Энергетик» – 2011 – №9 – С. 30-33;

*Н.С. Бабанов, студ.
рук. А.Л. Виноградов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

**МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОНОМИЧНОСТИ
ПАРОВЫХ ТУРБИН**

Экономичность паровых турбин напрямую влияет на экономичность ТЭС, независимо от параметров пара, условий эксплуатации и т.д. Поэтому совершенствование турбины – универсальный способ увеличения КПД ТЭС.

Основным методом повышения экономичности турбины является совершенствование ее проточной части. Помимо части пара, потраченного на полезную работу, есть часть пара, ушедшая на потери энергии.

Наибольшие потери возникают при течении пара в сопловых и рабочих решетках. Также, потери возникают на выхлопе турбины, с выходной скоростью.

Таким образом, основной путь аэродинамического совершенствования турбины – это снижение потерь энергии.

Одним из способов уменьшения потерь является использование саблевидных лопаток в ЦНД. Такие лопатки позволяют снизить потери с выходной скоростью, за счет выравнивания поля выходных скоростей.

Еще одним методом повышения экономичности турбины является применение меридионального профилирования, существенно совершенствующий экономичность ступеней малой высоты. Этот способ дает повышение КПД ступени более 2%.

Использование предложенных методов позволяет повысить экономичность турбины, что приведет к увеличению экономичности станции.

*Д.М. Крайнов, студ.;
рук. В.А. Буданов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОСОБЕННОСТЬ РАСЧЁТА СОПЛА ЛАВАЛЯ НА СВЕРХЗВУКОВОЙ РЕЖИМ

Сопло Лавалья – техническое приспособление, служащее для ускорения проходящего через него газового потока до скоростей, превышающих скорость звука.

Сопло Лавалья широко используется на некоторых типах паровых турбин и является неотъемлемой частью современных ракетных и авиационных двигателей, а также прямоточных сверхзвуковых и гиперзвуковых (в том числе ядерных) реактивных двигателей.

В сопле Лавалья газ движется следующим образом. На сужающемся, докритическом участке сопла движение газа происходит с дозвуковыми скоростями. В самом узком, критическом сечении сопла локальная скорость газа достигает звуковой. На расширяющемся, закритическом участке газовый поток движется со сверхзвуковыми скоростями.

Сопло Лавалья может работать в следующих режимах:

- 1) Расчётный режим работы сопла Лавалья;
- 2) Режим работы сопла Лавалья с пониженным противодавлением;
- 3) Режим работы сопла Лавалья при $p_{1p} < p_1 < p'_1$;
- 4) Режим работы сопла Лавалья при $p'_1 < p_1 < p_a$;
- 5) Режим работы сопла Лавалья при $p_a < p_1 < \bar{p}_0$

Библиографический список

1. Буданов В.А., Григорьев Е.Ю. Расчет плоского сопла Лавалья, Ивановский государственный энергетический университет.

*Н.С. Бабанов, студ. (ИГЭУ, г. Иваново);
рук. Е.Ю. Григорьев, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново, МЭИ, г. Москва)*

ОСНОВЫ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВА- НИЯ ПРОЦЕССОВ В КАМЕРАХ СГОРАНИЯ

Процессы течения различных сред в камерах сгорания подчиняются физическим законам, которые, в свою очередь, описываются

дифференциальными уравнениями. Точное решение таких уравнений подразумевает нахождение искомого решения в виде выражения от элементарных функций, что не всегда возможно. Поэтому на практике часто используют численные методы решения дифференциальных уравнений.

Среди численных методов долгое время были распространены разностные методы, появившиеся одними из первых. Они представляют собой решения, основанные на замене дифференциальных уравнений уравнениями дискретного аргумента.

Преимущество компьютеров в решении дифференциальных уравнений численными методами заключается в возможности использования метода конечных элементов, который имеет ряд преимуществ, по сравнению с другими численными методами, но имеет главный недостаток – сложность реализации этого метода.

Сущность компьютерного моделирования заключается в решении дифференциальных уравнений используя численные методы с помощью существующих компьютерных программ для инженерных расчетов. Наиболее часто в таких ПО реализуется метод конечных объемов, который формулирует алгебраические соотношения, наиболее полно соответствующие законам гидрогазодинамики.

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

МОДЕРНИЗАЦИЯ ЦНД ТУРБИН ТИПА К-200-130

Паровая турбина типа К-200-130 конденсационная, произведенная на ЛМЗ ОАО «Силловые машины», является трехцилиндровой турбиной с промежуточным перегревом пара.

Из конструктивных особенностей данных турбин стоит отметить наличие двухъярусного ЦНД в предпоследней ступени Баумана, которая в свою очередь понижает экономичность ЦНД. Из чего следует, что нам нужно рассмотреть методики по улучшению ЦНД.

Возможные методы повышения экономичности в ступени Баумана в турбинах типа К-200-130:

1. Опыт компании SKODA ENERGO. Переход от ступени Баумана к обычной проточной части цилиндра с более высокими лопатками. [1]

2. Метод, предложенный учеными НИУ «МЭИ». Согласно их исследованию, увеличение угла выхода потока из соплового аппарата с 10° до 18° приводит к увеличению площади выхода из соплового аппарата,

что в свою очередь к резкому уменьшению корневых потерь, а периферийные увеличиваются на с 15 до 20%. [2]

3. Исследование НИУ «МЭИ» и «ИГЭУ им. В.И. Ленина». Создание нового вида двухъярусных ступеней для ЦНД, который позволит увеличить общее КПД на 5%. [3]

Библиографический список

1. Модернизация цилиндра низкого давления турбины 210 МВт / Л. Тайч, Я. Сынач, Л. Беднарж, А. Макаров // Теплоэнергетика. – 2001. – № 11. – С. 73-77. – EDN XENFXB.

2. Зарянкин, А. Е. Анализ причин низкой экономичности цилиндра низкого давления паровой турбины К-200-130 / А. Е. Зарянкин, С. К. Осипов, В. И. Крутицкий // Вестник Московского энергетического института. Вестник МЭИ. – 2018. – № 5. – С. 8-15. – DOI 10.24160/1993-6982-2018-5-8-15. – EDN YCKHTV.

3. Технические решения создания новых двухъярусных ступеней для цилиндров низкого давления с повышенной пропускной способностью / А.С. Седлов, А.Е. Зарянкин, А.Н. Рогалев и др. // Вестник ИГЭУ. – 2016. – №. 3. – С. 27-34. DOI: 10.17588/2072-2672.2016.3.027-034

А.П. Ефремов, студ.;
рук. А.И. Киселёв, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

МЕТОДЫ ПРОФИЛИРОВАНИЯ ДЛИННЫХ ЛОПАТОК ПАРОВЫХ ТУРБИН

Выбор метода профилирования длинных лопаток паровых турбин является одной из основных составляющих эффективной работы турбоагрегата.

Данная операция необходима для ступеней с длинными лопатками в турбинах средней и большой мощности для АЭС и ТЭС. Они обладают большим коэффициентом веерности. Ступени выполняются с различной геометрией профиля от корня к периферии лопатки.

В настоящее время существует множество методов для профилирования лопаток большой длины. Наиболее применяемыми являются [1]:

1. Метод постоянной циркуляции: данный метод профилирования длинных лопаток базируется на следующем условии:

$$\left. \begin{aligned} (C_{1u}r_1)_{cp} &= (C_{1u}r_1)_i = const, \\ (C_{2u}r_2)_{cp} &= (C_{2u}r_2)_i = const, \\ (C_{1a})_{cp} &= (C_{1a})_i = const. \end{aligned} \right\}$$

Применяется при небольшой веерности и цилиндрическом обводе ступени.

2. Метод постоянного угла:

В основу данного метода положено условие

$$\left. \begin{aligned} \cos \alpha_{13} &= \text{const}, \\ C_1 \cdot r_1^{\cos^2 \alpha_{13}} &= \text{const}. \end{aligned} \right\}$$

Применяется при малых значениях веерности.

3. Метод постоянства удельного расхода:

По данному методу сопловая и рабочая решетки ступени проектируются исходя из условия постоянства по высоте удельного расхода пара:

$$\Delta \bar{G} = \frac{G}{2\pi r_{1cp} \cdot l_1} = \frac{G}{2\pi r_{2ch} \cdot l_2} = \text{const}.$$

Применяется при небольшом значении веерности.

Библиографический список

1. Рабенко В.С., Антипин А.В. Профилирование ступеней паровых турбин с длинными лопатками/ Методические указания №1839, Ивановский Государственный энергетический университет имени В.И Ленина, 2008.- 28 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 1. Тепловые электрические станции

<i>Бельшиев А.А.</i> Разработки тестовой программы для тс технического водоснабжения ПТУ К-1000-60/3000; <i>рук. Степанов В.Ф.</i>	4
<i>Иваницкий М.С.</i> Технологическое регулирование выбросов ТЭС в атмосферу.....	5
<i>Максимов И.А., Островский М.А., Зуйкин Р.Е.</i> Повышение энергоэффективности парогазовых установок за счёт утилизации низкопотенциальной теплоты.....	6
<i>Гостилов С.Д., Колесников В.Р.</i> Обоснование возможности увеличения мощности турбины К-220-44-3 Кольской АЭС, <i>рук. Барочкин А.Е.</i>	7
<i>Гусев Д.А.</i> Особенности ветрового режима Тверской области; <i>рук. Зиновьева Е.В.</i>	8
<i>Зиновьева А.С.</i> Об особенностях расчета фактических показателей ГТУ; <i>рук. Ледуховский Г.В.</i>	9
<i>Ключников В.А.</i> Модернизация промконтура системы газоохлаждения генератора на блоке №2 КАЭС; <i>рук. Барочкин А.Е.</i>	10
<i>Кудаярова А.В.</i> Модернизация надбандажных уплотнений ЦВД турбины ПТ-60-130/13; <i>рук. Панков С.А.</i>	11
<i>Федоров Д.С.</i> Определение поправок к показателям тепловой экономичности ГТУ по эксплуатационным данным; <i>рук. Ледуховский Г.В.</i>	12

<i>Федоров Д.С.</i> Сопоставление фактических и номинальных показателей ГТУ; <i>рук. Ледуховский Г.В.</i>	13
<i>Шапошников А.А.</i> Оптимизация работы встроенного пучка конденсатора КГО-6200-2; <i>рук. Барочкин Е.В.</i>	14
<i>Андрианов В.М.</i> Схемы технического водоснабжения парогазовых ТЭС; <i>рук. Горшенин С.Д.</i>	15
<i>Андрианов В.М.</i> Схемы технического водоснабжения паротурбинных ТЭС; <i>рук. Горшенин С.Д.</i>	16
<i>Михальцов Д.А.</i> Оптимизация режимов загрузки оборудования теплофикационных турбин; <i>рук. Кокулин И.А.</i>	17
<i>Кутраков П.А.</i> Разработка мероприятий по подавлению выбросов оксидов азота NOx на котле БКЗ-420-140 ГМ Нижегородской ГРЭС; <i>рук. Барочкин А.Е.</i>	18
<i>Манин Н.Т., Рудяков К.С.</i> Установка контактных экономайзеров в котельной города Сыктывкар; <i>рук. Барочкин А.Е.</i>	19
<i>Гильмутдинов Е.Д.</i> Уточнение математической модели десорбции растворенного кислорода в деаэраторе типа АВКС; <i>рук. Горшенин С.Д.</i>	21
<i>Копнышева К.А.</i> Геотермальное охлаждение воздуха в КВОУ ГТУ энергоблока ПГУ-800 МВт Пермской ГРЭС; <i>рук. Барочкин А.Е.</i>	22
<i>Копнышева К.А.</i> Влияние ГЭС на окружающую среду; <i>рук. Зиновьева Е.В.</i>	23
<i>Копнышева К.А.</i> Заиление водохранилищ ГЭС.; <i>рук. Зиновьева Е.В.</i> ...24	

<i>Крайкин Д.С. Пластинин И.В. Переход на закрытую схему ГВС г. Иркутск; рук. Барочкин А.Е.....</i>	<i>25</i>
<i>Кутраков П.А. Мероприятия в сфере горячего водоснабжения в ДНР; рук. Барочкин А.Е.....</i>	<i>26</i>
<i>Прохорова А.А., Шоронова М.В., Развитие централизованного тепло-снабжения в г. Сыктывкар; рук. Барочкин А.Е.....</i>	<i>27</i>
<i>Рудяков К.С., Манин Н.Т. Переключение тепловой нагрузки на Липец-кой ТЭЦ-2; рук. Барочкин А.Е.....</i>	<i>28</i>
<i>Трухина К. М. Методика прогнозирования выбросов вредных веществ в атмосфере; рук. Горшенин С. Д.....</i>	<i>29</i>
<i>Устинова О.Р., Кутраков П.А. Определение оптимального варианта теплоснабжения потребителей г. Калининград в неотапительный период; рук. Кокулин И.А.....</i>	<i>30</i>
<i>Худякова А.Р. Перспективы развития теплоснабжения от Ново-Иркут-ской ТЭЦ; рук. Барочкин А.Е.....</i>	<i>31</i>
<i>И.А. Головкин Характеристика ветрового режима Ивановской области; рук. Зиновьева Е.В.</i>	<i>32</i>
<i>Бутаков Н.А. Использование глубоких геологических горизонтов для захоронения промстоков и жидких радиоактивных отходов Калинин-ской АЭС; рук. Барочкин А.Е.</i>	<i>34</i>

Секция 2. Технология воды и топлива. Экология ТЭС и промышленных предприятий

<i>Зайцев М.А. К вопросу о необходимости проведения отмывок мембран-ных элементов; рук. Зайцева Е.В.....</i>	<i>36</i>
--	-----------

- Клименко А.* Характеристики вторичного измельчения водомазутных капель между собой; *рук. Шлегель Н.Е.*.....37
- Шуляев С.А.* Взаимодействие капель жидкостей и твердых частиц в спреях; *рук. Исламова А.Г.*.....38
- Князева Т.С.* Предотвращение биологических обрастаний в системах водоснабжения на ТЭС и АЭС; *рук. Бушуев Е.Н.*.....40
- Павлинова А.С.* Анализ вариантов схем регулирования значений рН в режиме известкования ; *рук. Карнычев Е.А.*.....41
- Пасечников Ю.В., Беляева А.В.* Минимизация экологических рисков тепловых электрических станций путём комплексной утилизации техногенных материалов различного генезиса; *рук. Матвеева А.А.*.....42
- Ухалова Е.Г.* Ведение водно-химического режима с дозированием этаноламина и химконтроль второго контура АЭС с ВВЭР-1000; *рук. Ларин А.Б.*.....43
- Зотова К.В.* Определение водородного показателя рН_т в водах типа конденсата при фактической температуре среды; *рук. Ларин А.Б.*.....44
- Федорова А.Ю.* Определение констант скоростей химической очистки от отложений экранных труб паровых котлов; *рук. Бушуев Е.Н.*.....45
- Петров Д.А.* Определение фторид ионов в воде; *рук. Хрипкина Л.Н.*.....46
- Жолобова А.Ю.* Расчетное исследование мероприятий подготовки исходной воды перед УОО; *рук. Бушуев Е.Н.*.....47
- Воронина Е.В.* Возможность повторного использования регенерационных вод ионитных фильтров на АО "РНПК"; *рук. Еремина Н.А.*.....48
- Зотова К.В.* Выбор метода расчета ионного произведения воды в зависимости от температуры и давления; *рук. Ларин А.Б.*.....49

Зидиханова А.А. Комплексный метод оценки противокоррозионных защитных свойств ПОА; *рук. Ларин А.Б.*.....50

Секция 3. Химия в энергетике

Д.Р. Сыров Гуминовые кислоты: значение для вод в энергетике; *рук. Хрипкина Л.Н.*.....53

Д.Д. Масленникова Применение мембранных методов в энергетике *рук. Хрипкина Л.Н.*.....54

С.О. Гурьянова Исследование метода катодной защиты трубопроводов от коррозии в энергетике; *рук. Ярунина Н.Н.*.....55

С.С. Березина Обезвреживание и утилизация отходов промышленности; *рук. Ионов А.В.*.....56

Березина Н.С. Основные способы улучшения качества воды; *рук. Ионов А.В.*.....57

Безрукова М.А. Литиевые аккумуляторы – настоящее и будущее; *рук. Ярунина Н.Н.*.....58

Чуман Н.М. Накопители энергии на основе возобновляемых источников энергии; *рук. Ярунина Н.Н.*.....59

Чупина А.С. Влияние радиационно-химических реакций на теплоносители и замедлители ядерных энергетических установок; *рук. Иванова Н.Г.*.....60

Разуваев Е.М. использование тяжелой воды в энергетике; *рук. Иванова Н.Г.*.....61

Секция 4. Теоретические основы теплотехники

Басова П.С., Бодина В.А. Моделирование сопряженного теплообмена в системе охлаждения лопатки ГТУ с интенсификаторами различной конфигурации; *рук. Люлин Ю.В.*.....63

- Лётин К.А.* Программный комплекс для интеграции пакетов с открытым кодом доступа для моделирования тепловых процессов; *рук-ли Корочкина Е.Е., Блинов О.В.*.....64
- Колбашов И.В., Лётин К.А.* Математические программные пакеты с открытым кодом доступа для решения задач теплообмена; *рук. Корочкина Е.Е.*.....65
- Федотов Ю.В.* Профессор Л.К. Рамзин – ученый, учитель и организатор; *рук. Бухмиров В.В.*.....66
- Новоселов С.В.* Второй закон термодинамики и теплоэнергетические установки; *рук. Чухин И.М.*.....67
- Светушков И.И.* Экспериментальное исследование микроклимата котельного отделения Ивановской ТЭЦ-2; *рук. Бухмиров В.В.*.....68
- Светушков И.И.* Экспериментальное исследование микроклимата турбинного отделения Ивановской ТЭЦ-2; *рук. Бухмиров В.В.*.....69
- Абышкин М.О., Михальцов Д.А.* Анализ свойств теплоизоляционных материалов рефрижераторных контейнеров; *рук. Корочкина Е.Е.*.....70
- Ключников В.А.* Исследование влияния температуры воздуха на параметры работы дутьевого вентилятора; *рук. Ракутина Д.В.*.....71
- Худяков Н.М.* Исследование влияния параметров пара на термический КПД циклов ПТУ; *рук. Ракутина Д.В.*.....72
- Курзина Т.Д., Крайнов Д.М.* Экспериментальное исследование теплоотдачи от теплого подоконника; *рук. Ракутина Д.В.*.....73
- Смирнов Д.А.* Использование математических функций Excel для решения задач естественной и вынужденной конвекции; *рук. Созинова Т.Е.*.....74
- Михальцов Д.А., Головкин И.А.* Разработка мобильного приложения для управления УФ-модулем; *рук-ли Ракутина Д.В., Голубев А.В.*.....75

- Смирнов Д.А.* Сравнение эффективности системы приточно-вытяжной вентиляции с рекуперацией и рециркуляцией; рук-ли *Ракутина Д.В., Смирнов Н.Н.*.....76
- Бутаков Н.А.* Расчет экономии энергоресурсов при внедрении системы умный дом; рук. *Ракутина Д.В.*.....77
- Некрасова В.Р., Писанова Е.А.* Энергия холода; рук-ли *Ракутина Д.В., Пекунова А.В.*.....78
- Буланцев И.К., Подогова А.М.* Компьютерная программа для дистанционного и очного обучения по дисциплине «Теоретические основы теплотехники»; рук. *Созинова Т.Е.*.....79
- Морозова В.И., Гусев Д.А.* Переход на суперсверхкритические параметры пара, как метод повышения эффективности паротурбинного цикла ТЭС; рук. *Бушуев Е.Н.*.....80
- Истратов А.В., Баженова Е.С.* Принцип работы цикла Отто; рук. *Жолобова А.Ю.*.....81

Секция 5. Промышленная теплоэнергетика

- М.А. Хайдов, В.М. Кугданов* Компьютерное моделирование режима работы системы теплоснабжения; рук. *Сенников В.В.*84
- М.А. Хайдов, В.М. Кугданов* Разработка устройства по устранению «перетопа» в тепловых сетях; рук. *Сенников В.В.*85
- А.С. Румянцев* Программная реализация теплового расчета конденсационной установки; рук. *Козлова М.В.*.....86
- Ю.В. Антонова* Оценка влияния скорости ветра на величину тепловых потерь здания; рук. *Козлова М.В.*.....87
- М.Д. Птицын* Анализ современных методов снижения тепловых потерь в сетях систем теплоснабжения; рук. *Банникова С.А.*88

<i>А.С. Румянцев</i> Анализ методик поверочного теплового расчета конденсатора паровой турбины; <i>рук. Козлова М.В.</i>	89
<i>В.М. Лапишова</i> Влияние солености морской воды на эффективность газоконтактных опреснительных установок; <i>рук. Козлова М.В.</i>	90
<i>Д.А. Золин</i> Повышение энергетической эффективности сушильной камеры; <i>рук. Банников А.В.</i>	91
<i>С.А. Красоткин, М.В. Малков</i> Повышение энергетической эффективности системы теплоснабжения общественного здания; <i>рук. Тимошин Л.И.</i>	92
<i>Н.А. Франтов</i> Особенности определения теплофизических свойств морской воды; <i>рук. Козлова М.В.</i>	93
<i>Д.А. Золин</i> Экспериментальное определение тепловых потерь методом температурной волны; <i>рук. Банников А.В.</i>	94
<i>М.В. Палёнова</i> Разработка программного комплекса для расчета тепловых схем ПГУ; <i>рук. Васильев С.В.</i>	95
<i>Д.А. Смирнов</i> Имитационное моделирование процессов в обеззараживателе воздуха; <i>рук. Смирнов Н.Н.</i>	96
<i>В.Д. Калинин, К.А. Павлова</i> Использование теплоты парогазовых выбросов в промышленном производстве; <i>рук. Коновалов А.В.</i>	97
<i>Н.С. Владимиров</i> Анализ схем утилизации тепла уходящих газов на основе органического цикла Ренкина; <i>рук. Васильев С.В.</i>	98
<i>А.А. Коптев</i> Повышение эффективности теплоснабжения центральной районной больницы; <i>рук. Васильев С.В.</i>	99
<i>Н.М. Худяков</i> Разработка компьютерной программы для расчета и анализа теплофикационных паровых турбин; <i>рук. Ярунин С.Н.</i>	100
<i>П.А. Талатина</i> Энергообеспечение жилого коттеджа; <i>рук. Коновалов А.В.</i> .	101

Секция 6. Энергоресурсосбережение

- Н.И. Горохова* Разработка теплоэнергетической системы для повышения эффективности использования твердого топлива;
рук. Ярунин С.Н. 103
- С.А. Кострюков* Результаты компьютерного моделирования аэродинамических характеристик ветрогенератора;
рук. Гусева Ю.В. 104
- А.В. Самололов* Повышение энергетической эффективности системы энергоснабжения поселка Накын;
рук. Козлова М.В. 105
- Е.Д. Новикова* Повышение эффективности энергоснабжения автономных объектов; *рук. Васильев С.В.* 106
- А.Е. Короткова* Исследование работы системы холодоснабжения производства по утилизации окислителя топлива;
рук. Козлова М.В. 107
- Н.А. Орлеанов* Повышение энергетической эффективности котельной на основе двигателя Стирлинга;
рук. Васильев С.В. 108
- Д.Р. Цветков* Повышение эффективности теплоснабжения физкультурно-оздоровительного комплекса;
рук. Васильев С.В. 109
- Е.Ю. Кваснюк* Цифровизация теплоснабжения: энергоресурсосбережение и эффективность; *рук. Бологова В.В.*, 110
- В.М. Лапшова* Повышение эффективности судовых энергетических установок путем утилизации вторичных энергетических ресурсов; *рук. Козлова М.В.* 111
- А.С. Румянцев* Разработка программного модуля для оценки эффективности теплообменного оборудования;
рук. Козлова М.В. 112

Н.Л. Виноградов Оценка влияния увлажнения тепловой изоляции на удельные тепловые потери в тепловых сетях; *рук. Банникова С.А.* ...113

М.Д. Петровец Особенности организации оборотного водоснабжения на атомных электростанциях; *рук. Банников А.В.*114

И.А. Карташов Повышение энергетической эффективности системы теплоснабжения городского поселения;
рук. Сенников В.В.115

Е.А. Исаева Использование конденсата при производстве вторичного пара в химической промышленности; *рук. Плотникова Л.В.*116

Секция 7. Автоматизация технологических процессов

Бушувев К.А. Разработка компьютерного тренажера для наладки программного импульсного регулятора; *рук. Пушков В.М.*.....118

Григорьев О.Ю. Разработка контроллера для управления калориферами в теплице; *рук. Кожевников С.О.*.....119

Грызунов А.А. Разработка алгоритма и программного кода для управления воздушным тепловым насосом;
рук. Блинов О.В., Федосеев В.Н.120

Кудряшов Д.А. Моделирование водяного тракта поверхностного подогревателя; *рук. Плетников С.Б.*.....121

Лётин К.А. Обеспечение надежности АСУ ТП электрооборудования;
рук. Дёмин А.М......122

Морозов Д.М., Перевезенцева В.А. Нахождение корней характеристического уравнения систем автоматического регулирования методом Берстоу; *рук. Торопова Е.К.*.....123

Сизов В.В., Солозобов К.А. Разработка модели импульсного ПИД-регулятора в среде SMLogics; *рук. Кочетков А.Е.*..... 124

Сизов В.В., Солозобов К.А. Разработка модуля расчёта параметров импульсного сигнала в среде SMLogics; *рук. Кочетков А.Е.*.....125

Соловьев Н.Ю. Разработка динамической модели электродвигателя постоянного тока в SIMULINK; *рук. Ершов С.В.*126

Стрелкин А.А. Работа с HART-протоколом: использование программного эмулятора и подключение термопреобразователя к SCADA Trace Mode; *рук. Ставров С.Г.*.....127

Тоцаков С.А. Разработка компьютерного тренажера «АСР уровня конденсата в подогревателе высокого давления»; *рук. Плетников С.Б.*128

Шарыгин К.А. Виртуальная лаборатория для тестирования безопасности АСУ ТП; *рук. Ставров С.Г.*.....129

Секция 8. Паровые и газовые турбины

Басова П.С., Бодина В.А. Моделирование сопряженного теплообмена в системе охлаждения лопатки ГТУ с интенсификаторами различной конфигурации; *рук. Люлин Ю.В.*.....131

Нямба И.Р. Энергосбережение в ПГУ; *рук. Григорьев Е.Ю.*.....132

Нямба И.Р. методы математического моделирования парогазовых установок; *рук. Григорьев Е.Ю.*.....133

Светушков А.В. Климатический проект модернизации паротурбинного блока 300 МВт за счет увеличения мощности надстройкой газотурбинной установкой по сбросной схеме; *рук. Григорьев Е.Ю.*.....134

<i>Светушков А.В.</i> Перевод блока 300 МВт на бездеаэрационную схему и влияние на экономичность всего цикла; <i>рук. Виноградов А.Л.</i>	135
<i>Шмигельский А.В.</i> Вибрации энергетических машин; <i>рук. Киселев А.И.</i>	136
<i>Моторин А.Л.</i> Фильтра КБОУ ГТУ; <i>рук. Буданов В.А.</i>	137
<i>Керенков А.В.</i> Влияние конечного давления на экономичность паротурбинной установки; <i>рук. Буданов В.А.</i>	138
<i>Курзина Т.Д.</i> Методика расчета концевых уплотнений ЦВД паровой турбины АЭС К-1000-60/3000; <i>рук. Григорьев Е.Ю.</i>	139
<i>Николаев Я.О.</i> Методы борьбы с электроэрозией в паровых турбинах; <i>рук. Киселев А.И.</i>	140
<i>Бабанов Н.С.</i> Методы повышения экономичности паровых турбин; <i>рук. Виноградов А.Л.</i>	141
<i>Крайнов Д.М.</i> Особенность расчёта сопла Лавалья на сверхзвуковой режим ГТУ; <i>рук. Буданов В.А.</i>	142
<i>Бабанов Н.С.</i> Основы компьютерного моделирования процессов в камерах сгорания; <i>рук. Григорьев Е.Ю.</i>	142
<i>Чипсанов В.А.</i> Модернизация ЦНД турбин типа К-200-130; <i>рук. Виноградов А.Л.</i>	143
<i>Ефремов А.П.</i> Методы профилирования длинных лопаток паровых турбин; <i>рук. Киселев А.И.</i>	144

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

**ДЕВЯТНАДЦАТАЯ ВСЕРОССИЙКАЯ
(ОДИННАДЦАТАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ)
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ
И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ
«ЭНЕРГИЯ-2024»**

**МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ
ТОМ 1**

Печатается в авторской редакции

Подписано в печать 05.06.2024. Формат 60x84 1/16.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 11,1
Тираж 100 экз. Заказ № 112.
ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический
университет им. В.И. Ленина»
153003, Иваново, ул. Рабфаковская, 34.

Отпечатано в УИУНЛ ИГЭУ.